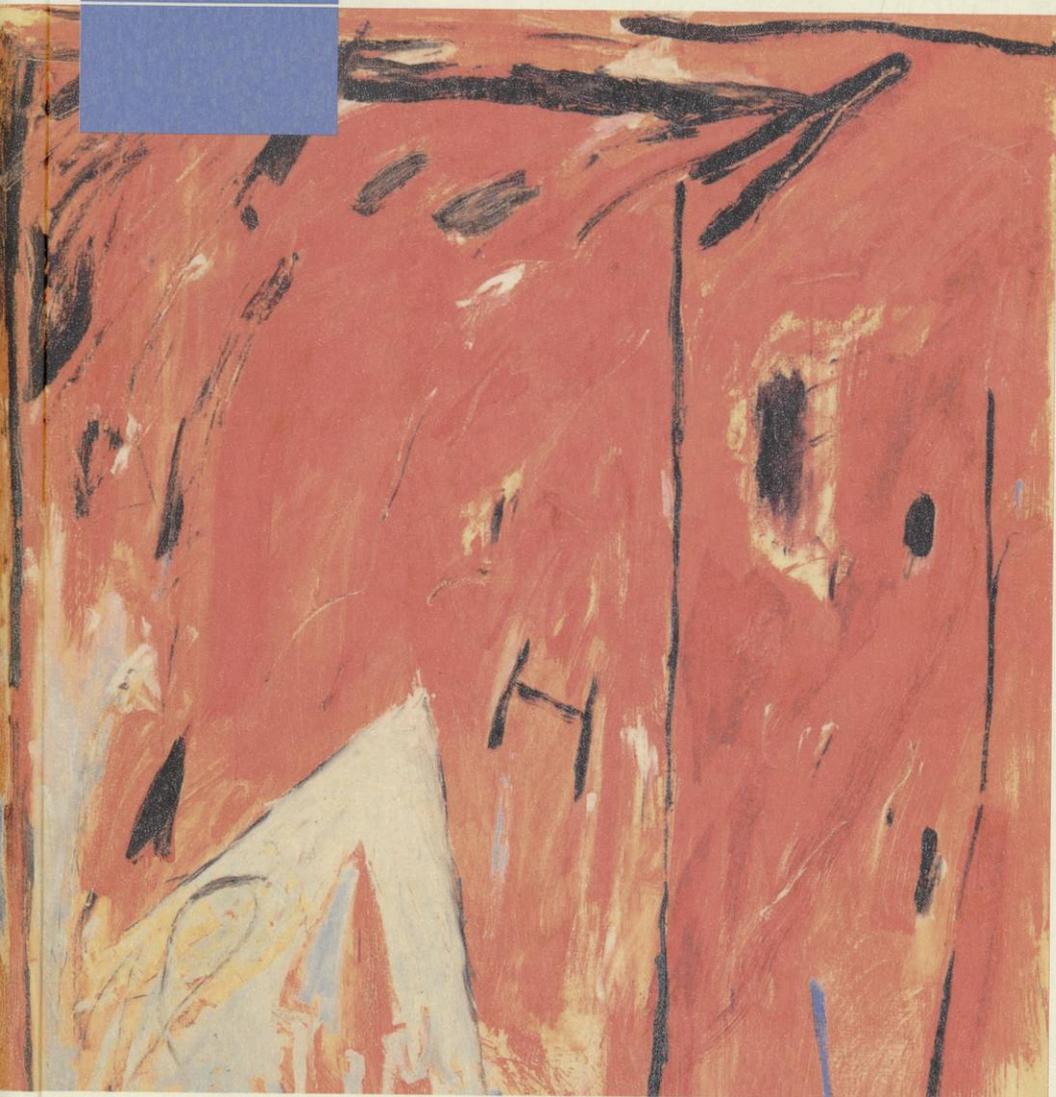


EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO COMO REFERENTE POLÍTICO EN EL SIGLO XXI

César Nombela Cano (Ed.)

Fundación **BBVA**



EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO
COMO REFERENTE POLÍTICO
EN EL SIGLO XXI

El conocimiento científico como referente político en el siglo XXI

César Nombela Cano (ed.)

Fundación **BBVA**

La decisión de la Fundación BBVA de publicar el presente libro no implica responsabilidad alguna sobre su contenido ni sobre la inclusión, dentro del mismo, de documentos o información complementaria facilitada por los autores.

No se permite la reproducción total o parcial de esta publicación, incluido el diseño de la cubierta, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión por cualquier forma o medio, sea electrónico, mecánico, reprográfico, fotoquímico, óptico, de grabación u otro sin permiso previo y por escrito del titular del *copyright*.

DATOS INTERNACIONALES DE CATALOGACIÓN

El conocimiento científico como referente político en el siglo XXI / César Nombela Cano (ed.). — Bilbao : Fundación BBVA, 2004.

504 p. ; 24 cm

ISBN 84-95163-89-X

I. Progreso científico 2. Política de investigación
I. Nombela Cano, César II. Fundación BBVA, ed.
001.891:351.854

El conocimiento científico como referente político en el siglo XXI

EDITA:

© Fundación BBVA. Plaza de San Nicolás, 4. 48005 Bilbao

IMAGEN DE CUBIERTA: © Miguel Ángel Campaño, VEGAP, Madrid, 2004

Here, 1980

Óleo sobre lienzo, 203 × 134 cm

Colección BBVA

DISEÑO DE CUBIERTA: Roberto Turégano

ISBN: 84-95163-89-6

DEPÓSITO LEGAL: M-44.968-2004

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN: Fundación BBVA

IMPRIME: Rógar, S. A.

PRODUCCIÓN: Atlántida Grupo Editor

Los libros editados por la Fundación BBVA están elaborados con papel 100% reciclado, fabricado a partir de fibras celulósicas recuperadas (papel usado) y no de celulosa virgen, cumpliendo los estándares medioambientales exigidos por la actual legislación.

El proceso de producción de este papel se ha realizado conforme a las regulaciones y leyes medioambientales europeas y ha merecido los distintivos Nordic Swan y Ángel Azul.

Í N D I C E

Presentación, <i>Carlos Berzosa Alonso-Martínez</i>	17
Prefacio, <i>Philippe Busquin</i>	21
Introducción: Por una gestión pública basada en una Ciencia con sólidos fundamentos, <i>César Nombela Cano</i>	23

PRIMERA PARTE

La Ciencia ante los problemas globales

1. El cambio climático: interacciones entre los sistemas humanos y naturales <i>Luis Balairón Ruiz</i>	
1.1. Introducción	37
1.2. Antecedentes	44
1.3. Programas de observación y de investigación: nuestros laboratorios de pruebas son la Tierra y sus modelos	51
1.4. El clima del pasado: hay muchos climas posibles además de éste	56
1.5. El clima del futuro: forzamientos, realimentaciones y sensibilidad cambian el clima	58
1.6. La obtención de escenarios futuros de emisiones: un escenario de clima para cada escenario de emisiones	64
1.7. Síntesis del conocimiento actual	67
1.8. Retos y logros científicos	74
1.9. El límite de la predecibilidad	76
1.10. Ciencia, ética y sociedad	81
1.11. Conclusiones	86
Bibliografía	87

2. El hombre y la alteración del medio ambiente	
<i>Juan Luis Ramos Martín</i>	89
2.1. Información científico-tecnológica para política medioambiental	91
2.2. Agencias de medio ambiente y planes de emergencias medioambientales	93
2.3. Áreas que requieren especial atención en política de investigación medioambiental	97
2.4. Una molécula sencilla de enorme repercusión medioambiental: el agua	102
2.5. Soluciones biotecnológicas a la contaminación ambiental: biodegradación	108
2.6. ¿Tratados Internacionales de nulo efecto para el medio ambiente?	113
Agradecimientos	116
Bibliografía	116

3. La conservación de la biodiversidad: un reto científico	
<i>Montserrat Gomendio Kindelan y Eduardo Roldán Schuth</i>	
3.1. El origen de la biodiversidad	117
3.2. La crisis de la biodiversidad	121
3.3. La influencia humana sobre el medio natural	122
3.4. El papel de la Ciencia en la conservación	126
3.5. Diagnóstico y tratamiento	128
3.6. Amenazas intrínsecas de poblaciones de pequeño tamaño ..	133
3.7. Pérdida de variabilidad genética y consanguinidad	134
3.8. Biotecnologías reproductivas: un seguro de vida	141
3.9. El valor de la biodiversidad	150
3.10. Establecimiento de prioridades	152
Bibliografía	156

4. El futuro de la especie humana en relación con la nueva Biotecnología	
<i>Juan Ramón Lacadena Calero</i>	
4.1. La revolución del ADN	159
4.2. Biotecnología y Biocracia	161
4.3. Plantas y alimentos transgénicos	163
4.4. Genómica y Farmacogenómica	171

4.5. La terapia celular en la medicina regenerativa del futuro: utilización de células troncales	175
Bibliografía	178

SEGUNDA PARTE

La respuesta científica ante las emergencias y catástrofes

5. El Síndrome del Aceite Tóxico (SAT)

Manuel Posada de la Paz

5.1. Descripción de los hechos fundamentales de la epidemia. Introducción	183
5.2. Generación de la hipótesis causal	185
5.3. Definición de caso	187
5.4. Factores de riesgo	188
5.5. Resumen del cuadro clínico del SAT	189
5.5.1. La fase aguda	189
5.5.2. La fase intermedia	189
5.5.3. La fase crónica	190
5.5.4. Tratamientos empleados	190
5.5.5. Mortalidad	190
5.5.6. Anatomía patológica	191
5.6. Epidemiología descriptiva	192
5.6.1. Tiempo	192
5.6.2. Población afectada	193
5.6.3. Lugar	194
5.7. Aceites implicados. Búsqueda de la etiología del SAT	194
5.8. Patogenia	196
5.9. Evolución de la enfermedad	197
5.10. Estado actual de la investigación. Búsqueda de un modelo animal	198
5.11. La situación socio-política favorecedora de la crisis	198
5.12. Aspectos de la epidemia del SAT cuya relevancia se extiende más allá de la propia situación desencadenada por el brote epidémico	200
5.12.1. La enfermedad	200
5.12.2. Las consecuencias para la población	200
5.12.3. La seguridad alimentaria	200
5.12.4. La crisis en sí misma	201
5.12.5. La comunicación del riesgo	201

5.12.6. El desarrollo cooperativo de la investigación	201
5.12.7. El poder judicial	201
5.12.8. Movimiento asociativo, poderes públicos e investigadores	202
5.13. Dificultades habituales asociadas a las crisis de salud pública: enseñanzas de la epidemia del SAT	202
5.14. Epidemia del SAT y experiencias compartidas con instituciones y sociedades científicas	204
5.15. Publicaciones específicas sobre crisis en salud pública	207
5.16. Experiencia en el estudio de otras epidemias	207
5.17. Extensión de la experiencia del SAT	208
Bibliografía	209

6. La catástrofe del buque *Prestige*

Emilio Lora-Tamayo d'Ocón

6.1. Introducción	211
6.2. El papel del Comité Científico Asesor en la catástrofe del <i>Prestige</i>	212
6.2.1. El problema	212
6.2.2. El producto	214
6.2.3. La reacción. Primeros pasos	215
6.2.4. Primera fase de neutralización: obturación de fugas	218
6.2.5. Estructuración de las tareas del Comité Científico Asesor	221
6.2.6. Neutralización de los pecios. Fase II	221
6.2.7. El fuel que queda en los pecios	227
6.2.8. El Informe del Comité Científico Asesor	230
6.2.9. Actuaciones proactivas del CCA	231
6.2.9.1. Grupo de Oceanografía Operacional	231
6.2.9.2. Seguimiento analítico de manchas de fuel	231
6.2.9.3. Acumulación de fuel en el fondo marino	233
6.2.9.4. Estudio de sismicidad	234
6.2.9.5. Estudio de corrosión	235
6.2.9.6. Modelo térmico de enfriamiento del fuel	236
6.2.9.7. Programa de Intervención Científica	237
6.3. El papel del CSIC	239
6.4. Conclusiones	242
Bibliografía	245

7. La crisis de las <i>vacas locas</i> en Gran Bretaña y la Unión Europea	
<i>Juan José Badiola Díez</i>	247
7.1. Características generales de este grupo de enfermedades	254
7.2. Las encefalopatías espongiiformes transmisibles en los animales	258
7.3. Los priones: agentes causales nuevos	259
7.4. Aspectos patogénicos	260
7.5. Origen de la encefalopatía espongiiforme bovina (EEB)	261
7.6. Métodos de diagnóstico utilizados para detectar la enfermedad	262
7.6.1. Cuadro clínico de la enfermedad	262
7.6.2. Cuadro lesional	263
7.6.3. Métodos laboratoriales	264
7.7. Programas de vigilancia y control y epidemiología de las EET animales	266
7.8. Epidemiología de la EEB en España	267
7.9. Origen de la variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (vCJD). Riesgo de transmisión a la especie humana	269
Bibliografía	270
8. Building the confidence in science of citizens and politicians: the european reference system for measurements	
<i>Alejandro Herrero Molina and Jean Pauwels</i>	
8.1. Introduction	273
8.2. The challenge for policy makers: deciding under conditions of uncertainty	274
8.2.1. A difficult balance involving many factors	276
8.3. Science and citizens in the knowledge society	276
8.3.1. Public controversies between conflicting parties	276
8.3.2. Citizens' will and right to know	277
8.3.3. Conflicting interests generate contradictory opinions .	278
8.3.4. Debate within a multicultural environment	279
8.4. Building the confidence of citizens: The precautionary principle	279
8.4.1. The established risk analysis paradigm	280

8.4.2.	The European position regarding the precautionary principle	280
8.4.3.	A request from the Council of Ministers	281
8.4.4.	The Commission's response	281
8.4.5.	Endorsement by the European Parliament and the European Council	282
8.4.6.	Implementing the precautionary principle: a science based approach	282
8.4.7.	Longer-term effects, higher uncertainties for decision-makers	283
8.4.8.	The pioneering application of the precautionary principle in environmental law	283
8.5.	Building the confidence of policy-makers in science: the role of scientific committees	284
8.5.1.	Principles of sound systems for scientific advice	285
8.6.	The European measurements infrastructure: a reference system creating confidence for all	287
8.7.	Measuring near legal limits: the need for common references	288
8.7.1.	Certified reference materials: the tool for ensuring comparability of measurements	289
8.7.2.	A few important concepts regarding reference materials	290
8.7.3.	The European position on reference materials	291
8.7.4.	The role of accreditation for quality assurance of testing and calibration laboratories: building users' confidence	291
8.8.	The role of reference materials and measurements in Building Confidence: some examples	292
8.8.1.	The Belgian <i>dioxin crisis</i>	293
8.8.2.	The <i>mad cow crisis</i>	294
8.8.3.	Guaranteeing compliance with labelling directives —an example	296
8.8.4.	The elimination of trade barriers: harmonising clinical diagnostics	297
	Bibliography	298

9. El diseño de un sistema de seguridad alimentaria a escala nacional

M.ª Purificación Neira González

9.1. Érase una vez la seguridad alimentaria	299
9.2. La seguridad alimentaria hoy	300
9.3. El volumen y las dimensiones de la seguridad alimentaria ...	302
9.4. El consumidor: centro de actuaciones	303
9.5. ¿Qué sistema de seguridad alimentaria?	304
9.6. El gran cambio	306
9.7. Las piezas para el diseño de un plan a escala nacional	307
9.7.1. El Mapa de la seguridad alimentaria	307
9.7.2. Sistema de información sobre seguridad alimentaria ..	308
9.7.3. Red de Alerta Alimentaria	308
9.7.4. Laboratorio de referencia	309
9.7.5. La legislación	310
9.7.6. Reforzar los sistemas de control	311
9.7.7. ¿Quién supervisa?	312
9.7.7.1. El <i>Codex Alimentarius</i>	313
9.7.7.2. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria	315
9.7.7.3. La Agencia Española de Seguridad Alimentaria	316
Bibliografía	321

TERCERA PARTE

La planificación estratégica y la gestión de la investigación

10. El diseño de los planes de I + D + I y su efecto en la consolidación del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa

<i>Gonzalo León Serrano</i>	325
10.1. Introducción	326
10.2. Revisión histórica de la elaboración de los planes de I + D ..	328
10.2.1. La necesidad de los planes de I + D e innovación tecnológica	328
10.2.2. Marco legal y administrativo	331
10.2.3. Evolución histórica del marco legal de la Ciencia y la Tecnología en España	336

10.3. Evolución de los objetivos, estructura y prioridades de los planes de I + D + I	339
10.3.1. El contexto de la elaboración	339
10.3.2. Evolución del ámbito de actuación	342
10.3.3. Establecimiento de prioridades temáticas	344
10.3.3.1. El proceso de establecimiento de prioridades científicas y tecnológicas	344
10.3.3.2. Análisis comparativo de las estructuras de los planes de I + D + I	350
10.3.3.3. Evolución temática de los programas nacionales	356
10.4. Lecciones aprendidas de la ejecución de los planes nacionales ..	362
10.5. Una mirada a la próxima década	366
10.5.1. El desarrollo del Espacio Europeo de Investigación ..	367
10.5.2. Los planes de I + D de las Comunidades Autónomas ..	369
10.5.3. La financiación del PN	369
10.6. Conclusiones	370
Bibliografía	371

11. El diseño de los Programas Marco europeos

Rafael Rodríguez-Clemente

11.1. Introducción	373
11.2. La política de investigación de la UE	374
11.2.1. Fundamentos	374
11.2.2. Intereses en juego	375
11.2.3. La <i>cultura</i> de los Programas Marco de Investigación ..	376
11.3. El proceso de elaboración de un Programa Marco	380
11.3.1. El proceso formal	380
11.3.2. El proceso real	382
11.3.3. La labor de influir	382
11.4. España y el Programa Marco	384
11.4.1. La importancia del Programa Marco	384
11.4.2. El Espacio Europeo de Investigación (EEI) y el VI Programa Marco	385
11.4.3. El Programa Marco y el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica español	386
11.4.4. El futuro	387

Agradecimientos	389
Bibliografía	389

C U A R T A P A R T E

La Ciencia en los programas y estrategias de los partidos políticos

12. Ciencia y Tecnología: un diálogo de futuro

Jaime Lissavetzky Díez

12.1. Introducción	393
12.2. Financiación	394
12.3. Coordinación	400
12.3.1. En la Administración General del Estado	400
12.3.2. Entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas	401
12.4. Gestión	402
12.5. Recursos humanos	404
12.6. Innovación	406
12.7. Sociedad de la Información	409
12.8. Relaciones entre Ciencia y sociedad	410
12.9. Conclusiones	412

13. La Ciencia en los programas y estrategias de los partidos políticos

<i>Ana Mato Adrover</i>	415
13.1. El conocimiento científico: una base para la acción política ..	416
13.2. El compromiso del centro reformista con la Ciencia	419
13.3. Un programa basado en la Ciencia y la innovación	421
13.3.1. Balance del Plan I + D + I (2000-2003)	422
13.3.2. La Sociedad de la Información del siglo XXI	425
13.3.3. Nuevas oportunidades e innovación en Medio Ambiente	431
13.4. Perspectivas de futuro	434
13.5. Conclusiones	438
Bibliografía	439

QUINTA PARTE

Los medios de comunicación y las referencias científicas

14. La ética del periodista	
<i>Juan Fernández-Cuesta</i>	443
15. La prensa como puente entre los laboratorios y la sociedad: el proyecto de la sección de Ciencia de <i>El Mundo</i>	
<i>Pablo Jáuregui Narváez</i>	455
Bibliografía	459
Índice de cuadros	461
Índice de esquemas y figuras	463
Índice de gráficos	465
Índice de mapas y tablas	467
Índice alfabético	469
Nota sobre los autores	499

Presentación

LA creación de conocimiento es una tarea fundamental de la Universidad. Por elemental y obvio que parezca este aserto, no está de más reiterarlo en cualquier ocasión, porque esa creación de conocimiento no sólo está en la raíz de nuestra misión sino que además cada vez adquiere caracteres de mayor envergadura. La tarea docente de las instituciones de enseñanza superior se tiene que asentar en una sólida actividad investigadora, de avance en la expansión de las fronteras de lo que se conoce. Pero igualmente importante es aportar a la sociedad, a la que la Universidad se debe, las referencias que se derivan de un progreso científico que cada vez sucede con mayor celeridad y alcanza mayores profundidades.

Este libro es el fruto de una iniciativa que parte de la Universidad Complutense, a través de su Fundación General, enmarcada en el Foro Complutense, y que encontró excelente acogida en la Fundación BBVA dentro de su programa de actividades. La reflexión sobre el conocimiento científico como referencia para la gestión pública puede tener numerosas facetas. La gestión de lo público, lo que se viene llamando gobernanza, precisa cada vez más de referencias basadas en una ciencia sólidamente fundamentada. Ello no quiere decir que no haya lugar para la legítima confrontación de posiciones políticas diferenciadas, sobre las que periódicamente los ciudadanos tienen la posibilidad de optar. Pero la abundancia de cuestiones en las que el rigor científico en la presentación de los temas es necesario para que los poderes públicos puedan decidir con acierto se incrementa día a día. Igualmente, va en aumento el número de disposiciones legales que aprueban los parlamentos y que precisan una base de referencias científicas sólidas.

Por todo lo anterior, los expertos en diversos temas de Ciencia y Tecnología tienen —y cada vez lo tendrán en mayor grado— un papel fundamental que desempeñar a la hora de formular las opcio-

nes que se abren hacia el futuro. Son muchos los problemas que se nos presentan y que demandan tanto un análisis científico, en cuanto a sus alcances, como un planteamiento de las posibles soluciones. Las instituciones académicas y científicas —las universidades fundamentalmente— deben constituir marco y cauce para ese trabajo de los expertos que ha de redundar en beneficio de la sociedad. La labor de los expertos requiere un ambiente de libertad en el que ejercitar su tarea con la competencia de la que debe estar impregnada, así como independencia de criterio, tan esencial para un ejercicio de su capacidad de análisis y propuesta de acuerdo con la ética científica más exigente. La institución universitaria es ante todo el ámbito de la libertad creativa que confía en el logro de un verdadero progreso a través de la indagación, el estudio, la investigación, el debate abierto, para beneficio de la sociedad democrática.

Nos complacemos en presentar una serie de textos bajo ese denominador común del conocimiento científico como referencia para la gestión pública. Sin intentar una cobertura completa de todos los aspectos, imposible por otro lado en un solo libro, este volumen incluye aportaciones de expertos en muchos de los temas candentes a los que la sociedad actual ha de enfrentarse. El lector encontrará algunas claves fundamentales sobre cuestiones tan variadas como el significado de la biodiversidad, el cambio climático, las emergencias ecológicas y sanitarias que nos han afectado recientemente, y otras cuestiones de notable actualidad. Igualmente, se incluyen algunas aportaciones sobre la planificación científica y la definición de prioridades en la investigación en España y en el conjunto de la Unión Europea. La participación, como autores, de algunos representantes políticos y de los medios de comunicación ofrece un contrapunto ilustrativo del papel que estas referencias pueden tener en los responsables de esos ámbitos, tan relevantes en el diálogo Ciencia-sociedad, cada vez más fundamental para encarar un futuro en el que la Ciencia ocupe el papel que le corresponde al servicio del avance para todos.

Como rector de la Universidad Complutense, agradezco el apoyo de la Fundación BBVA y de su director, el profesor Rafael Pardo, a este proyecto, que debe suponer el inicio de nuevas colaboraciones en esta línea tan interesante. Las aportaciones de todos los au-

tores y la labor del editor científico, el profesor César Nombela, que desempeñó la dirección general de nuestra Fundación cuando se diseñó este proyecto —a través de la coordinación del Foro Complutense, que dirige Rosa Falcón—, merecen igualmente nuestro agradecimiento, junto con la confianza de que este libro represente una aportación a la proyección de la Ciencia en la sociedad, uno de los objetivos fundamentales de la Universidad.

CARLOS BERZOSA ALONSO-MARTÍNEZ
Rector de la Universidad Complutense de Madrid

Prefacio

¿QUIÉN podría negar que el conocimiento científico se ha convertido en uno de los motores más importantes no sólo de nuestro sistema económico sino también de nuestra sociedad en su conjunto? Las relaciones entre Ciencia y sociedad ocupan, hoy en día, un papel importante en la agenda política y merecen una atención cuidadosa y permanente. Como se muestra en esta completa obra, las cuestiones en las que la Ciencia desempeña un papel destacado son numerosas y diversas.

Las recientes crisis, grabadas en nuestra memoria, nos recuerdan cada día que el progreso científico puede ofrecer oportunidades fantásticas de aumentar el bienestar de los ciudadanos pero, cuando se utiliza mal, puede ser motivo de gran preocupación. Ello demuestra la necesidad de un modelo renovado de gestión de los asuntos públicos, un marco político responsable capaz de lograr la máxima interacción entre Ciencia y sociedad. Tenemos que evitar, a toda costa, marcar límites que nos impidan alcanzar progresos importantes, pero, también, tenemos que estar en condiciones de aplicar, de manera inteligente y efectiva, el principio de cautela.

Hay que prestar especial atención a la utilización del conocimiento científico en el proceso de toma de decisiones. Para poder tomar resoluciones con conocimiento de causa, las autoridades públicas han de tener acceso a la gama más amplia posible de información y asesoramiento fiables sobre lo que está en juego. Estas fuentes de información tienen que incluir no sólo a las personas que poseen una especialización directa en el tema, sino también a los interesados y a otros agentes directa o indirectamente afectados.

Nuestros procedimientos de consulta, participación y asesoramiento tienen que ser de eficacia probada y comprensibles para los ciudadanos, satisfaciendo así las crecientes expectativas de transparencia. Para contribuir a este objetivo, la Comisión aprobó en di-

ciembre de 2002 unos principios y directrices para la obtención y utilización de asesoramiento, con el fin de aumentar gradualmente la calidad, transparencia y eficacia del proceso de recogida de asesoramiento al servicio de sus políticas.

Estoy convencido de que los lectores encontrarán en este libro un análisis solvente de estos problemas y también ideas que les permitan formarse su propia opinión sobre el papel que la Ciencia debe desempeñar y desempeñará en los sistemas políticos y en la sociedad en general.

PHILIPPE BUSQUIN

Comisario Europeo de Investigación

Introducción: Por una gestión pública basada en una Ciencia con sólidos fundamentos

César Nombela Cano

Catedrático de Microbiología, Facultad de Farmacia
Universidad Complutense de Madrid

UNA sociedad que aspire a alcanzar las metas y obtener los logros que los tiempos demandan reserva, sin duda, un papel relevante para la Ciencia. Me refiero a la Ciencia en lo que constituye práctica de la investigación, que es fundamental para el desarrollo económico y la resolución de los problemas sociales, como en lo que representa de conjunto de referencias que se basan en el conocimiento objetivo. Desde los sectores implicados en el gobierno y la Administración, hasta la inmensa mayoría de la opinión pública, en las sociedades occidentales, se suele estar de acuerdo con la afirmación anterior sin mayores restricciones. Sin embargo, eso no quiere decir que a la hora de concretar lo enunciado en relación con el papel de la Ciencia en el momento actual, se logre un consenso claro en muchas cuestiones fundamentales. Entre éstas están cuál debe ser el esfuerzo en Investigación y Desarrollo (I + D), cómo deben establecerse las prioridades a las que destinar ese esfuerzo y los recursos que conlleva, o quién ha de decidir, y con arreglo a qué procedimientos, acerca de la organización del trabajo científico y la aplicación del principio de la libertad de investigación en cuestiones que se revelan como conflictivas.

Hay por tanto un camino que recorrer para estructurar la actividad científica de un país, un camino que conlleva frecuentemente la toma de decisiones mediante procesos que han de madurar para hacerlos eficaces y ajustados a los principios que deben de inspirar la organización social. Vivimos tiempos caracterizados por un notable desarrollo científico, mucho más elevado que el registrado en cualquier otra etapa de la historia. Pero junto a ello se dan otras situaciones que no dejan de ser paradójicas. Por ejemplo, la Ciencia

está afectada por la globalidad, tiene valor científico aquello que es reconocido como avance en el conjunto del mundo del conocimiento en una escala planetaria. Sin embargo, algo tan fundamental como el origen de los recursos y el apoyo que los investigadores reciben depende de los Estados en los que trabajan, en definitiva de la sociedad más próxima en la que se insertan.

Ni siquiera el hecho de que existan agrupaciones de Estados cada vez más integradas, como es el caso de la Unión Europea (UE), supone una excepción importante a este principio. Vemos claramente que en el conjunto de Estados que integran la UE no se da una situación homogénea en cuanto al apoyo a la investigación o a la inversión de recursos en esa tarea, sino que la I + D de cada uno de esos Estados tiene sus propios perfiles. Existe, es verdad, un conjunto de programas comunes de investigación científica y técnica, desarrollados como una colaboración entre todos, pero éstos no representan sino una parte menor del esfuerzo que cada país hace. Por ello, los diferentes estados nacionales constituyen un ámbito fundamental para el progreso de la Ciencia, en ellos se decide la inversión de recursos, las políticas científico-técnicas que se han de aplicar, las prioridades a las que van destinados, el análisis ético de las implicaciones de la investigación y la forma de convertirlo en normas que la regulen y muchas otras circunstancias de las que va a depender el avance del conocimiento.

Ha habido épocas en las que el trabajo del científico era fundamentalmente una actividad aislada, sin relevancia para la sociedad y sin que su actividad invadiera otros terrenos con su ámbito bien acotado como era el de la política o la religión. Siguiéron otras etapas, como la de los notables avances científicos con los que se despedía el siglo XIX y llegaba el siglo XX, caracterizada por el optimismo acerca de la Ciencia y sus posibilidades. Se apostaba por la posibilidad de que la Ciencia resolvería muchos problemas, lo cual fue realmente cierto —baste pensar en los avances de la Medicina— pero que también revelarían a la Ciencia como un instrumento de poder, que además de contribuir al desarrollo económico mostró su capacidad para la producción de poderosas armas de destrucción, como de hecho sucedió con la Física moderna.

A día de hoy no persiste ni la visión neutral de la Ciencia, ni tampoco la percepción predominantemente recelosa de lo que de des-

tructivo puede derivarse de la actividad científica. Por el contrario, la Ciencia es, sobre todo, un instrumento que el hombre puede utilizar, una herramienta de la que dispone con notables posibilidades, muchas de ellas poco exploradas aún. Pueden persistir sin duda en ciertos sectores actitudes de reserva con diversas motivaciones. Entre ellas las de quienes critican que la Ciencia pueda ser un instrumento de poder y de creación de diferencias entre países y grupos sociales. También hay que tener presentes las precauciones de quienes objetan la posibilidad de algunas investigaciones que puedan conllevar prácticas contra los derechos de la naturaleza (desarrollo de organismos transgénicos) o que podrían ser atentatorias contra la dignidad humana (manejo de embriones, manipulación de la línea germinal en la especie humana, utilización inadecuada de los datos genéticos). En cualquier caso, existe la percepción razonable y de sentido común en casi todos los sectores de que el avance científico es fundamental y al mismo tiempo controlable. Por ello, es posible diseñar esquemas adecuados para su desarrollo y regular aquellas cuestiones en que la organización de la investigación debe someterse a los esquemas que la sociedad, que es quien sostiene al sistema científico, entienda que deben regularse tras un análisis riguroso de sus implicaciones.

De todo lo anterior se sigue que el mundo de la Ciencia y el de la sociedad en el que se desarrolla están obligados a un diálogo permanente del que se han de derivar numerosas implicaciones, sobre todo a la hora de definir y consolidar el papel de los científicos y el del conocimiento que desarrollan en el avance de la sociedad. Naturalmente que la Ciencia no tiene la totalidad de las respuestas para la vida de la gente, ni de las soluciones que la sociedad puede demandar para sus problemas. Sin embargo, la Ciencia significa una actividad y un camino en el que resulta posible objetivar con rigor los planteamientos, al objeto de que los análisis sean realmente objetivos. Se hace posible por tanto diseñar ese camino de doble dirección, Ciencia-sociedad, que pueda ser transitado una y otra vez con el consiguiente beneficio para todos.

El diálogo Ciencia-sociedad antes mencionado resulta fundamental para la toma de decisiones, porque surgen muchas circunstancias en que hay que decidir. Desde la fijación de prioridades en la investigación hasta la posibilidad y la forma de llevar a cabo ciertas investigaciones que exigen una reflexión ética fundamental. A día de

hoy es preciso incidir en estas tomas de decisiones, fundamentalmente, en tres aspectos que no siempre están resueltos. Quién decide, cómo decidir —qué proceso requiere esa decisión— y cuándo. No somos la mayor parte de la Humanidad quienes formamos parte de las sociedades democráticas. Quienes tenemos ese privilegio sabemos que la sociedad democrática tiene unos mecanismos de decisión. Y que esa decisión está marcada por un territorio que son las leyes, por unas normas de funcionamiento que pasan desde la voluntad de las mayorías hasta el respeto a las minorías, pero todo esto se tiene que articular en un conjunto de debates, de discusiones.

Cómo articular las decisiones, cuándo, cómo proceder a todo ello porque en muchos casos este diálogo Ciencia-sociedad lo que hoy nos está poniendo delante es un mundo de nuevos hallazgos y nuevos planteamientos que obligan a una reflexión científica racional, es la cuestión que da contenido a ese diálogo y que requiere debates de gran calado. Y no cabe duda de que también tiene que estar basado en todo un conjunto de puntos de vista esenciales para entender al ser humano que forman parte de nuestra propia cultura como un ingrediente fundamental.

En este libro se abordan un buen número de cuestiones basadas en lo que podemos llamar referencias científicas fundamentales para la gestión pública. Dada la complejidad de los procesos de decisión a los que aludíamos en el apartado anterior, cualquier síntesis que tratemos de efectuar de todo ello será necesariamente incompleta, parcial. Pero nos pareció que valía la pena recabar la colaboración de diversos expertos que analizaran, con rigor y competencia, algunos de los puntos de referencia en los que el gobierno y la organización de la sociedad han de fundamentarse en la situación del conocimiento científico. Se incluiría aquí también la forma de articular el progreso científico que la sociedad necesita.

No cabe duda de que la sociedad española dispone de un sistema científico propio de los países avanzados, representado sobre todo por los expertos que trabajan en nuestro país y las instituciones en las que se integran. También aspira a que la Ciencia mejor fundamentada sea una base fundamental de las que sustenten las normas y la organización del gobierno, como apuesta de futuro de una sociedad moderna. Otra cuestión es que nuestro esfuerzo en cuanto a los recursos que invertimos en I + D sea unánimemente reconoci-

do como insuficiente, necesitado de un incremento que debe producirse con rapidez en aras de la convergencia con las sociedades con las que aspiramos a equipararnos.

Me parece de interés comentar algunas situaciones recientes, de las que soy conocedor por haber participado de manera directa, que representan ejemplos del alcance que puede —y debe— tener para una sociedad la articulación de referencias científicas. Me referiré a la respuesta científica ante algunas emergencias ecológicas, fundamentalmente el vertido de la mina de Aznalcóllar (abril de 1998) y la estructuración del Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica.

Son muchas las crisis vividas en el ámbito mundial que ilustran la dificultad para actuar creando un sistema de referencias fiables para la gestión pública. Sucede que las exigencias no se limitan a la respuesta y seguimiento de las emergencias y problemas que surjan sino que incluso es necesario anticiparlas. Un sistema científico bien articulado tiene en esa anticipación un reto fundamental. Así lo ilustra la crisis de la *vacas locas* que irrumpió en años recientes en el continente europeo y de la que ya cabría valorar cómo en algún momento ese sistema referencial se vio realmente desbordado.

El caso del *aceite tóxico*, que afectó de forma imponente a la vida social española en 1981, se pudo reconocer por muchos como un ejemplo de manejo inadecuado de crisis y emergencias imprevistas. Afloró la lucha política en torno a esta cuestión con tal intensidad que, creo justificado afirmar, que la reacción científica se desarrolló de manera limitada y fragmentaria. Muchos percibieron lo sucedido como un verdadero fracaso de la comunidad científica española, no por falta de capacidad para afrontarlo sino por carecer de un cauce para una actuación rápida y eficaz.

En la primavera de 1998 se produjo un accidente en la balsa de residuos mineros en Aznalcóllar, una zona no lejana a la reserva biológica de Doñana, lugar emblemático donde los haya para las iniciativas de conservación de la naturaleza. Para definir los fundamentos científicos de la conservación aludida resulta significativa la tarea que desde hace muchos años mantiene el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) a través de la Estación Biológica de Doñana, que administra una parte de la aludida reserva biológica. Las actividades investigadora y conservacionista de Doñana gozan

de una notable proyección mundial. Como consecuencia del aludido accidente, millones de toneladas de lodos y aguas ácidas fluyeron por el cauce del río Guadiamar, inundando sus riberas al tiempo que arrasaban todo vestigio de vida a lo largo de muchos kilómetros de curso del río. Las imágenes dieron la vuelta al mundo, no precisamente para beneficio de nuestro prestigio en cuestiones ambientales.

En la dirección del CSIC, cuya Presidencia desempeñaba en aquellos momentos el autor de estas líneas, percibimos con claridad que había llegado el momento de articular una verdadera respuesta científica y que el organismo estaba en condiciones de plantearla. Así se hizo y la iniciativa fue ratificada por el propio gobierno español. Fue un esfuerzo en general muy completo, en el que participaron diversos organismos, especialmente el Instituto Tecnológico Geominero (ITGE) y el Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (CIEMAT), así como diversas universidades. Este trabajo científico-técnico, de seguimiento de las consecuencias del vertido de Aznalcóllar, resultó ambicioso y completo. Ha constituido también el trabajo de seguimiento de las consecuencias del vertido y la propuesta de soluciones para el mismo más divulgada en España. Para la opinión pública, las referencias científicas se mostraron en general claras y las Administraciones responsables (Estatal, Autonómica, incluso Municipal) dispusieron de unas referencias para su actuación planteando medidas que resultaron de notable eficacia para atajar las consecuencias del vertido y llevar a cabo la limpieza de las áreas afectadas.

Estoy firmemente convencido de que la actuación de la comunidad científica en el vertido de Doñana se acerca mucho a lo que debe suponer una respuesta a las emergencias de esa naturaleza. En definitiva, las capacidades investigadoras y las competencias de expertos se volcaron en el abordaje de un problema de importancia social, articulando ese sistema de referencias que necesitamos. Los tres aspectos que me parece oportuno resaltar serían:

- La sólida fundamentación científico-técnica del trabajo de seguimiento y propuesta de soluciones acerca del vertido. La naturaleza de los materiales contaminantes, derivados de arsenopiritas portadoras de una gran variedad de elementos metá-

licos en diversas proporciones, demandó un notable esfuerzo desde el punto de vista de la caracterización química. Las predicciones sobre su evolución en suelos y aguas, los efectos sobre los seres vivos y su penetración en las cadenas tróficas, el impacto sobre las poblaciones de especies protegidas, la movilización a la atmósfera de materiales metálicos y cualquier otro aspecto de la contaminación hicieron necesario prolongar el trabajo durante dos años. Los resultados y propuestas se presentaron de forma transparente, para su conocimiento puntual por parte de la opinión pública y los responsables de los gobiernos, alcanzado el esfuerzo científico y una notable credibilidad. Fue uno de los mayores esfuerzos, de medios materiales y económicos, que se ha puesto en marcha en España para atajar un emergencia ambiental. Los trabajos científicos también permitieron constatar la eficacia de muchas de las iniciativas que se tomaron para paliar y corregir lo que pudo ser una catástrofe mucho mayor.

- La responsabilidad de las instituciones para sostener y apoyar el trabajo de los científicos resulta decisiva en estos casos. Las instituciones científicas tienen una responsabilidad especial en estos casos, en la articulación de los equipos multidisciplinares de expertos, capaces y motivados, para hacer frente a las situaciones de emergencia. Ése es el ámbito para encauzar la experiencia y la iniciativa de los expertos —preservando su libertad e independencia— que den respuesta a la emergencia, aplicando los instrumentos que la práctica científica más avanzada ha desarrollado. Es ésta la única forma de que la tarea realizada sea útil y respetada por los gestores públicos al tiempo que lleve la confianza a la opinión pública que conecta muy bien cuando se le transmiten datos y valoraciones con rigor.
- Las referencias científicas rigurosas deben aparecer nítidamente diferenciadas del contraste entre propuestas políticas legítimas y a veces contradictorias. Será normal que afloren debates y conflictos políticos en situaciones de emergencia. Estos debates podrán suponer con frecuencia propuestas contradictorias, como es propio de una sociedad democrática que exige la presentación de alternativas por las que optar según las circunstancias. Sin embargo, igualmente importante es que

las referencias científicas aparezcan nítidas, como única forma de atajar la tentación de la demagogia que puede confundir y perjudicar notablemente la gestión pública más adecuada de las situaciones de emergencia.

La sociedad española ha vivido en años recientes otras situaciones de emergencia y, sin duda, podrá tener que hacer frente en el futuro a otras nuevas. Algunas de ellas son objeto de tratamiento en este libro lo que sirve para ilustrar la complejidad de los problemas. Son todas ellas experiencias que deben resultar de utilidad para que en el futuro se opte por el modelo de actuación que mejores resultados produjo en el pasado.

La libertad de investigación, el derecho a explorar el conocimiento de la realidad, con los instrumentos y estrategias que propicia la inteligencia humana, y el estímulo al desarrollo de una sociedad basada en el conocimiento son notas definitorias de las sociedades más avanzadas. Sin embargo, la práctica científica actual no es, ni se puede considerar neutra por sus implicaciones tecnológicas que a veces se nos aparecen con consecuencias conflictivas. Entre éstas estarían desde la utilización de los descubrimientos científicos para fines bélicos hasta el acrecentar las diferencias entre distintos sectores de la Humanidad, la brecha tecnológica entre los países más avanzados y los que no alcanzan el desarrollo suficiente.

El mismo concepto de *tecnociencia* resulta sospechoso para quienes entienden que convierte a la Ciencia como una forma de actividad y no de conocimiento, en la que los criterios de utilidad y eficacia reemplazan a los de objetividad y verdad. Es en este marco en el que hay considerar el debate sobre la Ética de la Investigación Científica y Técnica, para profundizar en la calificación moral que pueden merecer determinados planteamientos científicos actuales, ya sea por las estrategias experimentales en las que se basan, por los objetivos que persiguen o por las consecuencias que pueden derivarse de su utilización.

Sin embargo, no es riguroso plantear que la comunidad científica debe ser *vigilada* por la sociedad para evitar que sus trabajos y experiencias se deslicen por un camino inaceptable. Más bien sobrarían ejemplos de cómo han sido poderes externos —el ejemplo de regímenes totalitarios, nazi y comunista es claro— los que forzaron

caminos totalmente inaceptables. Por el contrario, existen otros casos —Asilomar, 1974, sobre Ingeniería Genética— en que los propios investigadores se han aplicado a una reflexión sobre el alcance y las consecuencias de sus investigaciones, estableciendo incluso moratorias para determinados tipos de experimentación.

De cualquier forma, hoy día las decisiones sobre qué investigar responden a condicionantes más complejos que van desde las decisiones e iniciativas de los gobiernos a los intereses promovidos por el capital privado, el cual juega un papel cada vez más intenso incluso en la promoción de exploración científica más básica.

En esta situación se ha promovido hace apenas dos años la creación en España de un Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica, por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología. La experiencia es relativamente novedosa en nuestro país, en donde han funcionado desde hace tiempo comités institucionales de Bioética (fundamentalmente en los hospitales) pero no se habían creado comités asesores de esta naturaleza. El referido Comité Asesor se ha creado para trabajar en el asesoramiento en todos los campos científicos y su repercusión tecnológica, de hecho su composición es multidisciplinar. Sin embargo, hoy las cuestiones relacionadas con la Bioética, término relativamente reciente (se desarrolla hace unos veinte años) surgen con una fuerza especial. Los progresos en el conjunto de las Ciencias de la Vida y, en especial, en la que llamamos Biotecnología moderna así lo han propiciado.

En este libro se abordan igualmente un conjunto de cuestiones de gran envergadura para iluminar el debate ético sobre la Ciencia. Desde la conservación de la naturaleza hasta el cambio climático pasando por la significación de la vida humana en todo este contexto. La experiencia del referido comité de Ética científica, presidido actualmente por el autor de estas líneas, ha supuesto también un proceso de deliberación fundamental, en el que sus integrantes han llevado a cabo los análisis consultando también a expertos externos. En el primero de los trabajos llevados a cabo, un estudio sobre la *investigación con células troncales*, se dio cuenta simultáneamente tanto al Gobierno como a la opinión pública. Tras este trabajo se han producido reformas legislativas en España para configurar un sistema de investigación sobre células troncales abierto al progreso, al tiempo que éticamente exigente y riguroso.

El papel y la actuación de los comités de ética, en estas circunstancias, debe atenerse a lo siguiente:

- Iluminar el debate, planteando con claridad lo que está en juego, para transmitir a la opinión pública una actitud de confianza en las posibilidades de la inteligencia humana de avanzar por caminos que respeten los derechos, anticipen los problemas y orienten los análisis con visión de futuro.
- Analizar, con mente abierta pero rigurosa, las posibilidades de la Ciencia actual. A mi juicio, el debate bioético, sobre todas las cuestiones que tiene que abordar, debe tener una primera fase fundamentalmente científica, entre expertos, que establezca un análisis *crítico* acerca de la significación de los nuevos hallazgos, sus limitaciones, sus posibilidades y los caminos (casi siempre múltiples y diversos) de estudio y experimentación para alcanzar determinadas metas. Pero, a partir de ahí, llega la decisión responsable por parte de las instancias sociales adecuadamente organizadas, que han de contrastar las opciones científicas, claramente definidas, en relación con los valores, los comportamientos aceptables, los objetivos del bien común y la protección de los derechos de las personas.
- En definitiva, los poderes públicos —gobiernos de diversos niveles, parlamentos, etc.— como representantes legítimos de la sociedad democrática, habrán de decidir y seguir decidiendo sobre múltiples cuestiones. La gestión pública (gobernanza) debe estar basada en la Ciencia más rigurosa y relevante.
- La globalidad hace inevitable que los análisis se perciban desde una dimensión más general. Los comités de ética también tienen que contribuir a esa consideración más global de algo que todavía se decide en los ámbitos nacionales.

La gran conquista de la especie humana es el reconocimiento del valor de la persona, de todas y cada una de las personas que existen. Los avances científicos nos permiten situar mejor al hombre en el contexto del planeta, su papel en el ecosistema, sus posibilidades, etcétera, pero no nos pueden apartar de la consideración de la creación científica que debe estar al servicio del hombre. Especialmente si tenemos en cuenta que el siglo xx ha conducido a iniciativas de

manipulación brutal de la sociedad —estalinismo, nazismo— y podrán no faltar quienes quieran hacer lo mismo con el individuo en el futuro.

Son muchos los datos que ilustran el valor de la participación de los científicos y las instituciones de las que forman parte, en sistemas que protejan y encaucen su trabajo tanto como referencia en situaciones potencialmente conflictivas como en aquellas circunstancias en las que se ha de valorar la moralidad de nuevas investigaciones. Los parlamentos de toda índole cada vez han de legislar sobre bases que no pueden prescindir de una Ciencia sólidamente fundamentada. De ahí que cada vez se requiera con más frecuencia la presencia de científicos en los mismos. Desde los medios como ámbito fundamental de la sociedad cada vez se plantean más demandas de interpretación de los temas y asuntos de relevancia científica, lo que obliga a los investigadores y a las instituciones a un constante esfuerzo para estar presentes en la sociedad, poniendo en claro los resultados e interpretando sus alcances y posibilidades. Son la expresión de lo que podemos llamar demanda social de Ciencia y Tecnología.

Todo ello obliga a que la Ciencia esté encarnada en la sociedad, con la mayor intensidad y con la visión clara de que su papel, como instrumento para la vida humana, ha de definirse al tiempo que se consolida con rigor y calidad.

PRIMERA PARTE

LA CIENCIA ANTE LOS PROBLEMAS GLOBALES

1. El cambio climático: interacciones entre los sistemas humanos y naturales

Luis Balairón Ruiz

Jefe del Servicio de Predicción del Clima
Instituto Nacional de Meteorología

EL clima de la Tierra depende del estado de equilibrio entre la energía que recibe del Sol y la energía que es capaz de devolver al espacio exterior. Las actividades humanas asociadas al desarrollo económico y al crecimiento demográfico han modificado la composición natural pre-industrial de la atmósfera, al producir gases que intensifican el efecto invernadero. El cambio climático potencial inducido por esta razón, emerge como un condicionante clave de la vida en el siglo XXI.

[...] he podido observar a menudo cuán incongruente e irracional es la índole humana [...], cuando se enfrenta a la razón que debería guiarla... a saber, que el hombre no se avergüenza de los actos, por los cuales, con justicia, será considerado como un necio, sino de volver atrás, lo cual les valdría la reputación de hombres prudentes (Defoe, 1998).

1.1. Introducción

Durante las últimas décadas se ha afianzado la denominación genérica de cambio climático para referirse a un Cambio Climático singular: el cambio inducido potencialmente por el aumento no natural de los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, con capacidad de absorción de la radiación infrarroja terrestre y que más correctamente denominamos *gases radiativamente activos*.

Nuestro planeta es habitable debido a la presencia natural en la atmósfera de gases de *efecto invernadero*: los principales son el vapor de agua y el dióxido de carbono (CO_2). Gracias a este efecto, el promedio de la temperatura en superficie es de unos 15°C , lo que supone 33°C por encima de los -18°C que existirían en una Tierra sin atmósfera o sin la presencia de los gases citados y algunos otros como el metano (CH_4) o el óxido nitroso (N_2O).

Durante los últimos doscientos años, la humanidad ha llevado a cabo un experimento involuntario sobre el clima de la Tierra, al aumentar progresivamente las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes del vapor de agua. Las concentraciones correspondientes a los gases CO_2 , CH_4 y N_2O han crecido hasta alcanzar aumentos de un 30%, un 145% y un 15% respectivamente, para 1990, en relación con los valores pre-industriales (1750-1800). Actualmente emitimos a la atmósfera más de 7.000 millones de toneladas de carbono al año, procedentes de la quema de combustibles fósiles, la producción de cemento y los cambios en el uso del suelo. Por añadidura, a lo largo del siglo xx hemos introducido gases nuevos que no formaban parte de la composición natural de la atmósfera, como los halocarbonos y los compuestos perfluorados, muy escasos, pero a veces miles de veces más activos que el CO_2 como gases de efecto invernadero.

En abril de 1896, el científico sueco Svante Arrhenius, preocupado por la posibilidad de intensificación del efecto invernadero, publicó un artículo fundamental titulado «Sobre la influencia del ácido carbónico en el aire sobre la temperatura de la superficie». Otros antes que él, Fourier en 1827, Pouillet en 1838 y Langley entre 1884 y 1890, habían planteado de forma cualitativa el problema; pero la suya fue la primera cuantificación rigurosa de las consecuencias del aumento de las concentraciones atmosféricas del CO_2 sobre la temperatura del aire en superficie.

Los resultados obtenidos por Arrhenius, premio Nobel de Química en 1903, por sus aportaciones a la teoría de las disociaciones electrolíticas, han resultado ser sorprendentemente realistas, dentro de sus limitaciones y señalan el nacimiento de un campo de la Ciencia cuyo pleno desarrollo, no obstante, no se ha iniciado hasta el último tercio del siglo xx. En la conmemoración en Suecia del centenario del documento se subrayó que «a la luz de las preocupaciones actuales sobre el cambio climático inducido por la humani-

dad, el artículo de Arrhenius debería ser considerado como un verdadero hito en la historia de las geociencias».

Estas palabras de los coordinadores del encuentro conmemorativo del centenario del documento citado, organizado por la Real Academia Sueca de las Ciencias y el Instituto Meteorológico Internacional en Estocolmo en abril de 1996, reflejan fielmente el nacimiento de un campo de la investigación científica cuyo pleno desarrollo no se ha alcanzado hasta el último tercio del siglo xx.

En la actualidad, sabemos que la magnitud final del calentamiento por intensificación del efecto invernadero, con el enfoque más avanzado del clima, depende de las interacciones no lineales del *sistema climático* constituido por la *atmósfera*; la *hidrosfera*, compuesta por los océanos y las aguas dulces continentales; la *criosfera*, formada por hielos y nieves; la *biosfera* y la *litosfera*.

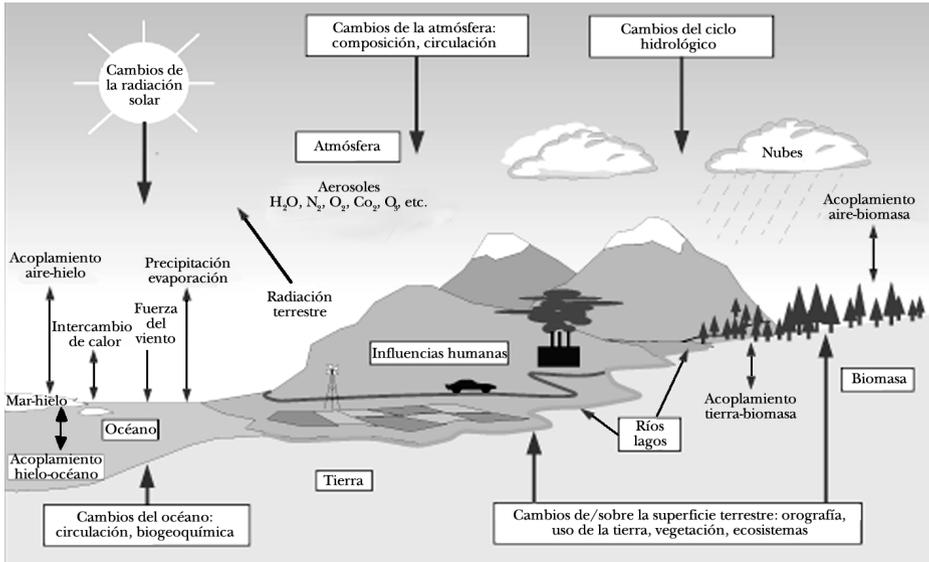
El conocimiento y la simulación de este *sistema* mediante ecuaciones resueltas con métodos numéricos, la investigación de las interacciones entre los subsistemas y la obtención de datos presentes sobre los ciclos y flujos de materia y energía, y los datos del pasado, siguen orientando el trabajo actual de la Ciencia del clima.

Dos son los retos conceptuales que limitan nuestra capacidad de anticipar la magnitud final del calentamiento producido por el aumento de gases de efecto invernadero: en primer lugar, el de conocer con precisión la influencia de los procesos que amplifican o que inhiben el calentamiento inicial y, en segundo lugar, el de comprender a fondo la naturaleza del sistema climático como sistema caótico, que podría estar en equilibrio en más de un estado.

Durante el siglo xx los avances en las técnicas de obtención de datos del pasado han permitido reconstruir una historia fascinante del clima. Las dataciones con *isótopos* de estratos de sedimentos lacustres; el análisis del aire fósil atrapado en burbujas de *testigos* de hielo; la *dendrocronología*, que obtiene datos a partir de los anillos de los árboles; las reconstrucciones históricas y las medidas instrumentales más recientes, lo han hecho posible.

La intercomparación de resultados confirma que el clima cambia permanentemente en todas las escalas de tiempo; que las transiciones bruscas no son infrecuentes y que las causas periódicas de cambios se combinan con otras aleatorias para producir comportamientos

ESQUEMA 1.1: El sistema climático: componentes, procesos e interacciones



Fuente: IPCC, 1997/II-II.

sorprendentes poco predecibles y tan naturales como las situaciones de estabilidad.

La teoría de Milankovitch actualizada explica las glaciaciones e interglaciaciones del Cuaternario —aproximadamente los últimos 1,2 millones de años— como consecuencia de las características de los movimientos orbitales de la Tierra respecto al Sol. La excentricidad, la inclinación y la precesión tienen periodos del orden de los 100.000, 40.000 y 20.000 años, con amplitudes variables, pero regulares, cuya superposición justifica una gran parte de la variabilidad observada en esas escalas de las decenas de miles de años. Pero no existe unanimidad o sólo disponemos de explicaciones parciales, para explicar otros cambios observados de periodos menores, que han tenido lugar en el marco de cada glaciación e interglaciación. Lo mismo ocurre con las variaciones de millones de años, justificadas por otros factores, que comprendemos en grados diferentes.

Nuestra comprensión de los cambios climáticos distingue dos fases en su desarrollo. La primera explica los cambios, en primera instancia, a partir de *cualquier* alteración en el equilibrio que debe

existir entre la energía solar que nos llega desde el espacio exterior y la energía que el planeta es capaz de devolver. Estas alteraciones del *balance de radiación* se conocen como *forzamientos radiativos* y se miden en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$. Son las causas primeras de los cambios de clima, de cualquier cambio de clima; y el *sistema climático* responde a ellos de forma rápida, con independencia de que su origen sean variaciones en la radiación solar que nos llega; erupciones volcánicas; cambios en la tasa de radiación reflejada —*albedo*— o cambios en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero y de partículas en suspensión —aerosoles.

La otra, consiste en comprender y calcular el efecto que ejercen a su vez, sobre el cambio inicial, los numerosos procesos de *realimentación* que existen en el sistema y modifican la respuesta inicial. Las incertidumbres que existen al querer anticipar la respuesta del sistema climático a cualquier forzamiento, natural o no, nace de la dificultad de prever de forma determinista la acción conjunta de estas realimentaciones. Su naturaleza aislada en unos casos y la interacción entre ellas en otros, provoca comportamientos muy sensibles a los pequeños cambios, ya sea en las condiciones iniciales o en las condiciones de contorno, que se traducen frecuentemente en comportamientos *no lineales*.

Los cambios en las condiciones *iniciales* producen variabilidad *interna* y son los responsables de que una predicción determinista estricta, de carácter climático, no pueda existir. Es decir, no podemos *predecir* intrínsecamente lo que ocurrirá en un año concreto del futuro integrando las ecuaciones. Podemos hablar del clima futuro, como de un estado promedio al que deberá tender el tiempo real, para ajustarse a los cambios en las condiciones externas del sistema, o condiciones de *contorno*, como son los forzamientos variables. Ésta es la justificación para hablar de proyecciones o de escenarios futuros de clima.

Las condiciones *externas*, en principio, tienden a obligar a que los estados climáticos no puedan ser cualesquiera, sino sólo los que cumplan las condiciones marcadas por las ecuaciones generales. No obstante, la posibilidad de que el sistema puede encontrar, como ocurre en algunos símiles sencillos, más de un estado de equilibrio ajustado a las condiciones de contorno, crea una incertidumbre global, que afecta, más que a la existencia o no de cambio climático, a

la dirección y características del mismo. Lo anterior quiere decir que la incertidumbre del cambio climático incluye *sorpresas* climáticas, que podrían llevarnos a escenarios o proyecciones muy diferentes de los previstos, incluyendo algunas más pesimistas.

La complejidad descrita no excluye que para muchos fines, que no buscan la descripción del *cuándo* y el *cómo* y el *dónde*, sino únicamente el *qué*, una simplificación del sistema ofrece ventajas. Esto explica la coexistencia buscada de modelos, de una *jerarquía* de modelos de clima, que incluye modelos muy simples que consideran a la Tierra como un simple punto, hasta otros muy complejos, en tres dimensiones, que acoplan varios subsistemas del sistema climático (atmósfera-oceano y hielos). Cada uno de ellos produce resultados útiles para fines diferentes y, en conjunto, son la base para el desarrollo de métodos de obtención de escenarios de impactos del cambio climático en sistemas *naturales* y *humanos* (es decir, en sistemas, respectivamente, *no gestionados* y *gestionados* por nuestra especie), según la terminología más reciente.

El riesgo de un cambio climático acelerado, ha sido lo suficientemente alto como para justificar la aplicación del principio de *precaución* por parte de las Naciones Unidas ante el aumento de emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de la quema de combustibles fósiles, de los procesos industriales y agrícolas y de los cambios en el uso de suelos. Se ha seguido, en realidad, un proceso lento, que se inició en 1972, en la Conferencia sobre Medio Ambiente de Naciones Unidas de Estocolmo, creando, en 1988, el Grupo de Expertos Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) y elaborando una Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), que se aprobó en 1992 en la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conocida como Cumbre de Río.

La Convención entró en vigor en marzo de 1994, tras su ratificación por parte de 159 países, y ha alcanzado su mayor grado de popularidad y efectividad con los acuerdos suscritos en el Protocolo de Kioto, durante la Tercera Conferencia de las Partes en 1997, cuyo objetivo final fue reducir las emisiones globales de los gases más importantes, en un 5,2% durante el promedio 2008-2012, con relación a las emisiones de 1990.

El citado IPCC, organismo intergubernamental, que aporta a la Convención el fundamento científico necesario, constituye una

experiencia sin precedentes, que estimula a la comunidad científica para que transmita sus resultados a la sociedad mundial fuera de sus mecanismos habituales. Su objetivo principal es el de establecer y actualizar el mejor conocimiento disponible de forma periódica. En su tercera y última evaluación, en 2001, el IPCC sitúa el aumento de temperatura a finales del siglo XXI entre 1,4°C y 5,8°C y el aumento del nivel del mar entre 9 cm y 88 cm, como respuesta a una gama de escenarios de emisiones que tienen en cuenta escenarios mundiales muy diversos de población (entre unos siete mil y quince mil millones de habitantes), de desarrollo económico y de formas de producción y pautas de consumo de energía. Las precipitaciones globales aumentan ligeramente según todos los modelos y escenarios.

Los escenarios futuros anteriores determinan, a su vez, una gama muy amplia de posibles impactos. Impactos en el tipo y la productividad de cultivos agrícolas, debidos al aumento de la variabilidad, que perturba la planificación, los mercados y los canales de distribución. Impactos en los ecosistemas cuyos umbrales característicos se ven alterados y fuerzan a su desplazamiento o a su extinción progresiva. Impactos en los modelos establecidos de producción y consumo de energía y en general en los modelos de gestión de recursos naturales. Impactos en las costas y en las corrientes oceánicas que ordenan las pesquerías mundiales actuales. La predecibilidad de los impactos en la actualidad es baja, sin embargo los riesgos potenciales que introducen son altos y su incertidumbre asociada constituye, por sí misma, un impacto negativo.

Al final del siglo XX, hemos adquirido una percepción real, social y científica, del cambio climático como problema. Durante el siglo XXI tendremos que afrontar la solución para lograr, como se expresa en el artículo 2 de la Convención Marco sobre el Cambio Climático, la «estabilización de las concentraciones de gases de efecto de invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático».

Las políticas demográficas, las formas que adopte el desarrollo económico y el grado de implantación de un modelo de producción y de consumo de energía que asigne una prioridad alta a las energías renovables, constituyen los elementos clave sobre los que, inevitablemente, descansan las soluciones.

Estos elementos, determinantes en primera instancia del clima futuro (demografía, economía y energía), exigen orientaciones y criterios éticos de decisión, porque afectan a un *bien común* que es nuestro planeta y al imperativo moral de que cada generación entregue a la siguiente un mundo mejor.

1.2. Antecedentes

La estimación de Arrhenius en 1896 fue la de un aumento del 50% de CO₂ debido a la quema de carbón, a lo largo de unos tres mil años. Los incrementos que se han producido realmente, han sido mucho mayores y mucho más rápidos que los previstos por él. Sus estimaciones de calentamiento para una duplicación de la concentración pre-industrial del CO₂ fueron de unos 4,5°C en las zonas ecuatoriales y de unos 6°C en el Ártico.

El aumento real del CO₂ ha sido de más de un 30% en un siglo y se ha debido no sólo a la quema de carbón, sino a la quema de otros combustibles fósiles. Hoy consideramos, además, los aumentos de concentraciones de otros gases, como el metano o el óxido nitroso que también tienen la propiedad de absorber parte de la radiación infrarroja terrestre que se irradia hacia el espacio y de reirradiarla de nuevo, calentando las capas más bajas de la atmósfera. El vapor de agua, el más potente de todos los gases con efecto de invernadero, no aumenta sus concentraciones, de forma notable, como consecuencia de las actividades humanas industriales o agrícolas, o como consecuencia directa de la explosión demográfica. Sus modificaciones no son preocupantes en cuanto a que no suponen un forzamiento acumulativo, y afectan únicamente, de forma moderada, al ciclo hidrológico.

El efecto invernadero característico de ciertos gases, fue establecido conceptualmente por los científicos franceses Fourier y Pouillet, en 1827 y 1938 y, de forma más rigurosa, por el científico irlandés John Tyndall en la década de 1860. Tyndall aportó una visión amplia cercana al concepto actual de forzamiento radiativo y comprendió que los gases más importantes para el efecto invernadero eran el vapor de agua y el dióxido de carbono. Otro antecedente inmediato de Arrhenius fue Samuel Langley, que hacia 1884

presentó resultados experimentales que demostraban la existencia del efecto invernadero natural.

Los resultados obtenidos por Arrhenius, basados en datos muy incompletos, se han convertido en sorprendentemente realistas. Su *predicción* del aumento de concentraciones, basada en sus propias estimaciones y en las del profesor Högbohm sobre el ciclo del carbono y las aportaciones previas de J. J. Ebelmen, son esenciales como método, al centrar la atención del problema en un objeto científico *no obvio* como es el Ciclo del Carbono en nuestro planeta y al entender, implícitamente, que el aumento de temperatura es una consecuencia de los altos tiempos de residencia que tienen algunos gases en la atmósfera terrestre. Tiempos durante los que siguen actuando, como gases radiativamente activos que son, y que explican la complejidad de la relación entre emisiones y estabilización de las concentraciones de cada gas.

Durante comienzos del siglo xx, en 1926, fue Vernadsky quien hizo aportaciones muy importantes sobre los ciclos biogeoquímicos. Simpson trabajó sobre el balance de radiación solar y el transporte latitudinal de calor. Por otra parte, la descripción de la estructura vertical de la temperatura de la atmósfera propuesta por Hulburt en 1931, precede al segundo gran intento de cuantificación del aumento de temperatura de la atmósfera en superficie, ante una duplicación de las concentraciones globales de dióxido de carbono y que fue llevado a cabo por G. S. Callender, en 1938. Su resultado, basado en un modelo simple unidimensional, es que el calentamiento resultante sería de $1,5^{\circ}\text{C}$.

Éstos son los avances importantes, pero escasos, del primer tercio del siglo xx. Durante los años posteriores, se podrían añadir algunas aportaciones de Möller, que introduce las incertidumbres que ocasiona la consideración de los cambios de humedad en el resultado final, y las que G. Plass realizó en 1956 con un modelo unidimensional computacional que estimó en $3,6^{\circ}\text{C}$ el calentamiento de respuesta a una duplicación de las concentraciones. En esos años, emerge la idea de que quizás el océano sea un sumidero de carbono capaz de absorber el exceso de CO_2 emitido; idea que queda anulada, en gran parte, por el modelo de ciclo del carbono desarrollado por Bolin y Erickson en 1958, que ayudó a que se asentara el carácter crucial que tiene ese ciclo en materia de clima y su capacidad de pasar de sumidero a

fuente, si cambian factores como las temperaturas de aire y agua en contacto, y que son las que determinan la dirección del flujo a través de sus presiones parciales respectivas.

CUADRO 1.1: Balance anual promedio de perturbaciones del CO₂ en dos décadas recientes

Valores en GtC (gigatoneladas de carbono)

Fuentes y sumideros de CO ₂	1980-1989	1989-1998
1) Emisiones por quema de combustibles fósiles y producción de cemento	5,5 ± 0,5	6,3 ± 0,6
2) Almacenamiento en la atmósfera	3,3 ± 0,2	3,3 ± 0,2
3) Absorción oceánica	2,0 ± 0,8	2,3 ± 0,8
4) Absorción neta terrestre = (1)- [(2)+(3)]	0,2 ± 1,0	0,7 ± 1,0
5) Emisiones por cambios de uso del suelo	1,7 ± 0,8	1,6 ± 0,8
6) Absorción terrestre residual = (4)+(5)	1,9 ± 1,3	2,3 ± 1,3

Notas: El carbón circula entre la atmósfera, los océanos y la biosfera terrestre.

Los intercambios naturales mayores se producen entre la atmósfera y la biota terrestre, y entre la atmósfera y las aguas oceánicas superficiales. Los mayores almacenamientos son los océanos, la vegetación y los suelos. Los océanos almacenan 50 veces más carbono que la atmósfera. Los suelos contienen unas tres veces y media tanto carbono como la atmósfera.

El cuadro muestra cambios entre los balances de las dos últimas décadas del siglo xx. El incremento en las emisiones 1) es de unos 0,8 GtC anual y crece de forma estable. Se ha reducido ligeramente la emisión por cambios en el uso del suelo 5). Ha aumentado la absorción oceánica 3) y también ha aumentado la absorción neta terrestre 4) y la oceánica.

Fuente: IPCC, 1995 y 2001

Es en la segunda mitad del siglo xx cuando se producen avances sustanciales y la historia es tan apasionante como difícil de resumir. Los nombres asociados a la teoría de las ciencias de la atmósfera, como los de Bjerknes, Rossby o Charney, confluyen con otros asociados al desarrollo de la capacidad de cálculo mediante ordenadores y a la concepción de la modelización misma, como Von Neumann, Manabe, Smagorinsky, Phillips y otros muchos, sin olvidar a alguien esencial como Richardson, cuya iniciativa de modelizar la predicción del tiempo es un empeño que tarda décadas en hacerse realidad.

En esta época los esfuerzos de las ciencias atmosféricas se orientaron hacia el conocimiento de los mecanismos físicos que rigen el tiempo meteorológico y hacia la descripción y el conocimiento de la

circulación general atmosférica. Los nombres de Lewis Fry Richardson y de Vilhelm Bjerknes son esenciales en la expresión matemática de las ecuaciones básicas atmosféricas, susceptibles de ser integradas y resueltas en puntos discretos y en pasos de tiempo, sugiriendo así la posibilidad de realización de predicciones.

Aunque Richardson publica sus ideas de modelización en 1922, con ensayos llevados a cabo en 1917, no se iniciaron los experimentos de predicción del tiempo mediante ordenadores, hasta el comienzo de la segunda mitad del siglo xx (1945-1965), con la irrupción de John Louis von Neumann y la construcción del ordenador ENIAC en 1946.

Los nombres de Jule Charney y de Carl-Gustaf Rossby de la Universidad de Chicago son esenciales en el desarrollo inicial de la teoría y la realización de modelos atmosféricos. La primera simulación del tiempo a 24 horas, en dos dimensiones, se realiza en 1950 sobre el ENIAC.

Entre los años 1948 y 1955, se desarrolla un verdadero modelo de circulación general, a partir de las ecuaciones primitivas básicas, uniendo los esfuerzos de Norman Phillips en Princeton y los de Joseph Smagorinsky en el us Weather Bureau (Washington DC) y con el apoyo de Von Neumann y Charney. Poco después, en 1958, se incorpora Syukuro Manabe, procedente de la Universidad de Tokio. Smagorinsky y Manabe son las figuras clave en el desarrollo de modelos climáticos globales, tal y como los concebimos en la actualidad.

Smagorinsky escribe, tras enfrentarse a la complejidad de simular parte del sistema climático, que su *aventura* le demostró «el valor, si no la necesidad, de grupos de trabajo comprometidos en investigaciones largas, compuesto por personas diversas, imaginativas y totalmente dedicadas». Otros nombres como Yale Mintz y Akio Arakawa son cruciales en el proceso posterior de perfeccionamiento de estos modelos, ya en la década de 1960 y en colaboración con Smagorinsky y Manabe.

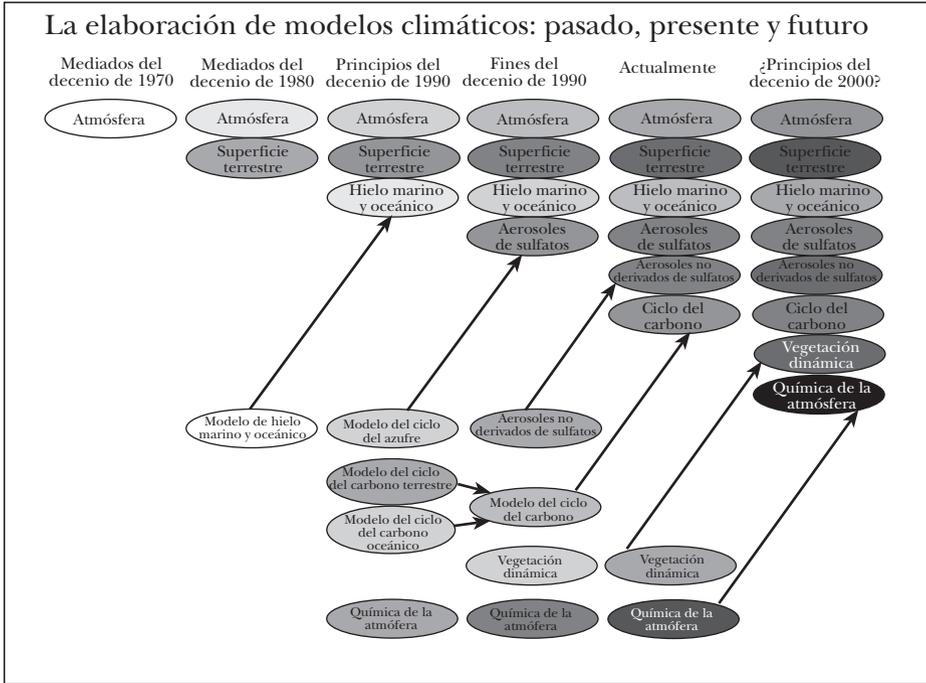
Las décadas de los años 1979 y 1980 son años de continuo perfeccionamiento y utilización de ordenadores cada vez más potentes, hasta llegar a la situación actual, en la que varios centros en el mundo, disponen de modelos de ámbito global, que acoplan y simulan las circulaciones oceánicas y atmosférica, influidas por los sistemas

de hielo terrestre y marino y forzados con las alteraciones del balance de radiación planetario, los *forzamientos radiativos*, tanto observadas como estimadas para un futuro que alcanza el año 2100.

En el último cuarto de siglo se configura una *jerarquía* de modelos, utilizada para realizar las simulaciones del comportamiento del tiempo y el clima que incluye desde modelos simples de dimensión cero, en los que la Tierra se reduce a un punto con propiedades, hasta modelos de una, dos y tres dimensiones espaciales (1D, 2D y 3D) y una temporal, que determina su capacidad de pronóstico. Según una de las clasificaciones más extendidas (la de Henderson-Sellers) se pueden distinguir cuatro tipos de modelos climáticos: 1) los *modelos de balance de energía* unidimensionales, utilizados para predecir la variación de la temperatura de la superficie terrestre con la latitud, 2) los *unidimensionales radiativos-convectivos*, que sirven para calcular el perfil vertical de temperatura, 3) los *dinámico-estadísticos bidimensionales*, que tratan de forma explícita los procesos de superficie y la dinámica en un marco promediado zonalmente y una atmósfera vertical prescrita y 4) los *modelos de circulación general* (MCG), tanto de la atmósfera como del océano, de tres dimensiones, con acoplamientos parciales entre sí y con las masas de hielo y la biosfera, en los más avanzados.

Un análisis histórico de la evolución de la modelización, muestra que ha seguido, de hecho, dos vías complementarias. La de la progresiva complejidad orientada al acoplamiento progresivo de todos los subsistemas del sistema climático, necesarios para una buena descripción y, simultáneamente, la utilización consciente de toda la jerarquía de modelos disponibles, ya sean simples o complejos, según sea la finalidad perseguida. La complejidad creciente la ha determinado el intento de simular el sistema con todos los componentes esenciales en cada escala de tiempo. Para simular el sistema en horas y días, se puede *reducir* el sistema a la componente atmósfera (A). Para una simulación estacional o interanual (entre tres meses y dos años, por ejemplo) necesitamos un sistema compuesto de atmósfera y océano superficial (A + OS). El intento de simular el clima en una escala de décadas a siglos, exige un modelo de sistema climático con atmósfera, océano profundo y criosfera, acoplados entre sí. La experimentación y el contraste con la realidad, demuestra que sería esencial acoplar también la biosfera y la interacción con los suelos (A + O + C + B + LS). Y dado que el forzamiento

ESQUEMA 1.2: Evolución de la modelización del sistema climático



Fuente: IPCC, 2001.

radiativo que nos preocupa procede de la emisión de gases y aerosoles, la consideración de los ciclos de compuestos químicos y la propia química de las interacciones resulta, asimismo, necesaria para conseguir una simulación realista. La simplicidad de algunos modelos se ha utilizado, por su parte para estudios de sensibilidad, para contraste de hipótesis y para analizar la influencia de medidas de limitación de emisiones en las negociaciones intergubernamentales.

En particular, la existencia de muchos modelos se utiliza para discriminar las incertidumbres y las certezas de nuestro conocimiento. Tenemos incertidumbres asociadas a la evolución lenta del clima, que son las más preocupantes, pero también una parte de las incertidumbres se deben a nuestro deseo de conocer *detalles* del cambio climático para cada forzamiento considerado. El papel de los modelos simples, es el de ofrecernos el *techo* del calentamiento esperable ante una perturbación como la que introduce el incre-

mento de los gases de efecto invernadero, aunque no nos diga mucho acerca del momento en que se alcanzaría ese resultado, ni a su distribución geográfica.

Es indudable que nos encontramos en una etapa avanzada de este progreso en la elaboración de modelos, pero somos conscientes de que la *naturaleza* misma del sistema se nos escapa y los indicios, teóricos y prácticos, de que es caótica obligan al desarrollo de estrategias como la de repetir los experimentos, mediante la realización de *conjuntos* de simulaciones. Se reduce así la gran dependencia del sistema real y del simulado, de las condiciones iniciales.

Otra estrategia es la de aprovechar la existencia de modelos diferentes, con parametrizaciones diferentes de algunos procesos, para su posterior comparación. Se analiza así la robustez del sistema simulado ante cambios, en la esperanza de que el sistema real se parezca al simulado, sin olvidar, que el objetivo es el opuesto, que el simulado se parezca al real.

Un problema ejemplar, en este sentido, lo constituye el comportamiento de los elementos lentos y no lineales del sistema, como la circulación termohalina del océano, cuyo tiempo de respuesta se acerca a los mil años. Es un ejemplo de que la Tierra tiene componentes con tiempos de respuesta que difieren en varias escalas de magnitud y con escalas espaciales características también muy diferentes. Esto es un hecho, o un conjunto de hechos, que limita de forma objetiva los avances de la modelización en cuanto al acoplamiento necesario de partes clave del sistema. El reto científico es acercarse lo más posible a esos límites.

Este *juego*, lento y costoso, exige la participación de casi todos los campos de conocimiento existentes, técnicos y científicos. Probablemente estamos más frenados en la actualidad por los límites de nuestro conocimiento de la no linealidad y de la dinámica del caos, y por las incógnitas de las interacciones entre biosfera-atmósfera o atmósfera-océano, que por la capacidad de cálculo de los ordenadores. Si bien es cierto, que posiblemente sea esta capacidad de cálculo creciente, junto a la observación satelitaria, la que ayude finalmente a comprender la no linealidad como generadora de caos, y a describir la parte de orden que existe dentro de aquel.

La predecibilidad del sistema del clima no es ilimitada ni es siempre igual, y averiguar sus límites espaciales y temporales será o ya es, sin duda, un objetivo del siglo *xxi*.

1.3. Programas de observación y de investigación: nuestros laboratorios de pruebas son la Tierra y sus modelos

En 1938, el intento de Callender de determinar el aumento de concentraciones de CO₂ fracasó fundamentalmente por falta de datos adecuados. Las ciencias de la Tierra carecen de laboratorios comparables a los de otras disciplinas científicas y los experimentos posibles tienen dos opciones: la simulación del sistema mediante modelos y la utilización de la propia Tierra como laboratorio, mediante la oportuna observación sistemática distribuida convenientemente en el espacio y en el tiempo. *Convenientemente* significa aquí, que tenemos que concebir la observación como un dispositivo capaz de atrapar los hechos singulares, irregulares o discontinuos, tanto como los hechos más habituales, regulares y continuos, de forma que podamos establecer relaciones entre ellos. Un dispositivo de este tipo, en la práctica adopta la forma de redes de observación, con estaciones fijas y móviles, sobre las superficies terrestres y marinas, en superficie y a distintas alturas en la atmósfera y a diferentes profundidades en los océanos.

La dificultad y el coste de disponer de puntos de observación en todo el mundo de forma regular o adecuada a cada variable que se ha de medir, se incrementan con la necesidad de garantizar la *continuidad* de la medida y su *comparabilidad*. La continuidad en el tiempo exige compromisos de países e instituciones y los esfuerzos puntuales en forma de campaña o de toma de medidas asociadas a proyectos tienen un valor limitado. La comparabilidad exige normalización en las metodologías utilizadas y cierto grado de estandarización de la instrumentación y de los horarios, que permita utilizar datos homogéneos.

Con este fin, y para el ámbito de la atmósfera, en 1873 se creó la Organización Meteorológica Internacional, que se convirtió años más tarde en la actual Organización Meteorológica Mundial. El desarrollo de ambas ha ido a la par que los desarrollos de los medios de telecomunicación y de los medios de computación y de los avances industriales aplicados a la instrumentación. El grado de superación de barreras políticas por parte de estas dos organizaciones ha

sido siempre, sin retórica, un ejemplo de colaboración internacional e intergubernamental, siendo uno de los entornos más neutrales que podemos encontrar en nuestro mundo de hoy.

En este marco han ido apareciendo programas sucesivos de obtención y gestión de datos, sin los que no habríamos alcanzado el actual grado de comprensión de la atmósfera y el clima de la Tierra. Entre los muchos intentos de síntesis histórica de este proceso, el de J. P. Bruce, presentado en la Segunda Conferencia Mundial del Clima en 1990, es uno de los más atractivos. Entiende que hemos asistido a una evolución progresiva de nuestra comprensión de la atmósfera, de la meteorología y del clima, que se ha visto alterada profundamente en cuatro momentos clave, con cuatro *revoluciones*, tres de ellas casi simultáneas, similares, habría que añadir, a las que han tenido lugar en muchas otras actividades.

La *revolución observacional* que dio origen a la Vigilancia Meteorológica Mundial (VMM en español y WWW en inglés) y la Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG en español y GAW en inglés) como sistemas de observación ampliados con la información de satélites, que distribuyen su información mediante un Sistema Global de Telecomunicaciones (GTS) basado en claves numéricas, que supera las barreras idiomáticas, en tiempo real.

La *revolución computacional* que ha permitido la construcción de modelos de simulación de los procesos observados y a su vez ha requerido más y mejores observaciones.

Una tercera *revolución conceptual*, que dio origen al enfoque actual del clima a partir del intento de unir esfuerzos previos de investigaciones parciales en un único Programa de Investigación Atmosférica Mundial (GARP) que se inicia en 1963. Años más tarde, en 1975, se consolida en el GARP el concepto formalizado de *sistema climático*, compuesto por la atmósfera, los océanos, la criosfera, la biosfera y la litosfera o los suelos al menos (A + O + C + B + L). Son diversos subsistemas y no sólo la atmósfera quienes conforman el clima como un producto de su interacción. El clima observado sigue siendo la descripción estadística de los estados de la atmósfera, tanto en sus valores medios como en la caracterización de sus comportamientos extremos, pero los factores y elementos que lo describen ya no son algo estático, como las coordenadas o la continentalidad, sino todo un sistema dinámico que lo determinan de forma cambiante.

La última fase, en la que nos encontramos, sería una nueva *revolución conceptual*, referida ahora no a la concepción de sistema del clima, sino a la conciencia de nuestra capacidad de alteración de ese sistema. Es la que incorpora la actividad humana a la concepción dinámica del clima, como causa posible de cambios decisivos en los comportamientos globales de uno o de varios de los componentes del sistema climático.

Estas cuatro etapas han estado salpicadas de conferencias, programas y reuniones que frecuentemente han reclamado un carácter histórico, y que vistas con perspectiva reflejan la efervescencia con que se trató el problema en algunos momentos cercanos a 1990. Con el paso del tiempo, sólo algunas merecen esa consideración de decisivas e históricas.

La *Primera Conferencia Mundial del Clima* de 1979, dio origen al Programa Mundial del Clima tal y como hoy lo conocemos, en lo esencial. Es cierto que los subprogramas que lo componen ven modificados sus nombres y su alcance, pero sigue vigente su orientación general a: los datos, las aplicaciones del conocimiento a la socioeconomía, los estudios de impactos y riesgos, la investigación de la variabilidad observada del clima y del cambio climático.

Propuesto y coordinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), integra los esfuerzos de otras agencias y cuerpos del sistema de las Naciones Unidas, como son UNESCO a través de la Comisión Oceanográfica Internacional, ICSU (Consejo Internacional de Uniones Científicas) y el Programa de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA).

Cada uno de los subprogramas ha dado lugar en estos años a experimentos diversos y a proyectos de observación y del conocimiento, cuyos valores determinantes son su carácter interdisciplinar, su carácter supranacional, su continuidad y su integración mutua.

Un caso que permite visualizar el éxito que estos planteamientos han producido, es el conocimiento del clima del pasado, a partir de datos indirectos, denominados *proxy*, procedentes de la datación isotópica o del estudio geológico y biológico, de sedimentos, testigos de hielo en zonas polares, pólenes acumulados en estratos. Esta información nos ha permitido conocer comportamientos relativos y absolutos a veces, de la temperatura, la precipitación o los contenidos en gases de efecto invernadero, durante épocas remotas, de cientos de

miles y de millones de años atrás. Información impensable hasta hace unas décadas y cuya obtención estaba fuera del alcance de los expertos convencionales en física de la atmósfera y de los meteorólogos profesionales.

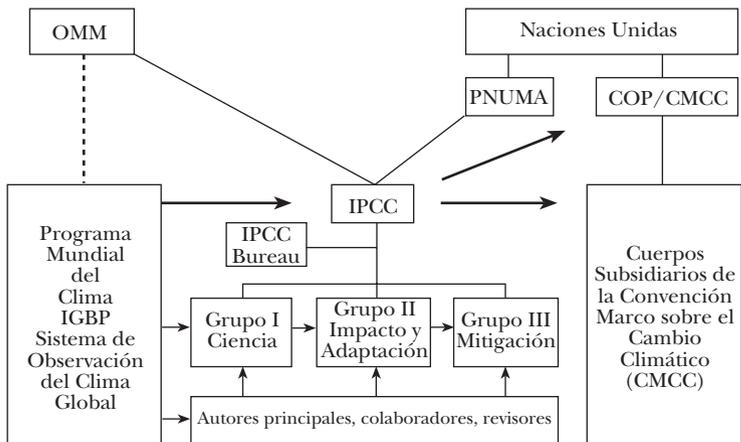
El actual Programa de Investigación del Clima Mundial (wcrp) es el sucesor del primitivo GARP, ya citado, alberga proyectos clave para comprender el futuro del clima, bajo la acción de *forzamientos* del sistema climático, naturales o debidos a la acción humana. Complementado por el Programa Internacional de Geosfera y Biosfera (IGBP) liderado por la citada ICSU, componen una trama de proyectos y experimentos globales, algunos de ellos finalizados y otros aún vigentes, orientados a comprender la nubosidad (ISCCP); el ciclo hidrológico (GEWEX); los flujos y el balance de radiación terrestre (ERBE); la atmósfera y lo océanos tropicales (TOGA); la circulación del océano (WOCE) o la atmósfera y el océano extratropicales y su variabilidad (CLIVAR actual).

Los sistemas más antiguos de observación citados, también han sido ampliados y mejorados con la iniciativa de tres grandes sistemas mundiales de observación integrados: el Sistema Mundial de Observación del Clima (GCOS), el Sistema Mundial de Observación de los Océanos (GOOS), el Sistema Mundial de Observación Terrestre (GTOS), todos ellos muy orientados a la obtención de datos necesarios para la mejora de la modelización o de la comprobación teórica de hipótesis.

En las dos décadas finales del siglo xx surgieron iniciativas para abordar el problema de que el calentamiento observado pudiera ser un indicio incipiente de la intensificación del efecto invernadero. Científicamente, la más relevante tuvo lugar en Villa, Austria, en 1985, cuyos resultados se publicaron al año siguiente. Políticamente, es posible que el hecho más influyente fuera el informe de abril de 1987 de la Comisión de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, dirigido por la doctora Brundtland y presentado a la Asamblea General de Naciones Unidas. Como consecuencia casi inmediata, y en un contexto de numerosas reuniones nacionales e internacionales, científicas y ministeriales, como la Conferencia de Toronto, la Declaración de La Haya y otras muchas, se aprobó la creación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change), como entidad de las Naciones Unidas creada conjuntamente por la OMM y el PNUMA.

Este organismo, que nace en noviembre de 1988, tiene la función de evaluar el estado de los conocimientos sobre el cambio climático de la comunidad científica más especializada. Esto incluye una evaluación de certezas e incertidumbres acerca del conocimiento científico sobre los fundamentos del cambio climático en diversos escenarios de emisiones, de los impactos que produciría cada escenario y de las medidas de limitación de emisiones y de adaptación al cambio. Incluye también la estimación de costes, tanto de adaptación y de limitación, como los derivados de no adoptar medida alguna.

ESQUEMA 1.3: Estructura del IPCC, 1997-2001



Fuente: J. T. Houghton.

Desde su creación, el IPCC ha realizado tres informes de evaluación de referencia, en 1990, 1995 y 2001. Una primera propuesta del informe de 1990 sugería la conveniencia de aprobar una Convención Marco sobre el Cambio Climático, que de hecho se elaboró entre 1990 y 1992, y se presentó y aprobó en la Segunda Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, o Cumbre de Río de 1992.

Aprobada la Convención y puesta en vigor en 1994, el IPCC se ha convertido en el principal, aunque no único, organismo asesor cien-

tífico de la Convención y ejerce este papel con los informes plurianuales y con otros informes específicos que la Convención recaba o que el IPCC, autónomamente, considera necesarios.

Desde su creación se han elaborado multitud de Informes Técnicos y de Informes Especiales, disponibles en versiones reducidas y completas, según los casos, en la página www.ipcc.ch.

En cualquier caso, toda la aparentemente complejidad de esta estrategia y el laberinto, también aparente, de siglas y cambios de denominación de sus programas y proyectos, tienen un hilo conductor relativamente simple, necesitamos:

1. Observaciones continuas, comparables, disponibles y adecuadas para la investigación científica y el desarrollo racional de la humanidad.
2. Comprensión de los procesos de pequeña escala más influyentes en las escalas superiores, que determinan el clima a gran escala, y de los procesos de gran escala de evolución lenta.
3. Desarrollo de modelos que nos sirvan como simuladores del clima pasado y como laboratorios virtuales de la realidad en los que realizar experimentos del clima.
4. Aplicación de nuestros datos y conocimientos a la gestión de los recursos y los sistemas naturales y humanos, y a la consideración del clima mismo como un bien común de la humanidad.

1.4. El clima del pasado: hay muchos climas posibles además de éste

El conocimiento del clima del pasado, la sistematización de las causas internas y externas que modifican el balance de radiación del planeta, y la simulación del sistema mediante modelos numéricos, son las vías por la que discurre nuestra actual *teoría del clima*.

Es una teoría que nace del conocimiento fragmentado del clima en el pasado, analizado en las diversas escalas de tiempo y espacio, que muestran sus continuos cambios y algunas pautas de comportamiento explicables y, por lo tanto, predecibles de forma restringida

en ciertas escalas. Es el caso de las glaciaciones del Cuaternario, durante el último millón de años. En otros casos, existen diversas posibilidades de explicación, como en la Pequeña Edad del Hielo, durante los siglos XVI a XVIII, en una amplia zona de Europa. Finalmente, existen muchos episodios climáticos y cambios bruscos, para los que tenemos respuestas provisionales, como es el caso del final brusco del período de enfriamiento *Younger Dryas*, hace once mil seiscientos años. El final de este enfriamiento marcó el inicio del calentamiento posterior que llega hasta nuestros días. Es un caso de gran interés porque sabemos que en realidad es un *retroceso* en el proceso general de calentamiento propio de la transición glacial-interglacial que se inició hace dieciocho mil años. Nos enseña mucho acerca de las escalas de tiempo de un cambio climático.

El clima de nuestro planeta ha variado a lo largo de su historia geológica dramáticamente, desde enfriamientos de 8°C hasta calentamientos de 5°C con relación a la temperatura media de superficie del presente, que es de unos 15°. En esas escalas, sabemos que hace más de mil millones de años, la temperatura promediada en superficie fue mucho más cálida que en la actualidad, y que hace entre mil y doscientos millones de años, experimentó alternancias de periodos muy cálidos y muy fríos. Un periodo singular es el calentamiento del Cretácico, que alcanza su máximo valor hace unos sesenta y cinco millones de años, con temperaturas medias de 21°C; unos 6°C por encima de los valores medios actuales y que coincide con la extinción de los grandes saurios del planeta.

Desde hace poco más de un millón de años, en lo que conocemos como Cuaternario, el clima de la Tierra presenta estados básicos de glaciación, con duraciones de unos cien mil a cincuenta mil años, separados por períodos cálidos de menor duración, entre los cinco mil y los diez mil años. Entre glaciaciones e interglaciaciones, la oscilación de las temperaturas medias planetarias en superficie superan los 10°C. La temperatura media mundial en superficie llega a experimentar enfriamientos de hasta 8°C, respecto a los valores actuales de referencia (convencionalmente, 1961-1990) y calentamientos de más de 2°C.

El conocimiento del clima de la Tierra en el pasado nos indica, en todo caso, que es sensible; que es capaz de responder con cambios bruscos y lentos a las variaciones de las condiciones de contor-

no, es decir, a las perturbaciones externas que modifican la energía disponible por unidad de superficie y que, en suma, alteran el balance radiativo planetario.

1.5. El clima del futuro: forzamientos, realimentaciones y sensibilidad cambian el clima

El clima futuro, como el de cualquier momento, dependerá de las condiciones futuras del balance de radiación. Por primera vez, parte de esas condiciones están siendo predeterminadas por la actividad conjunta de la especie humana sobre la Tierra.

En periodos del orden de un año, el balance global promediado de la radiación entrante y saliente suele ofrecer una situación de equilibrio, que denominamos *equilibrio radiativo*. La radiación neta entrante, es de 240 W.m^{-2} , y debe ser reemitida a la atmósfera, aunque en forma de una energía más degradada, como es la infrarroja.

Cualquier proceso que altere o perturbe dicho equilibrio, se denomina *forzamiento radiativo* y se mide en la tropopausa, en W.m^{-2} , como cambio en el flujo neto descendente. La comunidad científica ha desarrollado este concepto de *forzamiento radiativo* para tratar las perturbaciones como modificaciones finales del balance de radiación global y así cuantificar la influencia de cada proceso en el clima observado. Unido a este concepto ha surgido el de *sensibilidad climática* para expresar la respuesta de la temperatura atmosférica en $^{\circ}\text{C}$, a cambios unitarios o arbitrarios de esos forzamientos radiativos, como es la duplicación de la concentración del CO_2 .

El forzamiento radiativo facilita la comparación de procesos tan diferentes como una alteración de la radiación solar recibida, una erupción volcánica, el debilitamiento de la capa de ozono estratosférica, las variaciones orbitales terrestres que justifican las alternancias glaciación-interglaciación explicadas por Milankovitch, los cambios de albedo, o los cambios debidos al aumento de gases de efecto invernadero y a la presencia de aerosoles atmosféricos.

Es un concepto simple pero potente, que al comparar forzamientos climáticos de origen diverso entre sí, permite atribuir a cada causa una *capacidad* de modificación del clima. Ayuda a cuan-

tificar la *responsabilidad* de cada proceso, de cada fuente de cambio o de cada escala de perturbación. Termina con algunos debates *cualitativos* a los que hemos asistido en el pasado, y aún hoy, que comparan hechos ciertos no comparables por la diferencia de sus órdenes de magnitud. Es posible, por lo tanto, que tengamos incertidumbres acerca de los efectos que cada causa de cambio climático puede producir, pero no acerca de la importancia relativa de cada causa en relación con las demás.

En el caso de los gases de efecto invernadero, su valor se determina mediante funciones que dependen de las concentraciones final e inicial consideradas, de forma que es nulo si las concentraciones se mantienen constantes. En el caso del dióxido de carbono, su valor entre un año dado y otro de referencia viene dado por $\langle k \cdot \ln(C/Co) \rangle$, con k cercano a seis. Para la duplicación ($C/Co = 2$) el valor del forzamiento es de $4,2 \text{ Wm}^{-2}$.

Interesa saber que la concentración pre-industrial del dióxido de carbono era de unas 280 ppmv (partes por millón en volumen) y que hace años que hemos rebasado la concentración media de las 300 ppmv. En 2003 hemos superado las 370 ppmv y la tendencia observada y estimada es notablemente creciente. Como referencia más amplia, sabemos que las variaciones a lo largo del Cuaternario, durante las alternancias glaciación-interglaciación, han seguido la misma pauta relativa que las temperaturas, pero los valores absolutos están acotados en ese periodo entre las 200 y las 300 ppmv aproximadamente. En ningún caso se han alcanzado concentraciones cercanas al temido valor de duplicación de 550 o 560 ppmv.

El cuadro 1.2 muestra las concentraciones pre-industriales de referencia, las tasas de crecimiento, los tiempos de permanencia media en la atmósfera y su capacidad relativa de calentamiento, en comparación con la capacidad de calentamiento del CO_2 .

Si se contabilizan los forzamientos radiativos desde la época pre-industrial hasta ahora (digamos 1750 a 2000) se observa que lo que era inicialmente un forzamiento radiativo más, se ha convertido en un forzamiento radiativo mayor que el resto. Tiene además un carácter acumulativo, debido a que su influencia no es sólo instantánea, sino que se extiende durante todo el tiempo en el que los gases residen en la atmósfera, hasta su eliminación o absorción por otros subsistemas, muchos años después de su emisión.

CUADRO 1.2: Evolución y características de los gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo de Kioto

Gases	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	HCFC-23	CF ₄	SF ₆
Nivel pre-industrial	~280 ppmv	~700 ppbv	~275 ppbv	0	40 pptv	0
Concentración en 1998	365 ppmv	1745 ppbv	314 ppbv	14 pptv	80 pptv	3-4 pptv (en 1994)
Ritmo de cambio*	1,5 ppmv/a 0,4%/a	7 ppbv/a 0,5%/a	0,8 ppbv/a 0,25%/a	0,5 pptv/a	1 pptv/a	0,2 ptv/a
Permanencia en atmósfera (años)	5-200**	12***	114	260	> 50.000	3.200
Potencial de calentamiento a cien años (+)	1	21	310	11.700	23.900	6.500

Notas: El CO₂ (dióxido de carbono), el CH₄ (metano), el N₂O (óxido nitroso), el SF₆ (hexafluoruro de azufre) y el CF₄ (perfluorocarbono, o PFC) están cubiertos por el Protocolo de Kioto. El HCFC-23 (un sustituto del CFC) es también una sustancia que agota el ozono estratosférico y, por ello, está considerado en el Protocolo de Montreal, más que en los acuerdos sobre cambio climático.

1 ppmv = 1 parte por millón en volumen; 1 ppbv = 1 parte por mil millones, por volumen; 1 pptv = 1 parte por billón, en volumen.

* Ritmos estimados a partir de datos de 1990-1999, salvo el SF₆ que se refiere al período 1992-1993.

**No puede definirse una duración de vida única para el CO₂, debido a las diferentes velocidades de absorción por los diversos procesos de sumidero. En realidad, el dióxido de carbono circula entre depósitos y sólo en algunos procesos es absorbido definitivamente. Los tiempos dados indican lo que tardaría la concentración en acomodarse a cambios bruscos de emisiones.

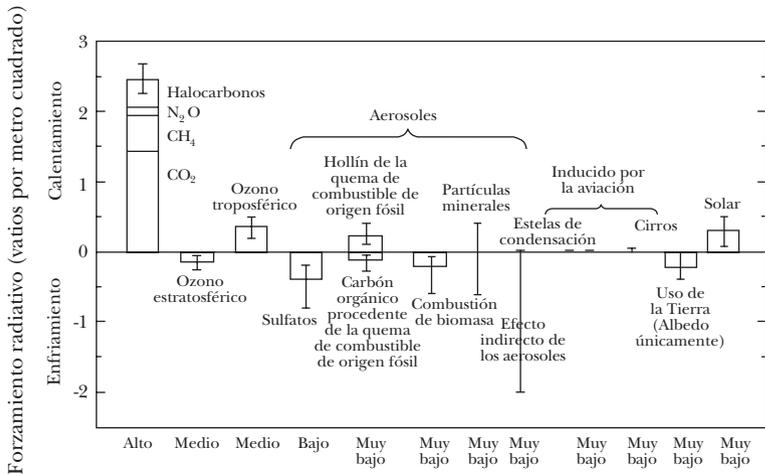
*** Las permanencias se consideran como *tiempos de ajuste* que tienen en cuenta los efectos indirectos del gas en su propio tiempo de residencia.

Este cuadro está adaptado del Resumen Técnico del informe *Climate Change 2001*, IPCC Working Group; con excepción de la columna del SF₆, que procede del informe del IPCC *Climate Change 1995*.

+ Los potenciales de calentamiento mundial para cada gas, indican la capacidad de calentamiento que tiene 1 kg de cada gas con relación al CO₂, tomado como gas de referencia, para un horizonte de tiempo elegido, que aquí es de cien años. Los kg emitidos reales de un gas, un año dado, multiplicados por su PCC, nos proporcionan la cantidad de kg emitidos de CO₂ *equivalente*, es decir, de CO₂ que ejercería un forzamiento radiativo igual que el del gas realmente emitido.

En la medida en que los cambios en los forzamientos antropogénicos superan a los forzamientos naturales, que en escalas de tiempo cortas son muy estables, se convierten en forzamientos dominantes, como parecen serlo ya en las décadas de los años 1980 y 1990.

ESQUEMA 1.4: Forzamiento radiativo medio anual del sistema climático del año 2000 con respecto a 1750



Un análisis de la evolución anual de los mismos valores permitiría apreciar que, hasta muy avanzado el siglo xx, la suma de forzamientos no antropogénicos y antropogénicos estaba muy equilibrada. En consecuencia, es muy verosímil que el calentamiento y los comportamientos observados de la temperatura desde hace 250 años hayan sido estables y pequeños en promedio, hasta que, en el último tercio del siglo xx, se invierte la tendencia y se aprecia un calentamiento progresivo, que tiene una probabilidad muy alta de ser debido al efecto invernadero intensificado, moderado por los forzamientos negativos existentes de signo opuesto, como el que genera la presencia de contaminación por aerosoles de sulfato.

El principal factor causal de los cambios climáticos es, por lo tanto, el forzamiento radiativo. Para una duplicación brusca del CO₂, su valor supera los 4 W/m². Quiere esto decir que la radiación emitida por nuestro planeta se reduciría, aproximadamente, de 240 W/m² a 236 W/m². Para restaurar el equilibrio perdido se debería producir

un calentamiento inicial del planeta dirigido a incrementar la radiación emitida hasta alcanzar un equilibrio nuevo. Este calentamiento global inicial tiene un valor de 1,2°C según la ley de Stefan-Boltzmann, y es el aumento de temperatura necesario, si no existieran otras variables sensibles al proceso, para restablecer el balance de radiación.

En esencia, el cambio en el equilibrio de la temperatura en superficie promediada mundialmente, ΔT_s , viene dado por:

$$\Delta T_s = \Delta Q / \lambda \quad (1.1)$$

Donde ΔQ es la perturbación o forzamiento radiativo aplicado ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) y λ es el *parámetro de sensibilidad* climática ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$). Para los $4,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ que corresponden al forzamiento de la duplicación del CO_2 , el calentamiento radiativo sería igual a 1,2°C, si el sistema respondiera como un cuerpo negro perfecto y sin proceso alguno de respuesta posterior.

Sin embargo, en la realidad, ese calentamiento desencadena procesos de evaporación, de modificación de la nubosidad y de la convectividad, y otros muchos procesos de respuesta rápida. También desencadena procesos de respuesta lenta, directos e indirectos, de más largo plazo de contestación, como los cambios de albedo planetario, los deshielos progresivos o los cambios en la circulación termohalina de los océanos.

Todos ellos amplifican o moderan el cambio inicial y son responsables de parte de las incertidumbres existentes. A estos procesos que modifican ese valor de equilibrio inicial se les conoce como *realimentaciones* del sistema.

Un proceso de realimentación (o de retroalimentación) es aquel que a partir de un cambio inicial en una variable A, produce un cambio en otra variable B que, a su vez, produce cambios en la variable inicial A.

Los que tienden a amplificar el sentido inicial de la variación se consideran positivos, y los que reducen el cambio inicial se consideran negativos. Algunos de los procesos inician realimentaciones de signo opuesto simultáneamente.

Los tiempos característicos de respuesta son muy diferentes y se consideran *lentos*, cuando van de decenios a miles de años, y *rá-*

pidos cuando van desde los pocos años hasta la respuesta casi instantánea.

CUADRO 1.3: Procesos importantes de realimentación

* Aumento de la evaporación	+	Rápido
* Nubosidad	+/-	Rápido
* Cubiertas de hielo y nieve	+	Lento/rápido
* Vegetación	+/-	Lento
* Ciclo del carbono	+/-	Lento

Estas características de los procesos (o de los modelos que los simulan) que modifican la respuesta inicial y la reducen o amplifican, se engloban bajo el concepto de *sensibilidad* del sistema, y en el caso más simple coincide con el parámetro τ anterior.

Según las mejores estimaciones actuales de los efectos de la nubosidad y de otras fuentes de incertidumbre menores, las realimentaciones amplifican la señal de calentamiento inicial de 1,2°C hasta valores comprendidos entre 1,5°C y 4,5°C.

Recientemente se han realizado cálculos con modelos para comprobar si la sensibilidad depende de la forma y magnitud de las distribuciones de los forzamientos, así como para comprobar su relación con la forma de combinarse los gases para producir un forzamiento determinado. Los resultados a escalas de un siglo, indican que puede considerarse constante sin cometer errores superiores al 10% en la estimación de las respuestas a forzamientos. Esto significa que la respuesta de la temperatura media mundial es aproximadamente proporcional al forzamiento medio mundial de efecto invernadero. Algo más complejo es el problema cuando se consideran efectos regionales o forzamientos globales que incluyen fuentes de forzamiento de distinta naturaleza (como los aerosoles o los del ozono estratosférico).

En resumen, la complejidad de la simulación del sistema climático proviene de la gran cantidad de escalas de movimiento simultáneo que se producen en la atmósfera, de las retroalimentaciones de signo y magnitud diferentes que se producen, y de la forma en que crecen muchas de las perturbaciones regionales, con gran rapidez, destruyendo los estados medios, hasta que su acción es contrarrestada por otra retroalimentación de signo opuesto.

1.6. La obtención de escenarios futuros de emisiones: un escenario de clima para cada escenario de emisiones

No predecimos el clima en el mismo sentido determinista que se predice el tiempo. El tiempo que predecimos, con mayor o menor grado de acierto, es el que realmente hará, y está determinado por las condiciones iniciales de la predicción y por las condiciones locales que modifican la circulación general.

En sentido estricto no podemos hablar de predicción del clima, sino de *escenarios* del clima como respuesta a unas condiciones externas, que conocemos como condiciones contorno. Es un estado promediado en el tiempo. Es el clima más probable asociado a un escenario de emisiones de gases de efecto invernadero o asociado a un forzamiento predefinido cualquiera. Si ese escenario no se produce, no debemos esperar ese clima. Planteado así el problema, lo que buscamos es conocer la respuesta del clima a cada escenario de *humanidad* posible en el siglo *xxi* y esto último significa, al menos, conocer los escenarios futuros de emisión.

Para tener una visión de conjunto de lo que lleva desde uno a otro escenario, es necesario comprender que existe un *encadenamiento* de escenarios intermedios, que introduce incertidumbres y problemas propios en cada paso:

Escenarios de cambio de:

Emisiones → Concentraciones → Forzamientos radiativos →

Temperatura → Nivel del mar, precipitación, ... → Impactos y riesgos

Los escenarios de *emisiones* se basan en conjuntos de hipótesis sobre crecimiento demográfico, crecimiento de la economía mundial, evolución de las tecnologías y modelo energético de consumo. Básicamente, estamos ante tres variables socioeconómicas: población, desarrollo económico y consumo de energía.

Los escenarios de *concentraciones* se basan en el conocimiento actual y en los modelos asociados de los ciclos del carbono y otros ciclos biogeoquímicos. El paso de las *emisiones a las concentraciones* lo determina el conocimiento y la modelización del ciclo del carbono.

Los escenarios de *forzamientos* tienen su incertidumbre muy acotada. Su calidad depende de la condición del escenario de emisiones/concentraciones. El paso de *concentraciones a forzamientos* radiativos es un camino relativamente sencillo, se basa en relaciones bien establecidas y generalmente lineales, aunque no exento de alguna dificultad en cuanto a sus efectos indirectos.

Finalmente, los escenarios de *temperaturas y otras variables climáticas* se construyen mediante los modelos climáticos y, a partir de sus salidas, se estudia el impacto del cambio de clima en cada sector o en cada sistema de interés. Este último paso, *de escenarios de forzamientos a escenarios climáticos*, se realiza de forma externa a los modelos salvo en aquéllos más recientes y complejos, en los que se ha comenzado a obtener directamente a partir de la evolución de las concentraciones de gases y de la carga futura estimada de aerosoles sulfurosos, como parte del modelo mismo.

El IPCC, en su papel de dinamizador y evaluador del estado del conocimiento, ha propuesto y elaborado tres generaciones de escenarios de emisiones-concentraciones-forzamientos, para que los equipos y grupos de modelizadores, con toda la jerarquía de modelos disponibles, construyan escenarios climáticos.

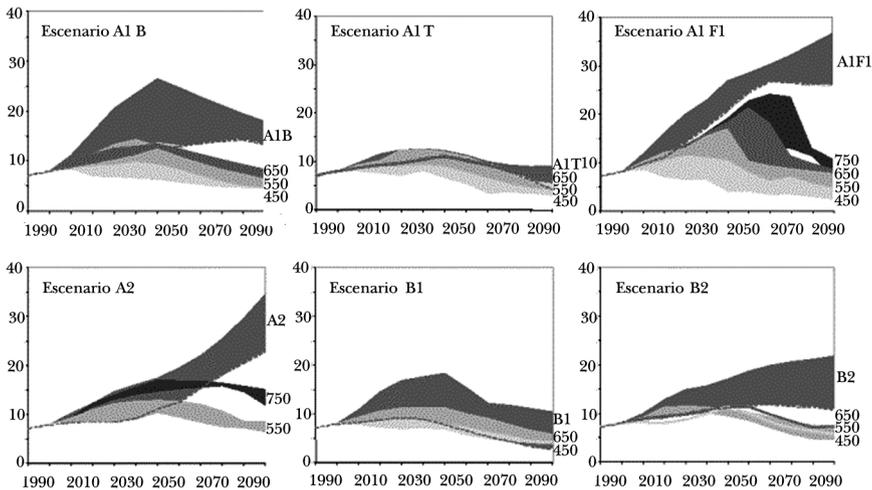
Los dos primeros se formularon en 1990 y 1992 y se utilizaron con profusión hasta 2000 como base para los experimentos de modelización. Los cuatro escenarios A, B, C y D de 1990, dieron paso a los seis escenarios IS92 de 1992, singularizados con las letras a, b, c, d, e y f, que a su vez fueron la base de una segunda generación de experimentos climáticos, entre los que destacan los del Centro Hadley conocidos como HadCM2.

En 1996, se inició la elaboración de una nueva generación de escenarios superando defectos de los anteriores, que vieron la luz en 1998. Durante dos años se han probado y en 2000, pasaron a ser la propuesta oficial del IPCC, vigente en la actualidad y contenida en el Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones (IE-EE en español y SRES en inglés) y en el Tercer Informe de Evaluación publicado en 2001.

Esta última generación SRES (IE-EE en español) de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, se han obtenido a partir de conjuntos de hipótesis de población, consumo y desarrollo económico mundial. Existe un escenario para cada uno de los gases de

efecto invernadero incluidos en el Protocolo de Kioto y para los principales contaminantes atmosféricos convencionales. En total, se han establecido un conjunto de 40 escenarios estructurados en cuatro grandes familias, A1, A2, B1 y B2, una de las cuales considera a su vez tres subgrupos, A1FI, A1B y A1T, que distinguen, respectivamente, escenarios basados en energías procedentes del uso intensivo de combustibles *fósiles (FI)*; en energías basadas en el desarrollo de *tecnologías (T)* y en soluciones de equilibrio o *balance (B)*, para obtener energías renovables. Ésta es la forma de soslayar nuestro desconocimiento de cómo será el mundo al terminar este siglo XXI.

GRÁFICO 1.1: Última generación de escenarios de emisiones del IPCC, 2000



Fuente: Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones del IPCC, 2000 (IE-EE en español y SRES en inglés).

Los escenarios A1 y B1 tienen en común las evoluciones demográficas, que alcanzan su máximo hacia mediados de siglo, superando los 7.000 millones de habitantes. En A1 se tiende a la disminución de las diferencias regionales y hay una alta convergencia en los modos de vida, consumo y PIB por persona. Los tres subgrupos considerados difieren en las tecnologías energéticas utilizadas. En B1 predominan los criterios ambientales sobre los económicos, e imagina un mundo globalizado donde los valores regionales y locales tienen un gran peso, para que el desarrollo mundial siga pautas de

sostenibilidad. Los escenarios A2 describen un mundo heterogéneo, con aumentos de la población hasta alcanzar los 15.000 millones de habitantes. El cambio tecnológico es fragmentado y lento. Se mantienen los hábitos locales y se converge lentamente en los modos de vida. Los escenarios B2 combinan un crecimiento intermedio de la población, hasta alcanzar los 10.000 millones de habitantes, con un alto desarrollo tecnológico de las opciones sostenibles económicas y energéticas. Priman en ellos las soluciones regionales y ambientales.

En todos ellos, no obstante, los valores finales de emisiones son muy altos, aunque facilitan la visión de lo diferente que puede ser nuestro mundo futuro según las decisiones que adoptemos consciente o inconscientemente.

1.7. Síntesis del conocimiento actual

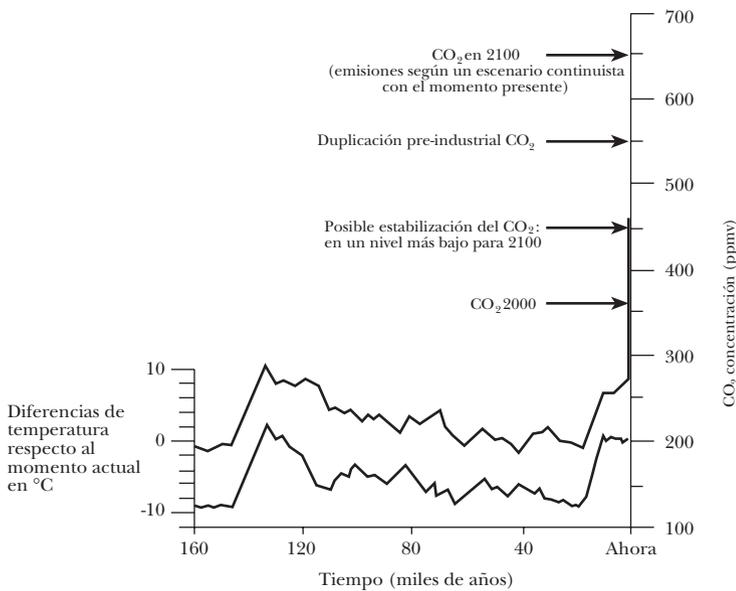
El calentamiento observado desde que existen observaciones instrumentales normalizadas, hacia 1860 y otras alteraciones observadas en el sistema climático, consistentes con los conocimientos y la simulación con modelos del clima, se han evaluado por parte del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) con el fin de establecer las relaciones con las actividades humanas que pudiera ser la causa fundamental de esos cambios.

En realidad, la comunidad científica ha reformulado el reto de conocer si el *clima ha cambiado* en las pasadas décadas, porque la naturaleza propia del clima es ser cambiante como corresponde a un sistema en el que intervienen muchos procesos simultáneos y no es el *cambio* en sí lo que resulta significativo, sino su brusquedad y sus posibles causas. El reto reformulado es estimar qué respuesta podemos esperar de la Tierra como sistema global, a los cambios bruscos de las concentraciones de gases de efecto invernadero. La detección y atribución del cambio son una consecuencia de ese planteamiento: conocer qué parte de ese cambio observado se debe a la intensificación del efecto invernadero y qué parte se debe a causas naturales, para calibrar así nuestra capacidad de influencia.

Si representamos cualquiera de los escenarios de emisiones considerados en una misma escala que contenga la evolución durante

la última glaciación, se percibe que el cambio que pueden inducir en el clima no puede ser en ningún caso subestimado o considerado como algo improbable. Por el contrario, resulta casi obvio que necesariamente el sistema deber responder con una adaptación brusca a tal perturbación. Es muy posible que nos equivoquemos en detalles de nuestro escenario, pero es casi imposible que el sistema no reaccione ante una perturbación tan importante en magnitud y tan brusca.

GRÁFICO 1.2: Concentraciones de CO₂ en los últimos ciento sesenta mil años según los testigos de hielo y en los próximos cien años si emitimos como ahora

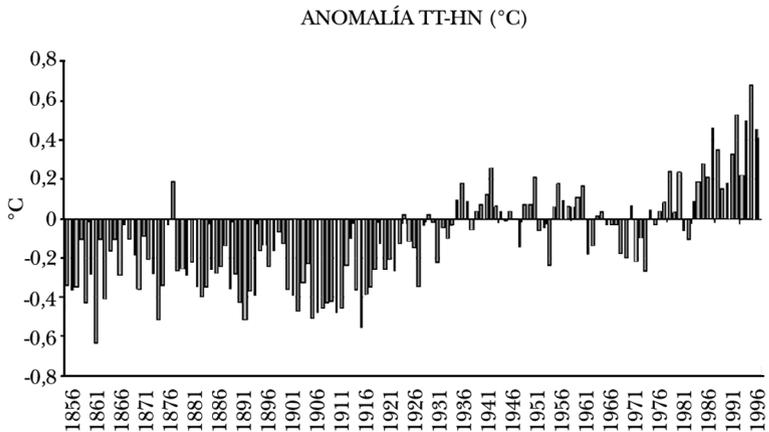


Fuente: Houghton.

Tiene mucha menor importancia, aunque más atención mediática el calentamiento observado de unos 0,7°C en los últimos ciento cincuenta años (gráfico 1.3). Un calentamiento anómalo, pero aún dentro de la variabilidad natural que, no obstante, presenta una distribución geográfica y una acumulación de registros extremos en los últimos veinte años, que coincide con la que produciría un aumento del efecto invernadero. Presenta también un aumento anterior a los años 1940, probablemente debido al forzamiento solar po-

sitivo, y una estabilidad entre 1940 y 1970, que parece responder a una moderación del calentamiento debido a la presencia de aerosoles de sulfatos.

GRÁFICO 1.3: El cambio de la temperatura del aire en superficie en los últimos ciento cincuenta años

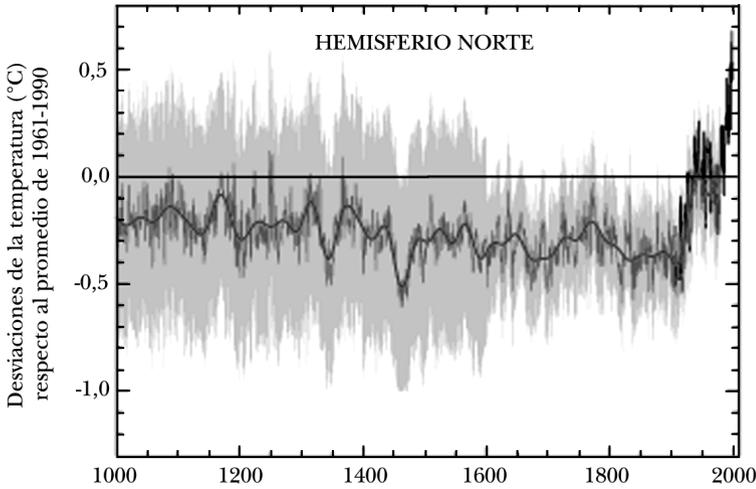


Fuente: IPCC, 2001.

Si observamos este cambio reciente en la perspectiva de los últimos mil años (gráfico 1.4), se acentúa la percepción de un cambio brusco y de la ruptura de la tendencia levisísima a un enfriamiento a muy largo plazo, consistente con el final —en términos de miles de años— de un período interglacial. Esta gráfica ha recibido algunas críticas relativas al sesgo que introduce la metodología y datos utilizados, que suavizan en exceso, filtrando comportamientos conocidos como el de la pequeña Edad del Hielo que tuvo lugar entre los siglos XVI y XVIII y que apenas aparecen. Cabe decir en su favor, que parte de tal suavización se debe a que representa una extensión como es el Hemisferio Norte y a que tal fenómeno no tuvo una existencia generalizada ni simultánea, fuera de Europa del norte y centro.

El aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera de la Tierra, y el aumento previsto

GRÁFICO 1.4: El cambio de la temperatura del aire en superficie en los últimos mil años



Nota: Datos de termómetros (negro) y de los anillos de crecimiento de los árboles, corales, muestras de hielo y registros históricos (gris oscuro).

Fuente: wcc, 2001.

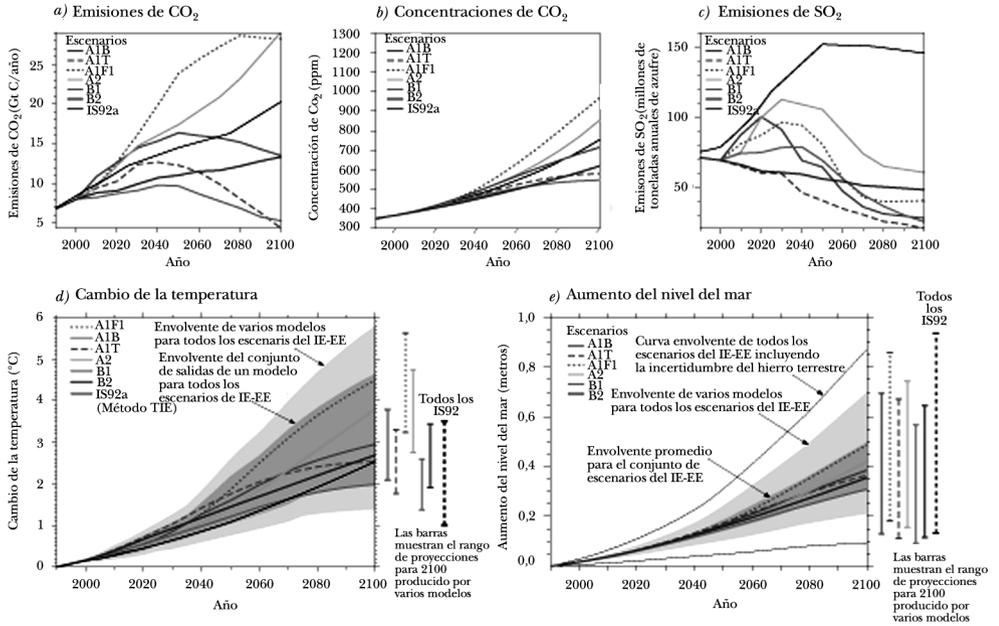
durante el siglo XXI, sobre la base de distintos conjuntos de escenarios contruados bajo la hipótesis de crecimiento demográfico, de desarrollo económico y de consumos energéticos hasta el 2100, constituyen la base para que los modelos de simulación del sistema climático, actualmente disponibles, produzcan a su vez escenarios climáticos futuros.

Estos escenarios han sido la base para la elaboración de algunos resultados de referencia del Tercer Informe de Evaluación del IPCC (conocido por sus siglas inglesas como TAR: Third Assessment Report). A partir de modelos relativamente simples, con sensibilidades establecidas a partir de modelos más complejos, los escenarios climáticos obtenidos muestran aumentos de la temperatura atmosférica global de superficie para el 2100, entre 1,4°C y 5,8°C y producen aumentos del nivel del mar entre 8 y 90 cm, considerando el conjunto de todos los escenarios de emisiones de referencia. El cuadro 1.4 resume algunas de las conclusiones de dicho Informe y de forma básica expresa la incertidumbre existente. Una incertidumbre, cuyo origen principal reside en la amplitud de *mundos humanos posibles* que hemos supuesto inicialmente, mediante los escenarios elaborados.

CUADRO 1.4: El estado del conocimiento del cambio climático

Sabemos que	Es probable que	Es incierto que
<ul style="list-style-type: none"> • Existe un <i>efecto invernadero</i> debido a la presencia de nubes y de gases radiativamente activos, absorbentes de la radiación infrarroja, en la atmósfera. Los más importantes son el vapor de agua, el dióxido de carbono, el metano, el óxido nitroso, el ozono y diversas familias de compuestos fluorados. • Desde la época preindustrial las concentraciones de CO₂, CH₄ y N₂O han aumentado en un 30%, un 145% y un 15% respectivamente. • En los últimos cien años la temperatura global media en superficie ha aumentado entre 0,3°C y 0,6°C. En los últimos veinte años se han acumulado la mayor parte de los registros absolutos más altos del periodo. El año 1998 fue el año más cálido registrado hasta ahora. • El nivel del mar se ha incrementado entre 10 y 25 cm en este periodo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero hayan contribuido significativamente a los cambios observados en el último tercio del siglo xx. • Con crecimientos de las emisiones distribuidos según seis familias de escenarios socioeconómicos y demográficos esperamos que para el año 2100: <ul style="list-style-type: none"> — La temperatura se incremente entre 1,4 y 5,8°C. — El nivel del mar se eleve entre 9 y 88 cm. — Se produzcan cambios con pérdidas en las tierras agrícolas. — Se produzcan cambios negativos en los ecosistemas. — Aumente la frecuencia de ciertas enfermedades como la malaria o el dengue. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se produzcan cambios abruptos o de gran escala como los que se han producido en otras épocas de la historia del planeta. Aunque sabemos poco de las causas de estos cambios. • Existe una gran incertidumbre en cuanto a los patrones de los cambios regionales y a sus impactos. • Hay una carencia de conocimiento sobre temas como: <ul style="list-style-type: none"> — Las realimentaciones relacionadas con la formación de nubes y con la humedad atmosférica. — Los efectos de enfriamiento de los aerosoles y de las emisiones sulfurosas. — Los efectos de las manchas solares. — Los impactos en la frecuencia e intensidad de huracanes y en otros fenómenos climáticos extremos. — Cambios en los patrones de la circulación oceánica.

GRÁFICO 1.5: Escenarios de aumento de la temperatura y del nivel del mar respecto a 1961-1990 para distintos escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles



Fuente: wcc, 2001.

Los impactos globales derivados de esta evaluación, considerando los cambios de los patrones de precipitación y de los extremos climáticos más importantes, introducen cambios bruscos en la planificación de la producción agrícola, en los sistemas de gestión del agua y la energía y en el equilibrio de los ecosistemas, que modifican y, en general, aumentan la vulnerabilidad de dichos sistemas ante los riesgos climáticos.

La estrategia actual para abordar el problema de los impactos climáticos futuros sigue diversas líneas: el desarrollo de técnicas de obtención de escenarios climáticos regionales; el desarrollo de técnicas de identificación de la vulnerabilidad de sistemas y sectores de la producción ante cada impacto; la evaluación integral biofísica y socioeconómica de los impactos; la evaluación conjunta de diversos impactos con sus interacciones; la evaluación de las incertidumbres finales conjuntas y la evaluación de técnicas y costes de adaptación.

En este marco el informe del IPCC (Grupo II) sobre «Impactos, adaptación y vulnerabilidad», resume sus conclusiones en los puntos siguientes:

1. Los recientes cambios climáticos regionales han influido ya en muchos sistemas físicos y biológicos.
2. Hay indicios preliminares de influencia en los sistemas humanos de los aumentos de inundaciones y sequías.
3. Los sistemas naturales son vulnerables al cambio climático y algunos quedarán irreversiblemente dañados.
4. Muchos sistemas humanos son sensibles al cambio climático y algunos son vulnerables al mismo.
5. Los cambios en los extremos climáticos podrían empeorar las consecuencias en algunas zonas.
6. El potencial para impactos posiblemente irreversibles y de gran escala supone riesgos pendientes de una evaluación fiable.
7. La adaptación al cambio climático, es una estrategia necesaria en todas las escalas como complemento de los esfuerzos de las estrategias de mitigación.

Nos encontramos ante una situación científica peculiar, puesto que no nos enfrentamos a dos paradigmas científicos en pugna, para explicar el hecho climático. Las leyes en las que nos basamos son las de la Física clásica. Disponemos de un conjunto de datos y de teorías disponibles que explican parcialmente esos datos, con diversos grados de profundidad. Sin embargo, el hecho que queremos explicar es el resultado de conocimientos que no atañen a la Física únicamente y exigen un esfuerzo de multiplicidad en los puntos de vista y de integración de técnicas y metodologías, que obligan a la comunidad científica internacional a realizar un esfuerzo de convergencia poco común. Este esfuerzo es el que debe alabarse en el IPCC, sin que ello implique que sus resultados deban aceptarse a ciegas.

El reto científico es el de reducir las incertidumbres rápidamente y lo más intensamente posible, y el reto de responsabilidad es el de saber transmitir a la sociedad los resultados del diagnóstico y las propuestas de actuación.

1.8. Retos y logros científicos

La complejidad de este reto se basa en la naturaleza del sistema climático mismo, cuyas numerosas interacciones entre los subsistemas que lo forman producen comportamientos caóticos e irreversibles, en los que existe un cierto grado de orden que permite la predecibilidad parcial pero no total y que justifica la existencia de *sorpresas* climáticas observadas en el pasado, y hace sospechar que puedan producirse en el futuro, bajo formas conocidas o desconocidas.

A este sustrato científico del sistema del clima debe añadirse la dificultad que comporta la perspectiva de la evolución de la humanidad para un periodo de cien años. Las emisiones futuras que determinarán a su vez las concentraciones planetarias de gases de efecto invernadero, dependerán de cómo sea nuestra organización social y económica.

Las estrategias de respuesta a este problema son, en consecuencia y necesariamente, globales y preventivas en su concepción. Por su parte, el desarrollo del conocimiento científico que soporte esas estrategias debe alcanzar un grado excepcional de integración tanto de los enfoques aplicados, como de las disciplinas científicas y sociales consideradas; las científicas, para estimar los cambios y sus consecuencias técnicas y las sociales, para estimar los riesgos económicos y sociológicos y los costes de adaptación y de reducción de emisiones.

Los esfuerzos de las últimas décadas proporcionan resultados importantes para nuestro conocimiento del clima. Algunos de estos logros, según el IPTS de la Comisión Europea y el propio IPCC, se resumen a continuación:

- Los métodos de detección y atribución de causas de cambio de clima, denominados *fingerprint* (detección de la huella) indican que sólo un 5% de las influencias detectadas en los cambios que se observan son de origen natural.
- Existe una fuerte influencia del ciclo solar de ochenta años, denominado ciclo Gleissberg, que en algún momento del pasado ha podido ser tan influyente como el propio forzamiento de invernadero.
- Se ha mejorado el conocimiento de la influencia de los parámetros orbitales sobre la concentración del dióxido de carbono.

- Se conocen mejor las capacidades de emisión y absorción del metano en las zonas con permafrost.
- Se conocen mejor los mecanismos océano-atmósfera y se tiene un marco conceptual mejor para entender las relaciones entre EL NIÑO y el cambio climático.
- Se sabe que los océanos durante los períodos de transición se comportan como fuente de realimentaciones y efectos no lineales y cuasi-irregulares.
- Los modelos se acercan a una simulación mejor, pero muy lentamente, integrando todos los subsistemas climáticos.
- El conocimiento de la existencia de cambios bruscos, en períodos de hasta una década, y otros fenómenos, a partir del estudio de sedimentos y testigos de hielo, nos aseguran que la Tierra es un sistema sensible a las causas radiativas de cambio climático.
- Existen indicios acerca de la naturaleza caótica del clima como *sistema*, que dificultan los avances en el terreno de la incertidumbre.

Desde la Segunda Conferencia Mundial del Clima en 1990 hasta la fecha, existe un consenso notable en cuanto a las líneas que deben mantenerse, en relación con las medidas que se han de tomar inmediatas y respecto al aislamiento de punto débiles en nuestro conocimiento. Las conclusiones que siguen son comunes en la mayor parte de los informes:

- Preocupación acerca del cambio climático como amenaza global a la civilización con mayor o menor grado de certeza.
- Necesidad de controlar las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero.
- Necesidad de aumentar la capacidad de cálculo para la modelización matemática del sistema climático y mejora simultánea de la Física y de los conocimientos científicos acerca de los fenómenos no lineales.
- Necesidad de mejorar la simulación y, en su caso, la parametrización de los procesos de realimentación, como procesos clave en la cuantificación del cambio y de su ritmo real.
- Comprensión de los mecanismos que rigen la respuesta del océano como fuente y sumidero de los gases de efecto invernadero.
- Mejora de la cuantificación de flujos en el ciclo del carbono.

- Mejora de la capacidad de simulación regional, para obtener escenarios para impactos.
- Mejora de la capacidad de almacenamiento y acceso a los datos del sistema.
- Mejora de la capacidad de observación remota en las zonas con densidad baja de estaciones de la red convencional.
- Desarrollo de modelos integrados que unan a la componente científica, la social y la económica, aun a costa de una simplificación de esas componentes.
- Convergencia de las políticas sobre medio ambiente con las de cambio climático y desarrollo sostenible, y superación de la fase *retórica* en la que se ha entrado en los años más recientes.

1.9. El límite de la predecibilidad

Entre todos los problemas anteriores, probablemente el más conceptual es el que atañe al establecimiento de un *límite de la predecibilidad*. El límite de la predecibilidad, inicialmente, está referido a la habilidad de los modelos para predecir día a día la evolución de la atmósfera en sentido determinista con modelos atmosféricos.

Sin embargo, la existencia de un límite a la predicción del tiempo no implica que los modelos sean incapaces de una predicción a largo plazo de los estados medios de la atmósfera que denominamos clima. No deben confundirse los términos de predecibilidad del tiempo y predecibilidad del clima. El problema de la predecibilidad no proviene de la capacidad de los ordenadores, ni de la calidad de los métodos de resolución de las ecuaciones discretizadas, ni de la mejor o peor disponibilidad de los datos, sino de la naturaleza misma del sistema dinámico estudiado.

Sabemos que el clima está determinado por tres grupos de factores:

- Factores externos de tipo astronómico, como la radiación recibida del Sol, y los parámetros orbitales característicos de la Tierra tales como la inclinación, la eclíptica y la precesión.
- Factores externos de tipo geofísico, como son el eje de rotación o el tamaño de la Tierra.
- Por último, los factores internos de tipo geofísico, como la composición de la atmósfera o los tipos de superficie que caracterizan el albedo planetario.

Sin embargo, no sabemos si el clima queda totalmente determinado por estos factores, o si, por el contrario, para unos mismos valores de todos los factores climáticos son posibles varios tipos de clima. Estas dudas tienen sentido porque las dataciones y observaciones indirectas del pasado nos informan de la existencia de épocas, como el Pleistoceno, en las que el sistema tierra-océano-atmósfera tuvo regímenes glaciales y no glaciales, cuya estabilidad es aparente, hasta que se rompe y es sustituida por otra estabilidad diferente, pero tan aceptablemente *normal* como cualquier otra.

Para grandes escalas de tiempo parece que el sistema climático responde únicamente a las condiciones de frontera, y olvida las condiciones iniciales. Por esto se utilizan mucho los modelos de equilibrio frente a los de evolución. La validez de los modelos de equilibrio se basa en que para unas condiciones frontera, como son las establecidas por un aumento de la concentración de los gases de efecto invernadero, existe una respuesta única. Esto, no obstante, no está probado.

Los estudios de Lorenz sobre predecibilidad, referencia obligada en esta materia, llegan a la conclusión de que algunos sistemas físicos pueden presentar más de un estado de equilibrio en respuesta a unas mismas condiciones de frontera, lo que pone en duda el determinismo del clima, o al menos lo hace depender de las escalas de tiempo.

En realidad, sabemos poco de la naturaleza del sistema climático. En la teoría general de sistemas dinámicos, los sistemas cuyos estados medios dependen de las condiciones de frontera se conocen como sistemas *ergódicos*, o sistemas *transitivos*. La influencia de los estados iniciales tiende a disminuir con el tiempo. Un estado puede proceder de la evolución de diferentes condiciones iniciales. Los sistemas que pueden tener más de una solución o estado de equilibrio para unas mismas condiciones de frontera se conocen como *intransitivos* o *no ergódicos*. Un sistema se denomina *cuasi intransitivo* si tiende a dos estados de equilibrio y se comporta como si oscilase entre ellos. Sus estadísticas pueden diferir mucho si se toman en intervalos de tiempo diferentes.

En la historia de nuestro planeta tenemos situaciones que, al menos aparentemente, se comportan como cuasi intransitivas, de forma que sus trayectorias de fase, durante un tiempo finito, permane-

cen en el seno de un conjunto de situaciones, y, ocasionalmente, pasan a otro diferente. Las alternancias de periodos glaciares e interglaciares pueden verse de esta forma. Los datos actuales hacen pensar que las oscilaciones del Pleistoceno responden a fluctuaciones en los valores de los factores del clima como la insolación, y las oscilaciones de los parámetros astronómicos.

Edward Lorenz presentó en 1963 un fluido hipotético simple con un comportamiento de este tipo, cuasi intransitivo, que respondía a las ecuaciones simplificadas siguientes:

$$\begin{aligned} Dx/ dt &= a(y-x) \\ Dy/ dt &= bx-y-xz \\ Dz/dt &= xy-cz \end{aligned} \quad (1.2)$$

Ecuaciones que reflejan la situación de turbulencias producidas en un fluido en el que las capas bajas tienden a ascender por calentamiento, y las altas a descender por enfriamiento. Lorenz comprobó cómo la representación de las soluciones aproximadas, obtenidas en un espacio de las fases, producía unas figuras en forma de mariposa. Las trayectorias en el espacio de las fases eran muy distintas aunque los puntos iniciales estuviesen muy próximos. Los valores que obtenía nunca se repetían. Sin embargo, a pesar de la gran influencia de los valores iniciales, a medida que aumentaba el número de interacciones, la trayectoria adoptaba una forma cada vez más similar, casi única e independiente de las condiciones iniciales. Las trayectorias obtenidas numéricamente tendían a llenar, no totalmente, una superficie del espacio de fases mediante una línea única. El conjunto límite es un atractor caótico conocido como atractor extraño de Lorenz.

Este atractor constituye a su vez un fractal de dimensión superior a dos, pero menor que tres y por ello, es más que una superficie y menos que un volumen. Esto ilustra el hecho de que un sistema dinámico puede presentar un gran número de comportamientos diferentes y con frecuencia puede observarse que tiende a la estabilización en un conjunto de valores o estados que introducen un grado de orden dentro del aparente caos. Éste es el concepto de atractor caótico e históricamente el de Lorenz fue el primero en descubrirse.

De lo anterior puede deducirse que la predecibilidad de los movimientos atmosféricos está limitada por una o dos semanas, momento a partir del cual los movimientos típicos de la atmósfera pierden la memoria. No importa cómo sean o puedan llegar a ser nuestros modelos, ni cómo sea de fina su resolución o la complejidad de la parametrización de sus procesos. No parece posible que podamos predecir alguna vez, con un año de antelación, que se producirá un huracán en un lugar determinado.

Sin embargo, la presencia de este límite de predecibilidad para el pronóstico meteorológico, no implica que los modelos sean incapaces de predicción a largo plazo de los estados medios de la atmósfera denominados clima. El enfoque de Lorenz, que ha abordado estos problemas repetidamente, distingue entre tiempo y clima en términos de predicciones de primera clase y segunda clase. Las de primera clase son problemas de valores iniciales, es decir, el resultado depende esencialmente del estado inicial que se considere. Dados unos datos atmosféricos instantáneos y unas leyes del movimiento, y algunas ecuaciones de estado y conservación, podemos intentar predecir un tiempo futuro en un plazo corto o medio del orden de unas semanas. La aportación de Lorenz a este problema, hasta ahora, ha sido definitiva. La predicción meteorológica a largo plazo es imposible, porque la medida de las condiciones iniciales de la atmósfera, cuando se realiza una predicción, nunca será lo suficientemente precisa o densa.

Las de segunda clase, como son las climáticas, son predicciones que no dependen del estado inicial del sistema, sino sólo de las condiciones de contorno. Algunas evaluaciones como las realizadas por Nicolis y Prigogine, en las que no es posible extenderse, calculan en treinta y cinco mil años el límite de la predecibilidad climática. Ésta sería la escala de tiempo en que las condiciones externas impuestas por los factores astronómicos dominan a otras de menor escala.

Considerando el sistema climático en su conjunto, hemos de reconocer que sabemos poco de su naturaleza. Es un sistema complejo que se auto-organiza a través de procesos de intercambio de materia, momento y energía, entre sus subsistemas. Es un sistema con muchos acoplamientos no lineales, abierto a los intercambios de energía con el exterior, y cerrado para los de materia. Es, además, un sistema con muchos y complejos procesos de retroalimentación

interrelacionados, positivos y negativos. Y es posible que sea un sistema cuasi intransitivo, que puede estabilizarse en dos estados climáticos diferentes para las mismas condiciones de contorno.

La tendencia más asentada actualmente piensa en un sistema climático que se comporta a largo plazo como dependiente de sus condiciones de contorno externas, y que su comportamiento presenta una parte determinista, la señal, y otra aleatoria asociada a las fluctuaciones del tiempo atmosférico, el ruido, si adoptamos la nomenclatura propuesta por Leith (1978).

La posibilidad de que el sistema climático pueda adoptar otra solución estable, distinta a la actual, debido a los forzamientos externos e internos, no es remota, y es de hecho uno de los mayores riesgos del cambio climático posible, debido al aumento de gases de efecto invernadero. Los cambios en los forzamientos son, de hecho, un cambio permanente en las condiciones de contorno.

Para resumir este apartado, creo que son excelentes algunas de las ideas sobre la llamada perspectiva no lineal, relativa a la influencia directa del carácter no lineal del comportamiento del sistema, debidas a T. N. Palmer, director de una línea de investigación sobre estos problemas en el Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio:

- El crecimiento de gases de efecto invernadero podría manifestarse como un aumento de la presencia de ciertos patrones preferentes, y de la variabilidad interna atmosférica.
- Podría no ser posible conseguir el aislamiento de la señal de cambio climático como patrón bien separado de los patrones internos de comportamiento.
- La predicción del clima es posible, en principio, como predicción de segunda clase, es decir, no podemos predecir lo que ocurrirá en 2050 (el estado atmosférico de 2050), pero podremos decir si la probabilidad de producirse un tipo de comportamiento determinado es superior o inferior a la actual. Podemos también hablar de cómo será el clima en un entorno de años alrededor de esas fechas.
- Es necesario insistir en la modelización de la estructura no lineal del atractor asociado, para ser capaces de mejorar las predicciones. No hay perspectivas de que la teoría de fractales tenga aplicación directa para el estudio del sistema climático,

pero es posible que nos ayude a comprender mejor el papel de los atractores caóticos como el de Lorenz.

Matemáticas y ordenadores nos acercan al concepto de clima, pero no resuelven las incógnitas que hay sobre su naturaleza. Ésta puede ser observada e interpretada por la Ciencia, y simulada por la tecnología, pero no definida en su origen por ninguna de las dos. Al menos por el momento.

1.10. Ciencia, ética y sociedad

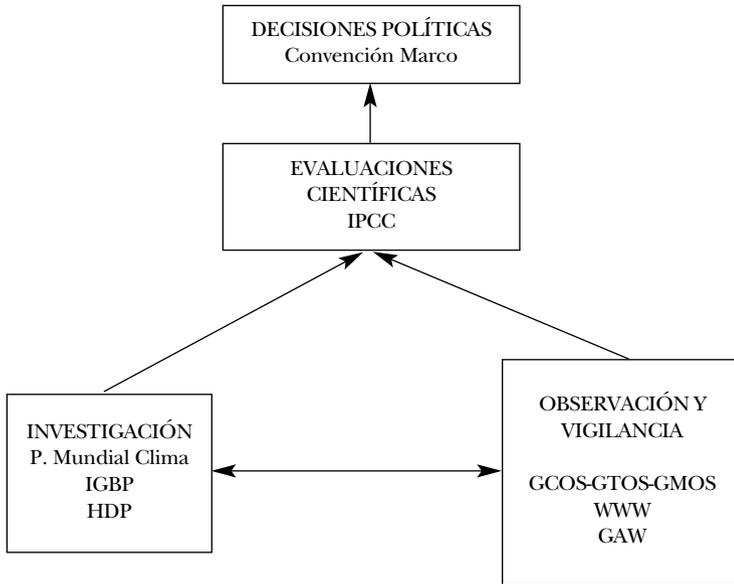
En los últimos años han surgido algunos debates que relacionan los conceptos y las prácticas de las actividades científicas en materia de clima, las actitudes éticas y las respuestas y percepciones sociales ante los riesgos provocados por nuestra historia reciente como especie. Lo que hasta ahora son debates incipientes, es probable que en los próximos años cobren fuerza y pasen a tener un protagonismo superior y, por ello, conviene dejar apuntados algunos elementos de juicio.

En el aspecto científico es importante aprender algunas lecciones del proceso de creación y de las actividades del IPCC, como experimento singular de vinculación del mundo de la Ciencia y la sociedad que lo sustenta.

Su presidente en la etapa fundacional, el científico sueco Bert Bolín, ha realizado en diversas ocasiones este ejercicio. El IPCC es un ejemplo de respuesta a las preguntas de la sociedad actual, que se realizan desde los Gobiernos desde la prensa y desde las ONG. Ha demostrado que es necesario combinar el rigor en los informes de fondo y la comprensión en los documentos sencillos. Ha mostrado la conveniencia de que el mecanismo de revisión tenga un apoyo gubernamental y un apoyo científico autónomos entre sí. Ha probado lo esencial que es dotar de continuidad las actuaciones.

En las relaciones con la sociedad, es tan importante huir de la expresión *neutral*, que no reconoce la existencia de un riesgo grave, como del término *catastrófico*. En las relaciones con los responsables políticos es necesario recordar que es un organismo intergubernamental y mantener un grado de respeto mutuo entre los

ESQUEMA 1.5: Funcionamiento de la Asesoría Científica en Naciones Unidas



Fuente: Bert Bolin, 1994.

entornos científico y político. Debe suponerse que los gobiernos representan a sus pueblos y que los científicos tienen la obligación moral, como comunidad científica, de advertir de lo que se sabe y de lo que se ignora, tanto como de las controversias si las hay.

En el IPCC no se han planteado problemas de este tipo inicialmente. Pero dado que es un organismo intergubernamental, cabe el riesgo de que el grado de dependencia política sea muy heterogéneo, de modo que en algún momento pueden surgir conflictos si no se procede con cautela. Para este fin el IPCC se ha dotado de unos términos de referencia basados en principios de transparencia y de revisión múltiple, que dotan al informe final de un alto grado de fiabilidad.

Sin embargo, en la elaboración de los resúmenes para planificadores (*policymakers*), que coinciden con lo que finalmente se da a conocer al gran público y a los medios de comunicación, han surgido críticas tanto en el informe de 1995 como en 2001.

La primera puede considerarse anecdótica si se conoce a fondo. La segunda y más reciente se ha producido con posterioridad al

Tercer Informe de Evaluación del IPCC, de 2001, a partir del informe recabado por el Senado de los Estados Unidos de América, a la Academia Nacional de Ciencias de ese país. Informe que requería respuestas a una batería de preguntas expresamente formuladas por el mandato senatorial. Su importancia, entre otras razones, nace de la experiencia y responsabilidad histórica de Estados Unidos en esa clase de informes, en la que es pionera, hasta el punto de que, con anterioridad a la existencia del IPCC, los informes de igual enjundia que podemos encontrar son, en su mayoría, estadounidenses. Con frecuencia también coinciden los nombres de sus coordinadores y redactores principales; lo que muestra, simplemente, la potencia de su comunidad científica y de su sistema de investigación.

Estas preguntas se referían a temas tanto científico-técnicos, como de estrategia de respuesta: el rango de la variabilidad natural; los ritmos de crecimiento de los GEI; las formas de reducir las emisiones; las formas de actuar respecto a los aerosoles; qué hacer si no obstante el cambio se produce y otras similares.

Algunas preguntas muy directas eran más incisivas de lo que suele ser habitual y hacían aflorar cuestiones que con frecuencia no se hacen explícitas:

¿Es la humanidad la causante de los incrementos en las concentraciones?; ¿hay diferencias sustanciales entre los informes del IPCC y sus resúmenes para políticos y planificadores?; ¿ha determinado la ciencia un nivel de *seguridad*, un umbral de emisiones que se debe traspasar?

Sus conclusiones respecto al proceso de evaluación reflejan un cierto malestar en el tratamiento que el IPCC da a las incertidumbres en los resúmenes para planificadores, porque son subestimadas y, sin que su informe contenga discrepancias científicas, entienden que el IPCC debería adoptar alguna medida que aleje las dudas sobre su independencia (NAS, 2000: 23).

El resultado de su diagnóstico científico es muy conciso y no difiere del que formula el IPCC, en relación con el camino que se ha de seguir en las prioridades de investigación. En síntesis es el siguiente: se requiere la garantía de que los sistemas de observación funcionen con continuidad y a largo plazo y se necesitan avances en la modelización de 1) los factores que determinan las concentraciones de gases y aerosoles con propiedades radiativas; 2) las realimentaciones que determinan la *sensibilidad* climática. Sugieren por otra parte

que se realice un esfuerzo especial en cuanto a eliminar incertidumbres en materia de *a)* el uso futuro de combustibles; *b)* el metano; *c)* la capacidad de absorción futura del océano; *d)* las realimentaciones que determinan la respuesta final; *e)* los detalles de los resultados regionales; *f)* las causas de la variabilidad natural observada; *g)* la identificación de elementos mal conocidos en el sistema climático, que puedan ocasionar errores en el conocimiento actual. Finalmente, su compromiso como país se postula en tres líneas, que pueden ser suscritas por cualquier programa de investigación nacional o internacional:

1. Investigación multidisciplinar en acoplamientos de la Física, la Química, la Biología y los sistemas humanos.
2. Mejora de la capacidad de integración del conocimiento, incluyendo la incertidumbre, en un sistema de apoyo a la toma de decisiones.
3. Apoyo a la capacidad de modelizar en la escala regional y en los impactos sectoriales.

Es una tensión bien resuelta, en esta ocasión, pero que ha puesto de manifiesto un conflicto latente del que pueden extraerse algunas conclusiones útiles. Una de ellas se refiere a la relación entre Ciencia y sociedad, y sus representantes, y sobre la forma en que tales relaciones pueden y deben ser abordadas. Un aspecto, a mi juicio, positivo de la consulta a la NAS, es que está formulada por el Senado y no por el Gobierno. Un segundo aspecto positivo es que la consulta se dirija a una institución científica como la NAS, dejando que sea ésta quien seleccione a sus evaluadores. Una tercera es que no sea anónima y que sus evaluadores se responsabilicen personalmente de sus opiniones.

Contrasta esta forma de actuar con la de muchos países europeos, en los que la consulta se dirige desde los Gobiernos y no desde los Parlamentos; se dirige, de hecho, a consultores y no a instituciones y, en los que, cuando se dirige a instituciones, la autoría queda desdibujada y exenta de responsabilidad.

Hasta ahora el IPCC ha resuelto los conflictos científicos buscando el consenso como forma de establecer un *estado del arte*, ha buscado que estuvieran todas las voces relevantes en su proceso de

elaboración y revisión, y ha entendido que si quienes estaban en la posición crítica no aportaban documentos que hubieran seguido las pautas de publicación habituales, o no se hubieran sometido al proceso común de evaluación por pares, no podían aspirar a que su posición se viese reflejada con igual fuerza que quienes sí lo han hecho.

CUADRO 1.5: El IPCC y su interacción con los planificadores y responsables políticos

	<p>Ámbito de la Política</p> <p>La comunidad política del cambio climático</p> <p>UN-FCCC</p> <p>(Convención Marco CC-NU)</p>	
Predominio Político	Plenario del IPCC	IPCC
Equilibrio Ciencia-Política	Plenarios de los Grupos de Trabajo	
Predominio Científico	Redactores de los Grupos de Trabajo	
	<p>Ámbito de la Ciencia</p> <p>Comunidad científica del cambio climático</p>	

Fuente: Cicero, 1995.

Probablemente, el IPCC no podrá sustraerse a algún ciclo de credibilidad-no credibilidad, pero en la actualidad posee un simbólico capital de prestigio ganado en varios años de publicaciones y funcionamiento transparente. No obstante, sería realmente perjudicial para el proceso de frenar el cambio climático, que la *autoridad* moral del IPCC se viera mermada.

No es fácil definir métodos *objetivos* en esta materia ni en otras. Pero es un buen momento para reconsiderar las conductas de hecho en cuanto a la relación Ciencia-sociedad-Gobiernos, y comprender que existen unas formas mejores que otras para llevarlas a cabo y para caminar hacia códigos éticos relativos a Ciencia-sociedad.

Un segundo elemento que convendría analizar en el marco de las peculiaridades Europa/Estados Unidos/Investigación mundial,

es el que afecta a todas las *megaciencias* que necesitan financiaciones extraordinarias, continuas y complejas para su desarrollo. Aquí, la singularidad de la Ciencia del clima estriba no tanto en la envergadura de la inversión, que es muy alta, sino sobre todo en la estricta necesidad de comparabilidad, continuidad y homogeneidad de las observaciones, superando problemas de fronteras, accesibilidad de la información y libertad de intercambio de la misma.

El tercer elemento que debemos considerar es el de las formas de transmisión a la Sociedad de la Información disponible en el mundo científico: es la base de la toma de decisiones de los gobiernos, pero también debe serlo de la toma de conciencia de cada ciudadano a partir del mejor conocimiento existente. Conocimiento que se obtiene con los medios que la sociedad pone en manos de sus científicos y técnicos y que tiene como fines el propio conocimiento en sí mismo y la mejora del bien común.

1.11. Conclusiones

El cambio climático es, como hemos visto, un riesgo real con resultados potenciales negativos para nuestro bienestar inmediato y para el de generaciones futuras. Las incertidumbres no deberían ser un freno para las políticas de adaptación o para las políticas de limitación de emisiones, porque en su mayor parte las medidas posibles son beneficiosas en sí mismas como opciones que hacen real la idea de desarrollo sostenible. La idea de precaución introducida como fundamento de las negociaciones iniciadas con la aprobación de tres convenciones con contenido ambiental en la Cumbre de Río en 1992 (Cambio Climático, Biodiversidad y Desertificación), suponen un factor de racionalización del desarrollo mundial, que ha sido ampliado en Johannesburgo y es parte de la actividad actual del IPCC: las políticas científicas, tecnológicas y socioeconómicas para afrontar riesgos globales ambientales deben integrarse, en la medida de lo posible, en las políticas correspondientes ambientales de alcance local. Este enfoque no siempre es o será aplicable, debido a la diversidad de escalas temporales y espaciales y a las velocidades de adaptación diferentes para cada sector y a la necesaria inexperiencia con que habrá que afrontar algunas decisiones, pero eso es parte del reto.

En un artículo de 1993, J. W. C. White, alababa la importancia del proyecto GRIP (Greenland Ice-core Project), porque nos proporcionaba información muy valiosa del pasado, entre hace ciento treinta y cinco mil y ciento quince mil años. Su reflexión giraba en torno a la idea de que, quizás, los humanos hemos construido un notable sistema socioeconómico durante el único periodo en que, probablemente, era posible hacerlo; cuando el clima ha sido lo suficientemente estable como para permitir el desarrollo de una agricultura que mantiene nuestra sociedad. El clima de la Tierra puede cambiar por sí solo de forma brusca y su reflexión final daba título a su breve artículo «Don't touch that dial»: «Si la Tierra tuviese un manual de operaciones, en el capítulo del clima podrá subrayar que el sistema había sido ajustado en fábrica para un confort óptimo, de forma que *se ruega no tocar el dial.*»

Bibliografía

- ALFSEN, K. H., J. S. FUGLESTVEDT y T. SKÖDVIN (1998): «Climate change: some elements from the scientific background and the scientific process», Documento de trabajo 11, *Cicero*, Oslo.
- ARRHENIUS, S. (1896): «On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground», *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine y Journal of Science*, 5.ª serie, vol. 41, págs. 237-275.
- BALAIRÓN, L. (1998): «Escenarios climáticos», *Energía y Cambio Climático*, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología, Serie Monografías, Madrid, págs. 39-56.
- (coord.) (2001): «El cambio climático (Monografía 137)», *El Campo de las Artes y las Ciencias*, Madrid, Servicios de Estudios del BBVA.
- BERGER, A. (1980): «The Milankovitch astronomical theory of palaeoclimates: a modern review», *Astronomy*, 24, págs. 102-122.
- BOLIN, B. (1994): «Science and Policy Making», *Ambio*, vol. 23, núm. 1, febrero, Ed. Royal Swedish Ac. of Sciences.
- CALLENDER, G. S. (1938): «The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature», *Quart. J. R. Met. Soc.*, 64, págs. 223-240.
- DEFOE, D. (1998): *Aventuras de Robinson Crusoe*, Madrid, Espasa Calpe.
- GATES, W. L. (1992): «AMIP: The Atmospheric Model Intercomparison Project», *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 73, págs. 1962-1970.
- GIORGI, F. y L. O. MEARNES (1991): «Approaches to the Simulation of Regional Climate Change», *A review. J. Geophys. Res.*, vol. 29, págs. 191-216.
- GRUBB, M. J. (1991): «What you don't know can hurt you: scale and timing of options in responding to climate change», en B. P. Flanery y R. Clark (eds.): *Global Climate Change*, Londres, IPIECA.
- HENDERSON-SELLERS, A. y K. MCGUFFIE (1987): «A Climate Modelling Primer», Ed. J. Wiley & Sons Ltd. (Versión en español: Barcelona, Omega, 1990).

- HENDERSON-SELLERS, A. y K. MCGUFFIE (1995): «Global climate models and 'dynamic' vegetation changes», *Global Change Biology*, 1, págs. 63-76.
- IPCC [GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO] (1990): «Primer Informe de Evaluación del Cambio Climático», Madrid, MOPT-INM, 1992.
- (1994): «Climate Change», Cambridge Press.
- (1995): «Second Assessment Report», J. T. Houghton *et al.* (eds.), Cambridge Press.
- (1997): «Informe Técnico III», J. T. Houghton *et al.* (eds.).
- (1998): «Special Report on Emission Scenarios», IPCC.
- (2001): «Third Assessment Report», J. T. Houghton *et al.* (eds.), Cambridge Press (Resúmenes PDF disponibles en: www.ipcc.ch).
- IPTS [INSTITUTO DE PROSPECTIVA TECNOLÓGICA] (1995): «Climate Change Research Policy: Updates», Astrid Zwich (ed.): E.C.D.G.XII.SRD, Joint Research Centre, IPTS-Seville, núm. 8.
- KELLOGG, W. W. (1977): «Effects of Human Activities on Global Climate», *Wmo*, Technical Note, núm. 156.
- NAS (2000): *Climate Change Science. An Analysis of some Key questions*, Washington, DC, National Academic Press.
- NICOLIS, G. e I. PRIGOGINE (1987): «La estructura de lo complejo», Madrid, Alianza Universidad, 94.
- NU [NACIONES UNIDAS] (1992): «Conference on Trade and Development», *Combating Global Warming*, Nueva York, United Nations.
- WHITE, J. W. C. (1993): «Don't touch the dial», *Nature*, vol. 364, pág. 186.
- WMO [THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION] (2000): «WMO Statement on the status of the Global Climate in 1999», Ginebra, núm. 913.

2. El hombre y la alteración del medio ambiente

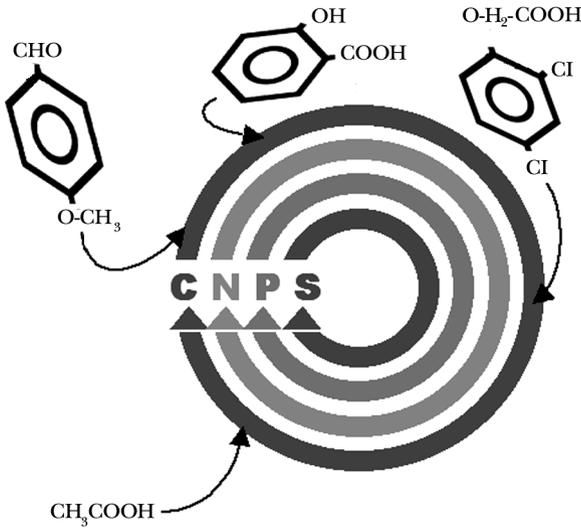
Juan Luis Ramos Martín
Estación Experimental del Zaidín
Departamento de Bioquímica
y Biología Molecular y Celular de Plantas
Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

HACE unos cuatro mil quinientos millones de años se formó el planeta Tierra, en el que hoy habitamos. Al principio fue una masa caliente, cuyo enfriamiento progresivo generó la base de la sopa que daría lugar a la vida. Se inició así la evolución química y biológica. El modo en que se sintetizaron las primeras moléculas autorreplicativas —la base de la transmisión hereditaria— y cómo se ensamblaron los distintos constituyentes hasta generar los primeros y primitivos seres vivos constituyen el objeto de un amplio debate científico. Sea cual fuere su origen, la vida surgió en un determinado momento y lugar, comenzando así el proceso evolutivo que a lo largo de los últimos tres mil millones de años ha visto aparecer y desaparecer multitud de especies y seres vivos. En un sentido antropocéntrico estricto, se considera que la evolución ha alcanzado su punto culminante con la vida inteligente que desarrolla el llamado *Homo sapiens*.

La especie humana ha evolucionado no sólo en su apariencia externa, sino también en sus hábitos, y no resulta atrevido decir que desde un principio tendió al llamado *Estado de Bienestar*. El hombre nómada comenzó a asentarse al lado de ríos, aprendió a cultivar plantas y a domesticar animales. Durante años, el hombre vivió en armonía con la naturaleza que le rodeaba. La vida basada en un flujo continuo de materia representado en los ciclos del carbono, nitrógeno, azufre, fósforo, etc., evolucionó de manera armónica con el medio ambiente (esquema 2.1). A lo largo de los años, los sucesivos inventos del hombre han permitido mejorar la sanidad, la agricultura, las comunicaciones, etc., coincidiendo el comienzo de la llamada Revolución Industrial con el final del siglo XVIII. A partir de ese momento, se han extraído de manera masiva recursos naturales,

descubierto nuevos materiales y favorecido el éxodo del campo a las grandes urbes. Al menos en apariencia, las condiciones de vida de la especie humana han mejorado.

ESQUEMA 2.1: Ciclos biogénicos. Representación de los ciclos biogénicos del C, N, P y S —que, entre otros, son el motor de la vida en la Tierra



Nota: Se indica la incorporación al ciclo del C de las diversas moléculas de origen natural o industrial.

Los ciclos biogénicos de los elementos constituyen el motor que mantiene la vida en este planeta, aunque el desarrollo vertiginoso producido en los últimos doscientos años y la presión demográfica que ejerce el hombre, están alterando el funcionamiento de estos ciclos, que son esenciales para la vida. No cabe duda de que en los siglos XIX y XX se han producido grandes avances industriales, agrícolas, ganaderos, médicos, etc. que han redundado en una salud mejor y una esperanza de vida mayor, con el consiguiente aumento de la población. A su vez, el aumento de población conlleva mayores consumos de energía, agua, alimentos y materiales, lo que ha dado lugar a la sobreexplotación de muchos recursos, incluidos los acuíferos. Como consecuencia, se ha producido la salinización de los suelos y la desertización de importantes regiones del planeta. Estas actividades del hombre también han originado grandes cantidades de residuos, que se han vertido a la biosfera dando lugar a im-

portantes problemas en la calidad del aire, de las aguas, y de los suelos. El incremento de la población y el desarrollo hacen que la demanda de los recursos finitos de agua se haga cada vez mayor.

Esta serie de problemas y sus consecuencias son palpables para los ciudadanos, y ello ha redundado en que, a lo largo del último cuarto del siglo xx, y a medida que el hombre ha sido consciente de que los recursos de la biosfera son limitados, haya aumentado la preocupación por el medio ambiente y se demande una buena gestión de los recursos para garantizar la supervivencia en el planeta. Algunas de las posibles soluciones para gestionar de forma sostenible el medio ambiente implican el desarrollo de nuevas tecnologías, las cuales han de ser respetuosas con nuestro entorno en el sentido más amplio posible de la palabra. Además, ante este panorama la sociedad demanda estrategias inmediatas que permitan prevenir la contaminación de suelos, aguas y de la atmósfera. Resulta, por tanto, necesario establecer políticas que permitan restaurar, en la medida de lo posible, el entorno natural deteriorado y favorecer los ciclos biogénicos. Más aún, es necesario disponer de una política prospectiva para evaluar a priori los impactos ambientales de los futuros desarrollos tecnológicos.

2.1. Información científico-tecnológica para política medioambiental

La mayoría de las aplicaciones de la Ciencia y la Tecnología, con relevancia política, afecta a la sociedad en su conjunto. Así, los avances científicos y técnicos, en todas las áreas del conocimiento, en los países desarrollados y en vías de desarrollo, tienen profundas implicaciones en la economía, el bienestar social y el medio ambiente. El conjunto de interacciones que se dan en el marco de la ciencia y la tecnología con la economía, en una sociedad como la actual, son muy complejas y requieren que se tenga en cuenta que los efectos de las invenciones y desarrollos tecnológicos actuales no son ni inmediatos ni directos sino que sus repercusiones aparecen a largo plazo. Por ello, es necesario un análisis anticipatorio, capaz de tener en cuenta la naturaleza compartida de la innovación y los riesgos que de ella se derivan para el medio ambiente. Dicho análisis ha de ser, además, previsor de las posibles implicaciones medioambientales.

La correcta evaluación científica y técnica de las innovaciones y desarrollos tecnológicos genera información que se ha de considerar estratégica, y que debe ser la base en que se apoyen las decisiones políticas que haya que tomar. La correcta generación de *Información Estratégica*, que asista al político en la comprensión de los aspectos relevantes y del alcance de los impactos de la Ciencia y la Tecnología, así como de su posible desarrollo futuro en el medio ambiente, resulta fundamental para la economía de un país.

La generación de *Información Estratégica Medioambiental* se debe basar tanto en la previsión y evaluación de los impactos como en prospectivas sociales de la aceptación de la tecnología, lo cual sobrepasa el mero análisis tecnológico. La juiciosa combinación de la información derivada de este ejercicio debe fundamentar la toma de decisiones responsables.

- El principio de la *previsión y evaluación tecnológica* tiene como objeto identificar lo antes posible los desarrollos tecnológicos con aplicaciones prometedoras y que en el futuro puedan incidir en el medio ambiente. Además, pretende apoyar la toma de decisiones en tecnología medioambiental a través del análisis del impacto ambiental y económico de los nuevos avances científicos y tecnológicos. Este tipo de análisis tiene como objeto establecer, a medio plazo, las mejores y más fiables opciones para la explotación de las oportunidades que surgen de las tecnologías en curso y de las nuevas tecnologías, reduciendo al máximo su posible impacto ambiental.
- El principio de la *prospectiva social* debe valorar cómo los diferentes grupos forjan los conceptos y entienden los riesgos medioambientales, así como las oportunidades asociadas a la tecnología. Se trata de un proceso interactivo que no sólo considera el desarrollo tecnológico desde el punto de vista científico y técnico sino que además debe anticipar su alcance social.

Una juiciosa combinación del análisis objetivo en cuanto a previsión y evaluación tecnológicas, junto con la prospectiva social, debería constituir el soporte de la toma de decisiones de carácter político a escala regional, nacional o supranacional. Es evidente que la

sociedad, en general, demanda de los políticos capacidad para explicar y justificar sus decisiones en todo momento. La toma de decisiones basadas en *Información Estratégica* permitirá establecer criterios de transparencia en la toma de las mismas. Sin embargo, no existe una metodología de trabajo estandarizada en cuanto a las actividades de previsión, evaluación tecnológica y prospectiva social. Por ello es frecuente encontrar situaciones complejas que revelan choques entre intereses públicos y privados.

Por todas las razones mencionadas, la información estratégica en políticas medioambientales es un instrumento clave para afrontar los desafíos que se presentan en la toma de decisiones en un contexto económico basado en el conocimiento. El concepto de *Información Estratégica* ofrece no sólo una metodología para abordar esas cuestiones, sino también un grado de flexibilidad suficiente para enlazar con otras formas de interacción, para adaptarse a nuevos modelos de gobierno sin cerrarse a cambios tecnológicos, así como a desarrollos sociales rápidos y, posiblemente, imprevistos.

2.2. Agencias de medio ambiente y planes de emergencias medioambientales

La protección del medio ambiente no es sólo necesario como vía de preservar la biodiversidad en los distintos nichos de la ecosfera, sino que conlleva, de manera inherente, la protección de la salud de todos los ciudadanos. También debe cuidar y prestar especial atención a aquéllos en su más temprana edad, la infancia, y en la Tercera Edad, sectores más vulnerables ante la exposición a la contaminación.

Mientras se implementa, de manera sistemática, la toma de decisiones políticas de carácter medioambiental basadas en los conocimientos científicos y técnicos, no se puede olvidar que en el pasado reciente el hombre ha establecido con frecuencia sistemas productivos encaminados al rendimiento económico, despreciando el medio ambiente. Por ello, no es infrecuente que aparezcan de vez en cuando emergencias medioambientales o amenazas repentinas para la salud pública o el medio ambiente derivadas de la liberación al aire, a la tierra, o a las aguas marinas y continentales de crudo, de

petróleo o sus derivados, materiales radiactivos, compuestos químicos peligrosos, etc. Estas emergencias pueden derivarse de accidentes puntuales durante el transporte de esas sustancias, incendios en fábricas y almacenes, errores en la manipulación de compuestos en estaciones de servicio, etc. En algunos casos las emergencias pueden resultar de desastres naturales y en otros de la falta de una gestión adecuada.

Para responder de manera adecuada ante una emergencia de este tipo es necesario disponer de Planes de Actuación Medioambiental eficaces e inmediatos, y ello con los recursos disponibles y contando con la experiencia de científicos, técnicos y expertos en el área requerida. Para ello, es preciso contar con un sistema preestablecido de interacciones entre el Gobierno, las Comunidades Autónomas y las Entidades locales. Además, los Planes de Actuación Medioambiental han de incluir, de manera clara, el papel y responsabilidad de cada una de las Administraciones, la localización y disponibilidad de recursos para dar la respuesta adecuada y la conducta que se ha de seguir en las respuestas, así como las acciones que se han de llevar a cabo.

Para responder rápidamente y con éxito a una emergencia derivada de escape o derrame de una sustancia peligrosa, se requiere que el personal conozca los pasos necesarios que han de darse antes, durante y después de que haya ocurrido el accidente. El personal participante debe estar entrenado adecuadamente para responder a las emergencias con las medidas adecuadas, así como minimizar los peligros y reducir costes y esfuerzos innecesarios.

Un plan de emergencias a nivel nacional no sólo debe estar preparado para dar respuesta ante tales situaciones, sino que además debe prever las estrategias adecuadas de respuesta antes de que ocurran las catástrofes. Estas respuestas han de tener en cuenta que la investigación científica es una de las vías más poderosas, no sólo para entender el medio ambiente, sino también para desarrollar y hacer avanzar los métodos más apropiados para la restauración del mismo tras sufrir distintas agresiones. En este contexto, es necesario dedicar importantes recursos humanos y tecnológicos al desarrollo de tratamientos físicos, químicos y biológicos de los contaminantes. Un análisis somero de las perspectivas de tratamientos de descontaminación no agresivos para el medio ambiente se desarrolla, en este

capítulo, bajo el epígrafe 2.5. «Soluciones biotecnológicas a la contaminación medioambiental: biodegradación».

Un plan de emergencias medioambiental podría llevar a cabo, de manera sistemática, el análisis de respuestas a catástrofes medioambientales que hayan ocurrido anteriormente en nuestro país o en cualquier otro lugar del mundo. En el reciente desastre del *Prestige* asistimos a una serie de declaraciones apresuradas que no se sustentaban en análisis científicos y tecnológicos válidos. Por ejemplo, se aseguró que el fuel del barco hundido se solidificaría, cuando hoy día sabemos que no fue así. A partir de los datos recogidos en Internet y del análisis de artículos científicos, el autor de este capítulo, junto con Reyes Ibáñez-Aldecoa, elaboraron un artículo publicado el 5 de enero de 2003 en *El País* sobre la gestión del derrame del *Exxon Valdez*, que ocurrió el 24 de marzo de 1989 como consecuencia de la colisión de dicho petrolero con rocas cercanas a la costa de Alaska. En dicho resumen se valoró el coste y el tiempo real de las labores de limpieza. No se trata aquí de enjuiciar las decisiones o actuaciones en el caso del *Prestige*, sino resaltar el hecho de que la existencia de un estudio previo de emergencias medioambientales podría haber permitido el establecimiento, desde el primer momento, de un plan de actuación más apropiado, y una evaluación de la catástrofe más acertada. Lo más relevante, en opinión de este autor, es que el *Exxon Valdez* vertió durante tres días, a un mar en calma, cerca de treinta y siete mil toneladas de crudo de Alaska (www.oilspill.state.ak.us), rico en hidrocarburos aromáticos de bajo peso molecular. Como consecuencia del vertido, se vieron afectados cerca de dos mil kilómetros de costa, aunque las zonas correspondientes a la bahía de Prince William y sus alrededores, unos trescientos kilómetros, fueron los más afectados.

Muchos de los constituyentes del crudo de Alaska eran volátiles y se evaporaron, pero aun así el grueso de las labores de limpieza se prolongó durante cuatro veranos (en otras épocas no era posible debido al frío imperante en la región), llegando a trabajar hasta 10.000 personas. Su coste se elevó a más de 2.100 millones de dólares.

En la limpieza del derrame en Alaska se utilizaron, en primer lugar, métodos mecánicos para recoger tanto crudo como fuera posible. Cuando la retirada de las grandes manchas se hubo completado, las labores se centraron en la eliminación del petróleo de las

rocas. Se comenzó utilizando agua a 140°C, pero pronto se pasó al uso de agua fría a presión, ya que el agua caliente provocaba la cocción de muchos organismos. El petróleo, mezclado con agua, se recogió mediante succión o adsorción sobre adsorbentes naturales o artificiales.

Finalmente, algunas playas se fertilizaron para favorecer el crecimiento de los microorganismos biodegradadores, y así acelerar el proceso de regeneración de la zona. Se utilizaron fertilizantes ricos en nitrógeno y fósforo para favorecer el metabolismo microbiano. Se recomendó que la aplicación de fertilizantes se realizara en zonas expuestas a la acción de las mareas, para conseguir una buena disolución y mezcla y de este modo, además, evitar el posible desarrollo incontrolado de algas, así como los daños sobre la microbiota y biota —el conjunto de los seres vivos— de la zona a consecuencia del derrame. Los estudios de los investigadores estadounidenses de la EPA demostraron que, unos dos meses después del vertido, el número de microorganismos degradadores de petróleo podía alcanzar el millón por gramo de arena, una cantidad 10.000 veces mayor que la existente en playas no contaminadas.

Un extenso y prolongado programa científico está permitiendo evaluar la recuperación de las poblaciones de aves, peces y mamíferos en Alaska, y estimar el grado de contaminación de la zona.

Está claro que las limitaciones tecnológicas en España dieron lugar a una respuesta más lenta en el caso del *Prestige* que en el del *Exxon Valdez*. El programa científico convocado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología sobre el *Prestige* no ha sido ni diligente ni adecuado por falta de definición, habiéndose perdido una importante ocasión para aumentar la inversión en programas de investigación medioambiental. Además, no se ha previsto un programa serio encaminado al seguimiento de la catástrofe desde el punto de vista tanto científico como social. Un programa nacional de investigación sobre desarrollos tecnológicos, encaminados a la prevención de catástrofes naturales y a dar las repuestas adecuadas cuando ocurran catástrofes como la del último vertido de fuel, permitiría a los científicos españoles liderar un área en la que ha de fructificar la transferencia de conocimientos a las empresas que se especialicen en tratamientos de residuos.

No deja de sorprender que los gobiernos ignoren los informes de la OCDE que a mediados de la década de los noventa, advertían

que, como resultado de los numerosos vertidos de crudo, las aguas superficiales, y en particular los ríos, estaban contaminadas de manera *crónica* por hidrocarburos, siendo ésta también la principal causa de contaminación del mar y, desde el punto de vista cuantitativo a nivel mundial, más importante que los vertidos provocados por los petroleros. Los informes de la OCDE ya alertaban de que la contaminación antropogénica de los ecosistemas marinos, incluyendo bahías, estuarios y otras zonas costeras, es un importante problema medioambiental que requiere una atención inmediata y la búsqueda de soluciones con el fin de restaurar condiciones medioambientales adecuadas para el desarrollo sostenible de estos ecosistemas. Algunas de las soluciones propuestas por la OCDE incluían aspectos de biorremediación, pero se advertía que un obstáculo importante al uso generalizado de la biorremediación es que sea aceptada por las agencias reguladoras. Además, faltan planes de emergencia que permitan implementar estas técnicas oportunamente.

2.3. Áreas que requieren especial atención en política de investigación medioambiental

Los ejemplos que se citan a continuación no pretenden ser exhaustivos, ni mucho menos marcar prioridades, sólo reflejan algunas áreas respecto a las cuales el autor considera conveniente que se lleve a cabo alguna actuación en el país. Se considera necesario un programa encaminado a diseñar y reducir las emisiones e inmisiones de ácidos. Cuando se quema petróleo o carbón, por ejemplo, para obtener energía, los distintos compuestos azufrados que contienen se transforman en óxidos de azufre. Al evaporarse, estos óxidos se disuelven en el agua de la atmósfera, y la luz UV da lugar a una serie de reacciones químicas que tienen como consecuencia la formación de ácidos. Si las chimeneas de emisión no tienen la suficiente altura, o la velocidad y temperatura de emisión no son adecuadas, la dispersión del contaminante no es efectiva y puede dar lugar a episodios de inmisión de ácidos. Esta situación se ha observado en un estudio ambiental y sanitario realizado en la ría de Huelva, cuyos resultados han dado pistas sobre la causa de falsos síntomas de *asma*

que suelen darse en la zona. Por otro lado, también se ha de tener en cuenta que si la dispersión es adecuada no se soluciona el problema en sí, ya que los ácidos pueden caer con el agua de lluvia, depositándose sobre el suelo, la vegetación, aguas continentales, el mar, etcétera. Por ello, en la mayoría de los países, la legislación actual obliga a que se eliminen los compuestos azufrados de los combustibles fósiles hasta donde sea posible antes de su combustión. Esto es muy difícil en el caso del carbón y algo más sencillo en del petróleo, con el que se utiliza un tratamiento químico que se conoce como hidrodesulfuración. Sin embargo, una fracción del azufre contenido en el petróleo, en forma de compuestos aromáticos (tiofenos, benzotiofenos, dibenzotiofenos, etc.), no se elimina fácilmente con la hidrodesulfuración.

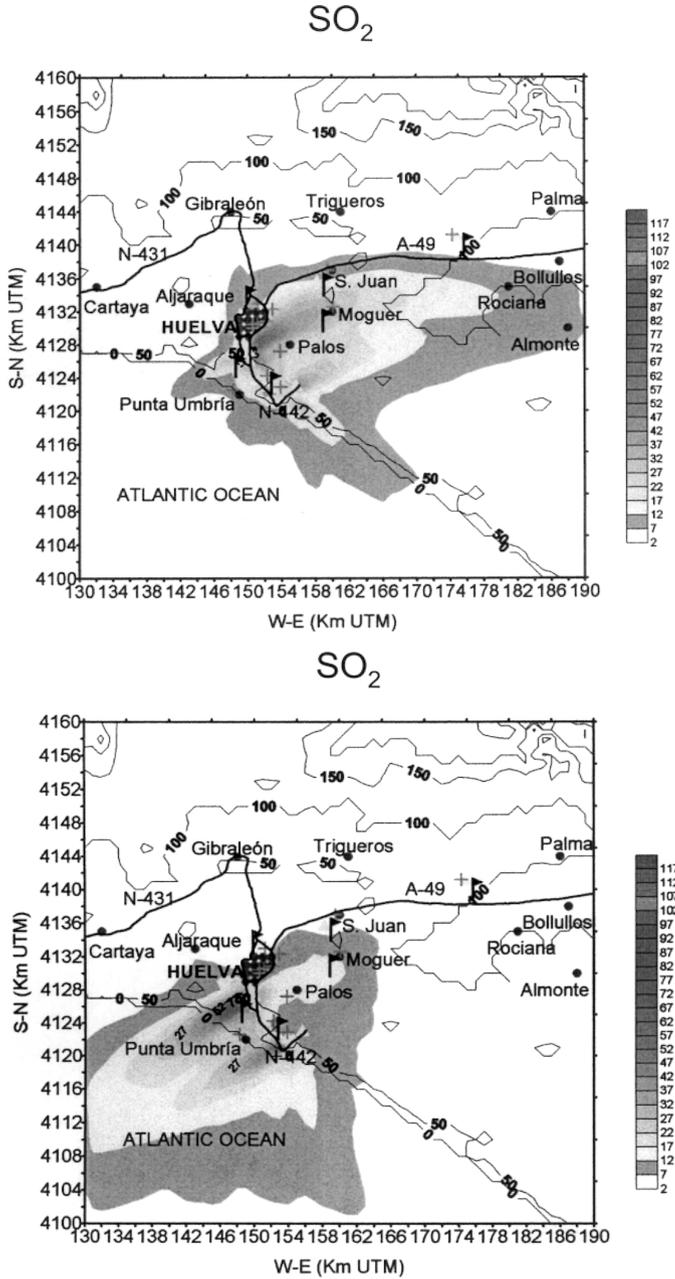
Las plantas petroquímicas, centrales térmicas, plantas de procesamiento de minerales susceptibles de generar de SO_2 y NO_x requieren no sólo de las medidas de funcionamiento antes citadas, sino que su ubicación requiere la consideración de las condiciones meteorológicas del entorno a fin de definir las zonas de impactos en función de las distintas estaciones del año. El gráfico 2.1 muestra la dispersión de SO_2 en la zona de Huelva durante los meses de invierno o verano, observándose que los impactos son distintos.

En opinión del autor, las leyes comunitarias son excesivamente permisivas en cuanto a las emisiones de estos gases y sería necesario que los países del sur de Europa, con alta incidencia lumínica, impulsaran leyes que tiendan a reducir las emisiones de SO_2 y NO_x . Las emisiones gaseosas a la atmósfera pueden reducirse mediante el uso de filtros biológicos con microorganismos capaces de eliminar estos contaminantes inorgánicos.

Como consecuencia del desarrollo terciario, muchas plantas industriales y fábricas han quedado obsoletas y han cerrado; en otros casos, las presiones sociales han dado lugar a la reubicación de algunas industrias. A menudo los *sitios abandonados* tienen problemas de aceptación para la implantación de nuevas actividades industriales, urbanas o de recreo, debido a las dificultades de contaminación real o simplemente percibida. La correcta aplicación de los principios de previsión, evaluación tecnológica y de prospectiva social ha conducido en Estados Unidos al establecimiento de un programa de recuperación de terrenos industriales contaminados.

GRÁFICO 2.1: Modelización de la dispersión de SO₂ industrial en la zona de la ría de Huelva

(Arriba, en invierno; abajo, en verano)



Fuente: III Informe sobre la situación ambiental y sanitaria de la ría de Huelva (www.csic.es).

Así, en los últimos diez años la Agencia del Medio Ambiente (EPA) en Estados Unidos ha aportado cerca de doscientos cincuenta millones de dólares para financiar proyectos de recuperación de espacios industriales, contaminados y abandonados, estableciendo un programa prospectivo para la reutilización de los terrenos. Las ayudas, en distintas modalidades, pueden alcanzar un máximo de 200.000 dólares por proyecto. Cerca de tres mil seiscientos lugares contaminados se han tratado o están tratándose con un coste total de unos cuatro mil seiscientos millones de dólares y la creación de cerca de veinte mil puestos de trabajo. Muchas de las ayudas se utilizan con el fin de crear nuevos empleos para las personas afectadas por el cierre de las empresas. Esta área de recuperación de sitios abandonados apenas encuentra eco en nuestro país, a pesar de que representaría una vía de transferencia de tecnología de Universidades y Centros Públicos de Investigación a las empresas, con la consiguiente mejora del medio ambiente y la creación de empleo, en una nueva área de desarrollo tecnológico.

Es necesario promover tanto un programa de Prevención de la Contaminación que reduzca, *en origen*, el vertido de los productos tóxicos, como el desarrollo industrial que permita eliminar contaminantes. El mencionado programa debería ser innovador en cuanto al establecimiento de ayudas a las empresas para incorporar consideraciones medioambientales en la fabricación y rediseño de productos, procesos y sistemas de gestión técnicos y medioambientales. La Biotecnología proporciona herramientas muy poderosas para identificar, clasificar y preservar el patrimonio que representa la biodiversidad. Con la ayuda de la genética, hoy día es posible obtener muchas ventajas de los organismos que viven en los ambientes extremos o de difícil acceso como, por ejemplo, aquellos que viven en las profundidades marinas. Los seres vivos, tanto los de ambientes más extremos como los que habitan en condiciones que imperan sobre la superficie del planeta, cuentan con una batería de posibilidades enzimáticas que les proporciona su diversidad metabólica. Esto, unido a la gran revolución que representan las técnicas de la ingeniería genética, permite sacar el máximo partido de los sistemas biológicos. Algunos procesos químicos contaminantes pueden ser reemplazados por esta enorme capacidad transformadora de los organismos, generándose procesos industriales mucho menos contaminantes.

En España es imperativo evitar el envenenamiento por metales pesados de la fauna y flora debido a vertidos accidentales como el caso de Aznalcóllar. Pero no debemos olvidar que algunas industrias relacionadas con la minería producen residuos ricos en mercurio, arsénico, cobre y otros metales pesados y que, junto a éstas, otras industrias (fabricación de metales, circuitos, semiconductores, procesamiento fotográfico) producen también residuos con bajos niveles metálicos. La limpieza de estos desechos se puede lograr a través de una amplia variedad de técnicas que utilizan la capacidad de acumulación activa o pasiva de los metales por microorganismos, y la separación y recuperación posterior de dichos metales. Se están empleando diversos procesos microbianos que incluyen la bioprecipitación, las transformaciones redox y la bioabsorción. En relación con los metales pesados, se ha de tener en cuenta su repercusión sobre la cadena trófica, ya que pueden concentrarse en animales y plantas. En el estudio ambiental y sanitario de la ría de Huelva se ha constatado la falta de legislación vigente en el marco de la UE, en cuanto a niveles de arsénico en productos de origen marino y otros. No obstante, se ha de indicar que los alimentos analizados cumplirían la legislación más estricta, que es la vigente en Australia y Nueva Zelanda.

Un país soleado como el nuestro ha de procurar desarrollar energías alternativas, respetuosas con el medio ambiente, aprovechando esta fuente inagotable de energía. Una de las alternativas, la generación de biocombustibles, implica además del aprovechamiento de la energía solar, la prevención de la desertificación. Se denominan biocombustibles a los biocarburantes (bioetanol y biodiésel) y al biogás. Aunque la mayor parte del etanol que se genera actualmente procede del petróleo, cada día se produce más etanol de origen biológico (bioetanol). El bioetanol tiene una importancia creciente como sustituto de las gasolinas convencionales. Se produce por fermentación anaeróbica de la materia vegetal mientras que el biodiésel es un producto de origen vegetal que se obtiene a partir de aceites vegetales (girasol, colza, maíz), frescos y usados, mediante un proceso de transesterificación. En este proceso, la glicerina unida a los ácidos grasos del aceite se sustituye por metanol, dando lugar a un producto de características muy similares al gasóleo convencional y glicerina como subpro-

ducto. La sustitución de carburantes convencionales por biocarburantes supone una disminución de las emisiones gaseosas contaminantes (óxidos de azufre y nitrógeno, partículas PM 10 y PM 2,5, etcétera). Además, por ser biodegradables, disminuye el impacto ambiental de vertidos accidentales.

Los cultivos vegetales que se usan como materia prima para la generación del bioetanol y el biodiésel pueden evitar la erosión y degradación de tierras de cultivo cuando éstas no se explotan como consecuencia de las pautas que marca la Unión Europea con sus políticas de subvención. El abandono de los cultivos tradicionales genera una situación de incertidumbre en el campo español. Los cultivos para la generación de biocombustibles probablemente no se verán sujetos a estos vaivenes de Bruselas y pueden representar una solución aparte del campo español, con el consiguiente impacto favorable sobre el medio ambiente. Además, no se debe olvidar que uno de los grandes beneficios de estos productos es su prácticamente nula contribución al aumento de gases con efecto invernadero, ya que el CO₂ generado durante su combustión ha sido fijado previamente por la planta en crecimiento.

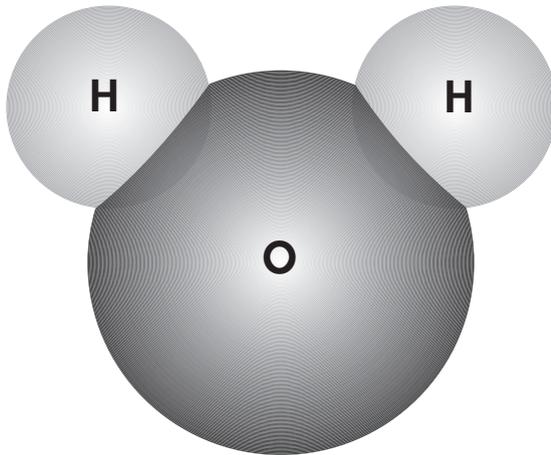
Los microorganismos anaerobios, cuando actúan sobre residuos biodegradables como los de ganadería, lodos de depuradora de aguas residuales, y corrientes residuales generadas en las industrias agroalimentaria y papelera y, en algunas ocasiones, la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU) generan un gas constituido por mezclas de metano (50-80%) y CO₂ (50-20%) que se denomina biogás. Esta fuente de energía se puede explotar localmente y tiene especial sentido económico en las explotaciones ganaderas intensivas. El uso de biogás como combustible también supone una contribución despreciable al aumento de gases con efecto invernadero.

2.4. Una molécula sencilla de enorme repercusión medioambiental: el agua

Nuestro planeta es, en lo que al agua se refiere, un sistema cerrado, ya que no existe o es mínimo el intercambio de esta molécula (gráfico 2.2) con el espacio. El agua representa una necesidad básica de la

vida y se utiliza con muchos y variados propósitos. La cantidad de agua en la Tierra es finita y se trata de una fuente muy vulnerable. Por ello, en los años venideros del siglo XXI las políticas del agua serán cruciales y no sólo a nivel nacional sino también supranacional. La cantidad total de agua renovable a partir de las precipitaciones se ha mantenido bastante estable a lo largo de los últimos doscientos años. Sin embargo, la cantidad de agua que se dedica a atender a distintas actividades del hombre se estima por la FAO que se ha incrementado unas seis veces, fundamentalmente debido a la creciente demanda de agua en agricultura e industria. Aunque la cantidad de agua dulce no ha alcanzado aún su límite de disponibilidad a escala global, la distribución desigual de lluvias ha dado lugar a una falta de agua severa en muchas partes del mundo. A su vez, el incremento en la demanda de agua también ha dado lugar a un aumento de las aguas residuales de origen urbano, industrial y agrícola, que no se tratan, o se tratan inadecuadamente.

GRÁFICO 2.2: La molécula de agua



Dada la considerable variación espacial y temporal de las precipitaciones, las perspectivas con que se consideran la calidad y cantidad del suministro de agua son distintas de unas regiones a otras. La escasez de agua y la contaminación son causa de preocupación en numerosos países desarrollados y en vías de desarrollo. La contaminación del agua y la falta de acuerdos sobre su disponibilidad, así

como el uso que se hace de la misma, están provocando tensiones tanto dentro de los países afectados directamente como fuera de sus fronteras. La escasez de agua junto con los relevantes problemas de tratamiento de las aguas residuales puede llegar a afectar la seguridad de la cadena de producción de alimentos. El agua constituye, por tanto, cada vez más una problemática a nivel internacional y se está convirtiendo en un importante factor económico, a medida que se incrementa su valor. Por todos estos motivos (las dimensiones internacional, sanitaria, económica y medioambiental), las preguntas medioambientales relacionadas con el agua son quizá las más importantes debido a sus consecuencias a largo plazo, y las más difíciles de encarar desde el punto de vista científico.

A la vista de la extrema complejidad y los distintos intereses públicos y privados en juego, es necesario un análisis sistemático de los asuntos relacionados con el agua y sus desafíos más inmediatos. Resulta, asimismo, esencial la identificación de los aspectos que requieren más de actuaciones perentorias. En estas consideraciones es necesario tener en cuenta los distintos usos y funciones del agua. En el documento *Long Term Vision for Water Life and Environment in the 21st Century* elaborado por el Consejo Mundial del Agua en el año 2000 se definieron cuatro usos del agua: para consumo humano e industrias, para riego y desarrollo rural, para la naturaleza y agua para la producción de energía.

Los gobiernos están obligados a garantizar el agua necesaria para las actividades diarias de las personas, que se cifran entre 3 y 9 l por día, dependiendo de las condiciones climáticas. Otras necesidades de agua se refieren a la higiene personal, uso hospitalario y cocina, que puede representar entre 30 y 50 l diarios por persona. Esta agua tiene que estar libre de patógenos, productos químicos tóxicos; su nivel en sales inorgánicas debe ser bajo y ha de ser inodora. Los microorganismos representan una seria amenaza para la seguridad del agua potable a nivel mundial y son un peligro creciente debido a su potencial para causar importantes brotes infecciosos, incluso en los países más industrializados. La naturaleza multinacional de las epidemias que hemos sufrido en los últimos años indican que ningún país puede solucionar esta cuestión global en solitario. Hoy día, en España se dispone de herramientas y métodos de detección fiables para responder a tales preocupaciones globales de índole

le sanitaria, pero ha de tenerse en cuenta que muchos países industrializados tienen que hacer frente a diversos problemas para garantizar un suministro adecuado de agua. Los patógenos propios del agua son un peligro importante que va en aumento. Los más preocupantes son los virus entéricos y protozoos intestinales como *Giardia* y *Cryptosporidium*. Se atribuye a las aguas contaminadas por virus entéricos y protozoos 1,6 millones de casos de enfermedades en el mundo. Dichos organismos pueden provocar graves y prolongadas diarreas, y además, algunos virus entéricos están asociados a afecciones crónicas como la diabetes y miocarditis. La rápida detección de patógenos en el agua es crucial para prevenir brotes masivos de enfermedades. Para tomar conciencia de la magnitud de los problemas que pueden estar asociados al suministro de agua de excelente calidad, basta considerar que la Oficina de Investigación y Desarrollo de la EPA en Estados Unidos sitúa el agua potable entre las seis prioridades más importantes en ese país.

El agua que se requiere para otras actividades tales como el riego, lavado de coches, limpieza de calles, etc., no necesita tener una calidad tan alta como para el consumo humano, aunque normalmente se utilizan las vías de suministro de agua potable. El volumen de agua para estas actividades puede representar entre 80 y 250 l por persona y día. Se estima que en total se necesitan alrededor de entre 50 y 250 m³ de agua per cápita al año. Se impone, por tanto, un estudio urgente tanto de la calidad como de la cantidad y uso del agua. En condiciones de carencia de esta última, es conveniente tener en cuenta que se dispone de técnicas de alta y baja tecnología que permiten producir efluentes de muy buena calidad a bajo coste operativo y de capital, favoreciendo así la reutilización del agua. Entre estas técnicas cabe destacar la microfiltración, que puede lograr la eliminación eficaz de sólidos en suspensión y productos químicos, así como agentes biológicos patógenos.

En la industria el agua se suele contemplar exclusivamente como un factor más de producción. Tanto la calidad como la cantidad del agua de uso industrial deben adecuarse a su propósito; en otras palabras, deben determinarse según su necesidad. El objetivo final debe ser el uso sostenible: un consumo y desechos cero, lo cual requiere adoptar medidas en las diferentes etapas de los procesos. Sin embargo, ése no suele ser, en general, el caso, y los efluentes industriales

representan aguas altamente contaminadas. Además, el asentamiento de polígonos industriales en áreas urbanas y la canalización de sus efluentes tóxicos al sistema de alcantarillado urbano ha dado lugar que al llegar éstos a las plantas de tratamiento de aguas urbanas, se inhiban los procesos biológicos convencionales, con el consiguiente perjuicio. Por tanto, parece lógico demandar que el tratamiento de las aguas residuales de las industrias sea responsabilidad del productor, y el único modo de conseguirlo es imponer un sistema de tasas muy exigente sobre los vertidos monitorizados. Para que las industrias adopten medidas más restrictivas en cuanto a la deposición de los residuos, y a la vez mantengan su nivel de competitividad, es necesario poner en marcha técnicas medioambientales flexibles, eficaces y rentables. La limpieza de efluentes líquidos complejos presenta las mayores dificultades. Por tanto, es preciso desarrollar nuevas tecnologías, por medio de un programa de investigación integrado y multidisciplinar, para proceder a la limpieza de los residuos y convencer a la industria de su uso.

La agricultura representa el mayor consumidor de agua de la biosfera. Yang *et al.* (2003), en un estudio reciente, han estimado que cerca del 70% del agua se dedica a la agricultura. Para entender la razón de estos gastos valga considerar que se estima que la producción de 1 k de grano de trigo requiere aproximadamente 1 m³ de agua. Si se asume este valor como media para otros cultivos, y se tiene en cuenta el valor energético y la ingesta media diaria de una persona, resultaría que un vegetariano requiere 260 m³ de agua por año.

Si a esta dieta vegetariana le añadimos carnes, resulta que, para una dieta mixta con un 20% en carnes, el consumo de agua se eleva a 1.000 m³ per cápita. Estas cifras indican que la generación de alimentos requerirá en el futuro sistemas de producción muy eficientes y desarrollos tecnológicos que maximicen el rendimiento vegetal. Probablemente sean necesarias plantas adaptadas a un suministro mínimo de agua, que nunca se podrá situar por debajo de las necesidades fisiológicas de las mismas. Existen diversos sistemas de defensa: proteínas protectoras, proteínas secuestradoras, exportación y exclusión de iones, y alteración de la pared celular. Los osmólitos son moléculas que ayudan a la célula vegetal a retener el agua; entre ellos, la trehalosa es la más conocida. Las llamadas plantas de

resurrección pueden sobrevivir tras largos periodos de sequía, gracias a la acumulación de este azúcar. Es posible que en el futuro sea frecuente encontrar plantas transgénicas que produzcan trehalosa para mejorar su resistencia a la sequía.

Convendría que se realizaran campañas para que los agricultores puedan rebajar gastos y generar menos residuos, adoptando sistemas de ciclos cerrados o integrados, con el fin de reducir el uso de energía y la emisión de contaminantes. Un exceso de nitrógeno, filtrado a los acuíferos debido a su uso en aplicaciones agrícolas, puede provocar una grave eutrofización de las aguas superficiales. Los humedales son particularmente eficaces en la eliminación de nitrógeno, pero es necesario implementar nuevas políticas agrícolas en cuanto al uso adecuado de fertilizantes y estiércoles. En la agricultura sostenida se deberían mantener los humedales existentes en el paisaje y, en áreas de agricultura intensiva, restablecer humedales drenados.

Las necesidades de agua para la conservación de la naturaleza son menos obvias y, a veces, no se considera la magnitud de su importancia. Además, los humedales y los acuíferos juegan un papel esencial en la eliminación de pequeñas cantidades de nutrientes y participan así en los ciclos globales de los elementos, que son vitales para el mantenimiento de la vida. Con frecuencia, no se tienen en cuenta las necesidades de los ecosistemas en las negociaciones de la distribución del agua por los diferentes sectores públicos y privados.

La escasez de agua en regiones próximas a otras con aguas abundantes se puede resolver mediante proyectos de ingeniería: construcción de pantanos para retener el agua, trasvases de aguas fluviales, como los existentes en nuestro país, y los que en él se plantean para suministrar agua a la parte más oriental del sur de España. Los pantanos que permiten el almacenamiento de agua y la generación de energía representan un sistema muy interesante desde el punto de vista económico, ya que amortiza mejor los costes. Sin embargo, se debería considerar la incidencia medioambiental de las grandes obras de ingeniería en los ríos de Estados Unidos, Egipto y otros países, que han dado lugar a que el flujo neto de los ríos en los estuarios sea prácticamente nulo, lo cual está incidiendo no sólo en la fauna y la flora estuarinas, sino que está provocando graves problemas de erosión.

El análisis juicioso de las necesidades de agua y su tratamiento requiere una consideración muy seria por parte de los políticos. En un futuro serán necesarias fuertes inversiones en el sector del agua. Cada día aumentan también las demandas en escuelas, hospitales, transporte, comunicaciones, etc. Sin embargo, sin la salvaguarda de los estándares de las aguas potables, higiene, agua para la agricultura y otros sistemas de producción, la salud de las personas se resentiría en gran medida. Por tanto, es necesario dedicar importantes esfuerzos a los asuntos relacionados con la calidad de las aguas y su tratamiento para la eliminación de contaminantes.

2.5. Soluciones biotecnológicas a la contaminación ambiental: biodegradación

Se estima que en el mundo se producen 400 millones de toneladas de productos químicos de síntesis, 2.700 sustancias nuevas se registran cada año, 30.000 productos se producen en cantidades superiores a una tonelada y 3.300 productos se utilizan en medicina y veterinaria. A medida que la población humana crece, se disparan las necesidades de alimentos y el uso de pesticidas. Así, de un millón de toneladas generadas en 1960 de estos productos, en el año 2000 se pasó a una producción de cerca de 3,8 millones de toneladas, estimándose que en el año 2020 la producción llegará a 6,7 millones. Así, no resulta sorprendente que pesticidas y otros productos de síntesis química alcancen la biosfera directamente por el diseño de su uso o a través de accidentes o vertidos intencionados. Muchos de los productos químicos que se vierten a la biosfera son tóxicos para el hombre, los animales, las plantas y los microorganismos, y persisten muchos años en la naturaleza, como ocurre con el DDT. En un reciente estudio del CSIC realizado en el entorno de la ría de Huelva, se detectaron residuos de esta sustancia que habían estado sobre el suelo durante, al menos, veinte años. Este producto y el DDE, resultante del metabolismo del primero por ciertos seres vivos, interfieren con la calidad de los huevos de las aves. Sustancias como arsénico, mercurio, benceno, etc., están asociadas a enfermedades especialmente cancerígenas. Otros productos tienen propiedades estrogénicas y representan un serio problema medioambiental. La acumu-

lación en la biosfera de productos recalcitrantes provoca a menudo efectos deletéreos para el medio ambiente. Por ello, es necesario recordar a los políticos la necesidad de establecer medidas adecuadas no sólo de prevención de la contaminación, como el autor ha indicado antes, sino que es preciso establecer medidas de corrección cuando el contaminante ha alcanzado la biosfera.

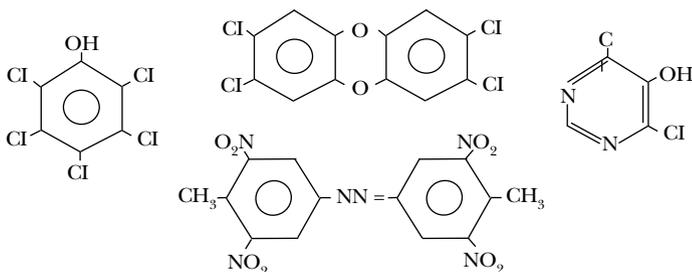
Una alternativa que ofrece la Biología, en general, y la Biotecnología en particular, es la de la biodegradación. Éste es un término genérico que se ha acuñado para referirse a la actividad metabólica que llevan a cabo todos los seres vivos (microorganismos, plantas y animales) para asimilar o modificar todo tipo de compuestos de naturaleza tanto orgánica (hidrocarburos, dioxinas, pesticidas) como inorgánica (nitratos, amoníaco, otros). Los procesos biodegradativos se pueden llevar a cabo en presencia de oxígeno (biodegradación aeróbica) o en condiciones de anoxia (biodegradación anaeróbica).

Cuando se consideran compuestos orgánicos, conviene que el tratamiento biológico dé lugar a la mineralización del compuesto, convirtiéndose en agua, CO_2 y sales, etc. A veces, los compuestos no se mineralizan, sino que se transforman en otros diferentes (biotransformación), que pueden ser incorporados por el propio organismo que los transforma o secreta al medio. La biotransformación no es necesariamente beneficiosa, ya que el producto formado puede ser más tóxico que el de partida. Por tanto, sería interesante que las Administraciones controlasen la denominación de productos biodegradables y que exigiesen que los nuevos desarrollos se basen en aquellos que son mineralizables.

La mayoría de los compuestos orgánicos naturales (aquellos que no derivan de la actividad industrial del hombre) suelen ser mineralizados rápidamente por los seres vivos. Estos compuestos han estado en la naturaleza desde hace miles de años y, por ello, muchos organismos han podido desarrollar la capacidad de utilizarlos como fuente de carbono, nitrógeno, azufre, fósforo, etc. Sin embargo, muchos compuestos sintéticos no son fácilmente biodegradables, debido no sólo a que poseen estructuras químicas distintas a las de los compuestos naturales sino a que aquellos que presentan estructuras similares a las naturales suelen contener sustituyentes raros en la naturaleza o grupos que los hacen muy estables. Estos compues-

tos se denominan xenobióticos (gráfico 2.3). Entre los xenobióticos más resistentes a su degradación se encuentran aquellos que poseen anillos aromáticos con grupos muy electronegativos (por ejemplo, halógenos, grupos nitro, etc.), los cuales confieren una extraordinaria estabilidad a los compuestos orgánicos. Esto hace que la capacidad degradativa de los seres vivos, que han evolucionado durante millones de años para degradar los compuestos naturales, actúe más lentamente sobre muchos compuestos sintéticos con estructuras químicas significativamente distintas a las naturales. Además, a veces es frecuente que la biodegradación de estos compuestos se vea limitada por su escasa biodisponibilidad. En otros casos, la imposibilidad de biodegradación radica en la toxicidad inherente de los productos hacia los seres vivos. Éste es el caso de los disolventes orgánicos, que alteran la estructura de las membranas celulares de los seres vivos y conducen inexorablemente a la muerte celular. Algunos microorganismos son excepcionales y toleran altas concentraciones de disolventes orgánicos, habiéndose aislado bacterias que no sólo toleran altas concentraciones de estos biocidas sino que, además, los mineralizan convirtiéndolos en CO_2 y agua.

GRÁFICO 2.3: Algunas moléculas xenobióticas



Nota: Los xenobióticos se acumulan sobre la biosfera constituyendo una fuente importante de contaminación ambiental.

Además del potencial natural de la biodiversidad microbiana en el tratamiento de contaminantes, no debemos olvidar que la Biotecnología ofrece la posibilidad de diseñar organismos *a medida*, con capacidades especiales para degradar los compuestos más tóxicos y recalcitrantes. El hombre ha descubierto en los últimos cincuenta años el modo en que está codificada y organizada la información ge-

nética en el ADN de los seres vivos, y cómo ésta se dispersa en la Naturaleza. Además, ha desarrollado herramientas que le permiten cortar y pegar ADN de manera que puede diseñar modificaciones genéticas útiles para eliminar los contaminantes. Con este tipo de estrategia se puede acelerar la evolución en el laboratorio para eliminar compuestos recalcitrantes tales como ciertos bifenilos policlorados, mezclas de aromáticos sustituidos con halógenos o grupos metilos, así como explosivos.

El tratamiento biológico de residuos por organismos, aislados directamente de la naturaleza o modificados genéticamente, se puede hacer tanto en reactores y filtros confinados como en condiciones de liberación de los microorganismos al medio ambiente. En el primer caso, la tecnología es útil para prevenir la entrada de contaminantes en la biosfera, y en el segundo caso, se consigue eliminar contaminantes que ya han alcanzado la biosfera. La biorremediación se puede realizar *in situ* o *ex situ*. En el primer caso se puede estimular la actividad degradativa de los organismos presentes en el lugar contaminado suministrando nutrientes (bioestimulación) —como se ha descrito antes en el caso del vertido del *Exxon Valdez*— o se pueden añadir organismos con propiedades específicas para degradar el contaminante (bioincremento). Otro proceso utilizado con éxito ha sido la introducción de microorganismos que degradan tricloroetileno y se desarrollan logrando la eliminación del contaminante en el suelo. Se han producido grandes avances en los últimos años, tanto en Estados Unidos y Japón como en Europa, en el tratamiento de aguas subterráneas y superficiales, en particular, al reducir la carga de nitratos, pesticidas y metales pesados en solución. Se ha de indicar que los procedimientos utilizados para la biorremediación son muy variados y dependen del compuesto(s) que hay que eliminar y de su ubicación física (suelo, agua).

En algunos casos, como el tratamiento de aguas contaminadas, los procesos que deben aplicarse implican combinaciones físico-químicas y biológicas, siendo ambas técnicas complementarias utilizadas secuencialmente. Los tratamientos primarios son físico-químicos y los secundarios, biológicos (biodegradativos). En otras ocasiones, ambos tipos de tratamiento son competitivos, es decir, se emplean unos u otros. En muchos casos, los tratamientos físico-químicos suelen competir con ventaja sobre los biológicos, principal-

mente debido a que los primeros son mucho más rápidos y pueden tratar residuos con elevadas concentraciones de contaminantes. Aunque los métodos biológicos tienen limitaciones, como su lentitud y la necesidad de dilución del contaminante, presentan ventajas cuando se trata de recuperar grandes extensiones de terrenos contaminados o grandes volúmenes de agua. Este caso se ha utilizado para eliminar TNT de suelos contaminados en Alemania, en un proceso denominado Terranox y, que conduce a la inmovilización del nitroaromático tóxico a los componentes de las arcillas del suelo, de manera que el suelo pierde *su toxicidad*. Este proceso artificial se ha denominado *nitrohumificación*, por querer asemejarlo al proceso natural de humificación de suelos, tan provechoso para aumentar la fertilidad de los mismos.

Los tratamientos biológicos de residuos son respetuosos con el medio ambiente y, desde el punto de vista económico, más competitivos que las alternativas físicas o químicas. No podemos olvidar que el reciclado de material en suelos y aguas está mediado por la acción de los microorganismos, y se puede decir que la biología, en general, y la microbiología, en particular, contribuyen a diario a solventar o aliviar algunos casos de contaminación. Una pregunta importante, en cuanto al destino de los contaminantes en el medio ambiente, es la de su degradación a bajas concentraciones. Se ha informado de distintos *umbrales* de concentración para algunos contaminantes bajo los cuales es imposible su degradación. Sin embargo, también se ha demostrado que otros compuestos xenobióticos pueden ser asimilados por microorganismos, incluso cuando están presentes en concentraciones de escasos nanogramos o femtogramos por litro (muy por debajo del *umbral* que permite su crecimiento). Podría suponerse que estos compuestos se utilizan de manera simultánea con materiales orgánicos disueltos no caracterizados, que bien permitan su crecimiento o proporcionen la energía necesaria para su subsistencia.

Cuando el contaminante no se puede biodegradar, como sucede con los metales pesados, la estrategia utilizada es la bioacumulación, es decir, la acumulación del contaminante en el interior del ser vivo y la posterior retirada del organismo que ha acumulado el contaminante. Cada vez está más extendido el uso de plantas, que se conoce como fitorremediación.

La fitorremediación pretende devolver a los suelos y aguas contaminadas sus condiciones originales. Esta nueva tecnología está recibiendo una gran atención debido a que es una opción más barata, fácil y respetuosa con el medio que los procedimientos convencionales de recuperación de suelos contaminados (tratamientos químicos de inertización, lavado de suelos, vitrificación, excavado y soterramiento, etc.). Su principal inconveniente es la lentitud, ya que las plantas eliminan o degradan sólo una pequeña cantidad de contaminantes durante cada ciclo de cultivo. El uso de plantas específicamente seleccionadas para acumular metales es una tecnología en auge. Puede presentar ventajas significativas para el tratamiento de la contaminación de origen indeterminado. Una de ellas es que mediante la fitorremediación se ponen en práctica técnicas agronómicas bien conocidas. Los compuestos del mercurio, tanto inorgánicos como orgánicos, son importantes contaminantes de numerosos espacios industriales en todo el mundo. Por ello se ha procedido al estudio de los macrofitos, manipulados para la expresión del gen *merA* que codifica una enzima capaz de reducir las sales de mercurio a mercurio en estado elemental, por su capacidad para eliminar las sales de mercurio de los suelos y aguas contaminados.

Un área emergente en biorremediación de suelos contaminados es la denominada rizorremediación, que intenta eliminar contaminantes aprovechando los efectos combinados de plantas y microorganismos. Se espera obtener éxitos en el tratamiento de compuestos muy recalcitrantes en suelos, tales como DDT, explosivos, lindano y bifenilos policlorados. En la actualidad, en España se desarrollan varios proyectos de investigación, subvencionados por la Unión Europea, encaminados a establecer las bases científicas de estos procesos, y explorar su bondad medioambiental.

2.6. ¿Tratados Internacionales de nulo efecto para el medio ambiente?

La Tierra recibe energía radiante del Sol; una fracción de esta radiación se absorbe y la mayor parte es reflejada al espacio. Los gases presentes en la atmósfera toman parte de la radiación solar que sería reflejada al espacio y ello permite mantener la temperatura de la

mayor parte del planeta dentro del intervalo en que se desarrolla la vida. Sin esta absorción de energía, se estima que la temperatura de la Tierra sería unos 33°C inferior a la actual. Un acuciante problema mundial es el llamado *efecto invernadero*; se acepta que éste se produce como consecuencia, fundamentalmente, del exceso de CO₂ generado por la combustión de la madera, el petróleo y el carbón, llevando a un aumento de la temperatura global del planeta. Al margen del CO₂ otros gases como el vapor de agua, el metano, los óxidos de nitrógeno, los fluoroclorocarbonados, etc., también intervienen en este fenómeno. El CO₂ contribuye al 60% de los gases con efecto invernadero, y se admite que el aumento de las emisiones se debe en un 80% a la actividad humana (origen antropogénico), mientras que el otro 20% se asigna a la deforestación y a fenómenos naturales (emisiones volcánicas, incendios). Del CO₂ emitido, alrededor del 60% es absorbido por el agua de los océanos, o utilizado y fijado por las plantas para crecer gracias a la fotosíntesis. El 40% restante es responsable del aumento de concentración de CO₂ en la atmósfera, con el consiguiente efecto invernadero. La concentración de CO₂ ha aumentado en los últimos ciento cincuenta años, pasando de 280 ppm en 1850 hasta 370 ppm en el año 2000. Este aumento, más del 30% sobre la cifra de partida, ha sido prácticamente lineal, a pesar de que el aumento de las emisiones, sobre todo en los últimos treinta años, es casi exponencial. Ello quiere decir que el planeta parece capaz de *atrapar* gran parte del exceso del CO₂ generado. En Japón y Estados Unidos se están fomentando programas biológicos encaminados a incrementar la fijación de CO₂ por plantas y algas. Un área en la que diversos grupos de Fotosíntesis en España han contribuido muy significativamente en los últimos veinticinco años.

La sensibilidad de los políticos a nivel global, sin duda bajo la presión de la sociedad, les llevó en 1992 a celebrar en Río de Janeiro la Cumbre Mundial Sobre Medio Ambiente y Desarrollo, con objeto de revisar la situación del planeta a los veinte años de la Cumbre de Estocolmo. Los resultados de esta Cumbre se tradujeron en la adopción de la Agenda 21, que es un programa de Acción para el desarrollo sostenible, en la Declaración de Río, que contiene los 27 principios que deben regir las políticas nacionales sobre medio ambiente y desarrollo, y en la firma de dos Convenios Multilaterales re-

lativos al Cambio Climático y a la Diversidad Biológica. El Convenio sobre Cambio Climático tiene como objetivo la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, a un nivel que impida que el hombre interfiera peligrosamente en el sistema climático. Este nivel de gases debería lograrse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, garantizando que la producción de alimentos no se vea amenazada y que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible. Sin embargo, el grado de cumplimiento de los objetivos es bastante limitado.

En la III Conferencia de las Partes del Convenio de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, celebrada en Kioto, diciembre de 1997, los países industrializados acordaron la obligación de reducción *legalmente vinculante* de reducción, que en promedio significa disminuir el total de emisiones en poco más de un 5% por debajo del nivel de 1990, durante el periodo 2008-2012. Para alcanzar el objetivo de reducción en 2008-2012 de una manera más efectiva en términos de costes, el Protocolo de Kioto plantea el uso de mecanismos flexibles tales como un régimen internacional de «comercio de emisiones», que permitiría a los países desarrollados que reduzcan sus emisiones más allá del objetivo convenido, vender a otros el excedente de sus créditos de emisiones. Con arreglo al *Mecanismo para un desarrollo limpio*, los países industrializados podrían financiar proyectos para prevenir las emisiones en países en desarrollo y recibir créditos por hacerlo. Esto constituiría la principal vía para que los gobiernos y las empresas privadas puedan transferir y promover tecnologías limpias. Para su entrada en vigor, es preciso la ratificación de, al menos, 55 Estados y que entre ellos se encuentren países que representen al menos el 55% de las emisiones globales a la atmósfera.

La IX Conferencia de las Partes de la Convención Marco de la ONU, que fue clausurada el 12 de diciembre de 2003 en Milán, se cerró con la incertidumbre prevista de la entrada en vigor del Protocolo de Kioto, ya que no se cuenta con una ratificación inminente por parte de Estados Unidos y Rusia. No obstante, se elaboraron una serie de acuerdos sobre la forma de cumplirlo, y con una serie de prioridades de financiación a los países en vías de desarrollo. Estos acuerdos se revisará en la próxima cumbre que ha de celebrarse en Buenos Aires. Se ha de indicar que España ha ratificado reciente-

mente el Protocolo de Kioto, y que tendrá que establecer las medidas oportunas para cumplir sus compromisos de cara al cambio climático.

Agradecimientos

El trabajo en el laboratorio del autor ha sido financiado por proyectos del Plan Nacional (BIO 2000-0964 y BIO 2003-00515). Asimismo, el autor agradece a Eduarda Molina y a Silvia Marqués la lectura crítica del artículo.

Bibliografía

- LORENZO, V. de *et al.* (2003): *La Biotecnología Medioambiental en España: Fundamentos, Situación Actual y Perspectivas*, Red del CSIC sobre Biorremediación y Fitorremediación.
- OCDE [ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y DESARROLLO ECONÓMICO] (1994): *Biotechnology for a Clean Environment. Prevention, Detection, Remediation*, París.
- (1996): *Wider Application and Diffusion of Bioremediation Technologies*, The Amsterdam 95 Workshop, París.
- (1997): *Biotechnology for Water Use and Conservation*, The Mexico 96 Workshop, CONACYT, París.
- RAMOS, J. L. y F. ROJO (1990): «Biodegradación e ingeniería genética», *Investigación y Ciencia*, 164, págs. 72-79.
- SEBIOT [SOCIEDAD ESPAÑOLA DE BIOTECNOLOGÍA] y FUNDACIÓN ANTANA (2004): *Medio Ambiente. Preguntas y Respuestas*, Biotecnología en Pocas Palabras, vol. 4, Madrid.
- SMITH, L., J. MEANS y E. BARTH (1995): *Recycling and Reuse of Industrial Wastes*, Columbus, Battelle Press.
- YANG, H. *et al.* (2003): «A water resources threshold and its implications for food security», *Environ. Sci. Technol.*, 37, págs. 3048-3054.

3. La conservación de la biodiversidad: un reto científico

Montserrat Gomendio Kindelan y Eduardo Roldán Schuth
Departamento de Ecología Evolutiva
Museo Nacional de Ciencias Naturales (CSIC)

3.1. El origen de la biodiversidad

Nuestro planeta se originó hace aproximadamente 4.600 millones de años, pero en sus comienzos no podía albergar vida, debido al calor y a la radiación. Se estima que la vida apareció hace unos 3.800 millones de años. El hecho de que el código genético sea el mismo para todos los organismos indica que todas las formas de vida actuales tienen un origen único. Los primeros fósiles hallados hasta la fecha se encontraron en estratos datados hace 3.500 millones de años, y son muy parecidos a algunos tipos de bacterias que aún viven. Durante los siguientes 1.000 millones de años la vida en la Tierra consistió sólo de procariotas, hasta que se produjo uno de los eventos más importantes en la historia de la vida: la aparición de los eucariotas, que permitió la aparición de organismos más complejos como las plantas y los animales. Los organismos multicelulares que descendieron de los primeros eucariotas aparecieron poco después, caracterizándose por poseer células con núcleo, reproducción sexual y meiosis. Dichos organismos se diversificaron a gran escala hace unos 500 millones de años.

A partir de este origen, a lo largo de la historia evolutiva se ha generado una enorme variedad de especies mediante procesos selectivos. Los procesos evolutivos de generación gradual de especies se han visto interrumpidos por episodios de extinción masiva, provocados por cambios ambientales bruscos o agentes externos (como el impacto del meteorito que se cree provocó la desaparición de los dinosaurios hace 65 millones de años). Después de estos episodios de pérdida masiva de especies, se ha iniciado de nuevo la generación de nuevas especies. Por lo tanto, una de las preguntas fundamentales es: ¿por qué se generan tantas especies?

Identificamos a las especies como la forma más útil de clasificar la diversidad, debido a que en la mayor parte de los casos son entidades que se pueden distinguir fácilmente empleando criterios morfológicos, comportamentales, fisiológicos y moleculares. El concepto biológico de especie es el de un conjunto de poblaciones en las que los individuos se pueden aparear entre sí, pero aisladas reproductivamente de otros grupos similares. Por lo tanto, las especies representan una realidad biológica: un conjunto de individuos que se reproducen entre sí, pero no con los de otras especies. Por estas mismas razones, la especie es la unidad más importante desde el punto de vista de la conservación, puesto que es una unidad natural, porque el concepto de especie se comprende de forma intuitiva, y porque cada especie representa una realidad biológica única e irremplazable. Una vez que una especie se extingue, no se puede reconstituir a partir de otras especies.

Sin embargo, el nivel al que ocurren los procesos evolutivos es el de la población. Cada especie está compuesta de numerosas poblaciones locales, que mantienen un flujo mayor o menor de individuos que migran entre ellas. En las especies que se reproducen sexualmente dentro de cada población cada individuo posee un genotipo único. La evolución ocurre porque se genera continuamente variación genética mediante mutación, y porque existen diferencias importantes entre los individuos en su éxito reproductivo a lo largo del ciclo vital que son hereditarias. Por lo tanto, los procesos de selección actúan sobre los individuos, y son de dos tipos. La selección natural es el proceso mediante el cual una proporción importante de los individuos de una población se elimina en cada generación debido a su incapacidad para sobrevivir, ya sea porque no pueden defenderse de los patógenos, de los predadores, o porque son vulnerables a condiciones ambientales adversas. La selección sexual es el proceso mediante el cual determinados individuos de una población generan un número mayor de descendientes por su habilidad para conseguir pareja, ya sea porque son portadores de caracteres atractivos, o porque compiten exitosamente con individuos del mismo sexo (generalmente competición entre machos). Estas diferencias en el éxito reproductivo de los individuos generan también diferencias importantes en la representación de su genotipo en generaciones sucesivas dentro de la población. La evolución es el cambio que se produce en

cada población debido a la diferente representación genética de los individuos que la componen de generación en generación.

El conocimiento de estos procesos en sí no explica por qué se han generado millones de especies diferentes, pues la evolución podría haber generado muchos individuos más o menos similares, capaces de aparearse entre sí. El estudio de los híbridos entre especies nos indica el camino hacia la respuesta, pues en general los descendientes de progenitores de especies diferentes son estériles o inviables. Esto demuestra que los genotipos son sistemas equilibrados y armoniosos, y que la reproducción requiere que los genotipos parentales sean compatibles para producir descendencia fértil. Por lo tanto, los mecanismos de aislamiento entre especies protegen la integridad de los genotipos equilibrados. Dichos mecanismos están relacionados con las barreras que las hembras ponen a apareamientos con machos de otra especie, que no generarían descendencia viable y, por tanto, supondrían una disminución de su éxito reproductivo.

De la misma forma que la población es el ámbito en el que ocurren los procesos evolutivos, la población es también la unidad de manejo más importante para la conservación de una especie. Ello se debe a que la continuidad de una especie depende de la persistencia de cada una de las poblaciones que la componen. Por ello, el principal objetivo de la conservación es mantener la viabilidad de las poblaciones.

A lo largo de la evolución se ha generado una variedad de especies tan enorme que la mayoría de ellas no ha sido descubierta todavía. La biodiversidad se organiza en tres niveles: ecosistemas, especies y genes que constituyen la herencia de los individuos que componen cada una de las especies. Cada especie está ligada a su comunidad de manera única, caracterizada por las diversas maneras de consumir y ser consumida, competir y cooperar con otras especies, así como por la manera en que altera el suelo, el agua y el aire. Por lo tanto, cada ecosistema está compuesto por una variedad de especies que han coevolucionado y constituyen una compleja red de relaciones que se mantiene en un delicado equilibrio. Este entramado de relaciones hace que las fluctuaciones o cambios en una especie tengan efectos considerables sobre las otras especies con las que interacciona. En algunos casos, especies concretas llegan a tener un impacto global detectable, como es el caso del fitoplancton oceánico, compuesto por bacterias, arqueos y algas, todos ellos mi-

croscópicos y que constituyen uno de los principales agentes de control del clima mundial.

Fuera de la comunidad científica poca gente es consciente de que sólo hemos empezado a explorar la vida en nuestro propio planeta. Linneo comenzó la catalogación de especies alrededor de 1758 reconociendo unas 9.000. Desde entonces hasta hoy se han descrito del orden de 1,8 millones. Al no existir una base de datos centralizada en la que contrastar la información procedente de diversas fuentes, surge el problema de los sinónimos, es decir, la misma especie puede ser denominada de forma diferente en distintos lugares, por lo que el verdadero número de especies descritas se acercaría más a los 1,5 millones. Estas especies se distribuyen de forma muy diferente entre los distintos grupos taxonómicos, siendo los más numerosos los insectos, que representan aproximadamente el 57% del total. Los grupos mejor conocidos son las aves y los mamíferos, habiendo sido identificadas unas 10.000 especies de aves y algo más de 4.000 de mamíferos. Por lo tanto, debemos aceptar que nuestras estimaciones del número de especies descritas tiene un rango de imprecisión del 10%, debido fundamentalmente al problema de los sinónimos.

El siguiente desafío consiste en desarrollar métodos de estimación para calcular cuántas especies puede haber en el planeta. Aunque se han utilizado varios tipos de argumentación, podemos resumir diciendo que los cálculos más fiables dan un rango de especies que se encuentra entre los 3 y los 30 millones, aunque otros apuntan a cifras cercanas a los 100. Por lo tanto, conocemos el número de especies descritas con un rango de error del 10%, y podemos estimar el número de especies que existen, pero con una imprecisión de un orden de magnitud.

En el caso de los organismos menos conocidos como los hongos, se han identificado unas 69.000 especies, pero se piensa que podrían existir hasta 1,6 millones. Sin embargo, nuestro desconocimiento no se reduce a los grupos peor conocidos. El número global de especies de anfibios aumentó entre 1985 y 2001 en un tercio, pasando de 4.000 especies a 5.282, y probablemente acabarán superando las 6.000. En uno de los grupos mejor estudiados, como es el caso de los mamíferos, en las dos últimas décadas se ha pasado de 4.000 a 5.000 especies, incluyendo descubrimientos tan sorprenden-

tes como el de cuatro especies de grandes mamíferos en la década de los noventa en los montes Annamitas entre Vietnam y Laos, que incluyen ungulados de gran tamaño.

3.2. La crisis de la biodiversidad

Nuestro desconocimiento sobre algo tan básico como el número de especies que habitan nuestro planeta complica los cálculos del número de especies que se extinguen en la actualidad. Uno de los enfoques más robustos se basa en calcular la tasa de extinción media en el registro fósil y compararlo con las tasas de extinción actual de los grupos mejor conocidos, es decir, aves y mamíferos. Los resultados revelan que las tasas de extinción se han acelerado unas 1.000 veces por encima de la tasa de extinción basal. Estas estimaciones justifican que se considere que en la actualidad se está experimentando una sexta extinción masiva comparable a las cinco grandes extinciones que han ocurrido a lo largo de la historia evolutiva. Sin embargo, hay dos hechos que suponen diferencias importantes respecto a las extinciones masivas previas.

El primero es que esta sexta oleada de extinciones está causada por la actividad de una sola especie: la nuestra, mientras que las anteriores se debieron a factores ambientales. La segunda diferencia es que se está dando una disrupción de los procesos evolutivos normales, debido entre otras cosas a la desaparición de tipos de hábitat que han sido los centros de generación de biodiversidad más importantes a lo largo de la evolución. En las cinco extinciones masivas previas, el periodo de recuperación ha sido de unos cinco millones de años (lo que se debe a que el proceso de especiación ha de producirse a partir de un número reducido de especies). Pero debido a que en la actual oleada de extinciones se están eliminando importantes hábitat como bosques tropicales, humedales y bancos de coral, que han sido motores de la evolución en tiempos pasados, el periodo de recuperación en este caso podría ser mucho más largo.

El hecho de que se hayan dado extinciones masivas en el pasado, y de que la desaparición de especies sea un fenómeno que sucede con determinada frecuencia a lo largo de la evolución, plantea el interrogante de hasta qué punto no deberíamos de asumir la pérdida

de especies actual como *natural* y de por qué debería de preocuparnos la tasa actual de extinción. La respuesta a la primera pregunta es que por primera vez en la historia del planeta la causa de la pérdida de especies es la actividad de otra especie concreta y, por lo tanto, se plantea la situación desconocida hasta hoy de que la continuación o el freno a dicha extinción masiva depende de las decisiones de nuestra especie. La respuesta a la segunda pregunta es que la tasa actual de extinción es muy superior a la tasa normal, por lo que se puede comparar con la preocupación o tristeza que nos produce una catástrofe que provoca la muerte de un número de personas muy superior a las tasas de mortandad habituales, aunque aceptemos que la muerte es un fenómeno *natural*.

En la comunidad científica existe consenso en la identificación de la causa de esta masiva pérdida de especies, atribuible a las consecuencias de la intensificación del uso de los recursos naturales. El nivel de deterioro alcanzado es una consecuencia del crecimiento demográfico, y de la mayor eficiencia adquirida mediante el desarrollo de la tecnología, pero no de un cambio de actitud respecto al medio. La investigación arqueológica desarrollada en los últimos años ha permitido descartar otro de los grandes mitos en el campo de la conservación: que la actitud destructiva respecto al medio ambiente ha surgido recientemente en las sociedades industrializadas. La reconstrucción del efecto causado por los primeros pobladores en zonas que habían permanecido aisladas de la influencia humana ha desvelado consecuencias devastadoras para la flora y fauna.

3.3. La influencia humana sobre el medio natural

La historia de la humanidad ha consistido en gran medida en un proceso de expansión a lo largo y ancho del planeta, comenzando con las sucesivas oleadas de migración de nuestros ancestros desde África hacia Asia y Europa, y las incursiones posteriores a Australia y América.

La llegada a Australia de los aborígenes hace 60.000 años condujo a la extinción de aves no voladoras gigantes de 100 kg de peso, lagartos monitores de 7 m de longitud, canguros de enorme tamaño y una enorme tortuga terrestre. Los aborígenes llegaron de Indonesia entre hace 53.000 y 60.000 años, y muy pronto después

(hace 40.000 años) la megafauna había desaparecido. No sobrevivió ni una sola especie de tamaño superior al de un ser humano, y se extinguieron muchos otros mamíferos, reptiles y aves incapaces de volar, de entre 1 y 50 kg de peso. Los colonos europeos llegaron mucho después y tan sólo han llevado este proceso de extinción unos pasos más allá.

En Madagascar el proceso de evolución de especies en aislamiento había conducido a la aparición de especies singulares. Así pues, antes de la llegada de pobladores humanos había tortugas con un caparazón de hasta 120 cm de ancho, media docena de aves elefante, cuyo tamaño iba desde el de un avestruz hasta la mayor que medía 3 m de altura y pesaba media tonelada. También había lemures gigantes, incluyendo una especie terrestre mayor que un gorila macho adulto. Los primeros pobladores procedían de Indonesia y la localidad arqueológica más antigua encontrada hasta la fecha data de 700 d.C., época que coincide con la desaparición simultánea de casi todas las especies de aves, mamíferos y reptiles de más de 10kg de peso. En el caso de los lemures, las especies extintas eran diurnas y varias eran cuadrúpedos terrestres. En contraste, las especies que sobrevivieron eran nocturnas o diurnas, pero de pequeño tamaño y hábitos arborícolas.

La colonización de Polinesia supuso una oleada de pérdida de especies únicas. Los primeros viajeros polinesios desembarcaron en Hawai hacia el 400 d.C., encontrando una enorme diversidad de especies únicas en todo el mundo. Los polinesios cazaron aves no voladoras hasta su extinción, así como todas las especies que eran presa fácil por su vulnerabilidad frente a los cazadores humanos. Un efecto igualmente pernicioso tuvieron las especies que introdujeron los polinesios: cerdos y ratas. Especialmente destructivo fue el cerdo de los polinesios, que contribuyó a la extinción de numerosas especies al consumir sus huevos, destruyó bosques y excavó charcas donde crían los mosquitos que transmiten malaria a las aves nativas, genéticamente desprotegidas.

En Nueva Zelanda los polinesios llegaron a finales del siglo XIII. Se calcula que los primeros colonos no llegaron al centenar, y cuando las moas desaparecieron no llegaban a las mil personas. Pero esta pequeña población humana fue capaz de extinguir a las moas, seguramente porque eran capturadas con facilidad. Ello se une a que la

tasa reproductora de estas aves era muy lenta, pues los pollos no alcanzaban la madurez reproductora hasta los cinco años de edad, lo que hizo que las poblaciones no pudiesen compensar las pérdidas causadas por las nuevas poblaciones humanas. La desaparición de las moas a mediados del siglo xiv condujo a su vez a la extinción de su predador, que era el águila de mayor tamaño del mundo. Finalmente, las ratas introducidas resultaron mortales para muchas especies de pequeños mamíferos, aves y reptiles.

Algunas de las islas colonizadas fueron posteriormente abandonadas, y la evidencia apunta a que la sobreexplotación de las especies originarias condujo a la extinción de muchas otras, haciendo inviable la permanencia de poblaciones humanas. Ello indica que en periodos tempranos de nuestra historia la sobreexplotación de recursos obligó a las poblaciones humanas a abandonar determinadas zonas geográficas. Ello podría ser un anticipo de lo que podría ocurrir en el futuro a una escala mayor.

Recientemente la población humana ha experimentado un crecimiento demográfico enorme que, debido a la utilización de los recursos naturales que conlleva, nos acerca peligrosamente al límite de lo que los recursos naturales del planeta pueden soportar. En 1800 había 1.000 millones de personas en el mundo. En 1999 se alcanzó la cifra de 6.000 millones de personas y la población humana ha continuado aumentando a una tasa anual del 1,4%, añadiendo 200.000 personas cada día. Dicha tasa de crecimiento sigue siendo exponencial pues cuanto más gente hay, más rápido es el crecimiento. Se calcula que a mediados de este siglo habrá más de 8.000 millones de personas en el mundo. Las personas nacidas en 1950 fueron las primeras que vieron cómo la población mundial se duplicaba durante su vida (desde 2.500 millones hasta más de 6.000). Para ilustrar hasta qué punto el crecimiento demográfico reciente ha supuesto un salto cualitativo respecto al tamaño de la población humana en épocas anteriores, baste decir que durante el siglo xx se incorporaron más personas al mundo que en toda la historia humana previa.

La cantidad de gente que puede soportar el planeta depende en parte del nivel de consumo. La huella ecológica (cantidad promedio de tierra productiva y de mar apropiados por cada persona para obtener alimento, agua, vivienda, energía, transporte, comercio y

absorción de residuos) es de aproximadamente 1 ha en países en vías de desarrollo, pero es de 9,6 ha en Estados Unidos. Para que todas las personas que hoy habitan en el mundo alcanzasen el nivel de consumo actual en los Estados Unidos, con la tecnología existente, harían falta otros cuatro planetas como la Tierra. A medida que los países en vías de desarrollo avanzan en lo económico y en lo social, sus habitantes mejoran progresivamente su nivel de vida. Cambios tan básicos como los que se dan en la dieta tienen consecuencias considerables, puesto que el consumo de cereales se va sustituyendo por el consumo de carne, y al ascender en la cadena trófica se necesita más energía para producir la misma cantidad de alimento. La producción actual de cereales es de unos 2.000 millones de toneladas anuales. Esto sería suficiente para alimentar a 10.000 millones de habitantes con una dieta similar a la de la India, donde comen básicamente cereales y muy poca carne, debido a las limitaciones para subir en la escalera trófica en países con poblaciones de elevada densidad. Sin embargo, la misma cantidad de cereal sólo podría alimentar a 2.500 millones de norteamericanos, que convierten gran parte de sus cereales en ganado y aves de corral, lo cual supone una pérdida considerable de calorías por cantidad de cereal cultivado. Para evitar que la población humana se enfrente a escasez de alimentos habría dos posibles soluciones: bien las poblaciones de países industrializados descienden por la cadena trófica y emplean una dieta más vegetariana, bien se aumenta el rendimiento agrícola de las tierras productivas. La capacidad de la Tierra para sostener a nuestra especie está acercándose al límite. Si todo el mundo aceptara hacerse vegetariano, la superficie actual destinada al cultivo soportaría alrededor de 10.000 millones de personas.

El paradigma de la tensión demográfica lo constituye la República Popular China, debido a su enorme tamaño poblacional. En el año 2000 su población era de 1.200 millones, un quinto de la población mundial. Debido a la elevada tasa de crecimiento de su población, a la escasez de agua, y a las limitaciones geográficas que impiden expandir de forma sustancial la superficie dedicada a cultivos, la población de China está a punto de consumir más de lo que puede producir. Las estimaciones más recientes calculan que China podrá alimentarse a sí misma hasta mediados de siglo. Se podría argumentar que dichas deficiencias se podrían suplir mediante

la compra de cereales a otros países, pero ello es impracticable debido a que las necesidades de una población de tal tamaño exceden los niveles de producción de otros países más pequeños. El crecimiento de la población impone una serie de costes considerables sobre el medio ambiente, como es el caso de la escasez y la contaminación del agua: de los 50.000 km de ríos, el 85% ya no tiene peces.

En la actualidad la mayor parte del planeta se encuentra ocupada por poblaciones humanas, y la población mundial continúa creciendo a un ritmo exponencial que conlleva un uso de los recursos naturales de tal magnitud que, por primera vez en la historia de la humanidad, amenaza la continuidad de la vida en el planeta tal y como hoy la conocemos. El lento reconocimiento de esta situación ha iniciado una transformación en la percepción del medio natural gracias a la cual la visión de un mundo inacabable y hostil, cuyo destino es ser dominado por el hombre, está dando paso a una preocupación por proteger la frágil y compleja capa de vida que recubre nuestro planeta. Ha llegado el momento en que es necesario sustituir la cultura de expansión y conquista que ha caracterizado a nuestra especie, por una cultura de mantenimiento o permanencia, hoy más conocida como uso sostenible de los recursos.

3.4. El papel de la Ciencia en la conservación

Nos encontramos pues en un momento crucial en el que se deben de tomar decisiones que afectarán profundamente a la vida en nuestro planeta y a la de las próximas generaciones. Se plantea quizás por primera vez una situación en la que una generación debe asumir que sus decisiones (o la falta de ellas) afectarán profundamente la calidad de vida de futuras generaciones. ¿Qué papel le corresponde a la comunidad científica en esta toma de decisiones? La Ciencia debe jugar un papel fundamental en varios niveles: determinar el grado de crisis de la biodiversidad y las causas que originan el declive de poblaciones; buscar las soluciones más apropiadas a cada contexto; y evaluar el nivel de éxito de las medidas implementadas para la restauración del hábitat y la recuperación de especies. Se trata de una tarea ingente debido a la magnitud del problema, y a la multitud de causas que amenazan la biodiversidad, pero el método

científico es la única herramienta de que disponemos para poder llevar a cabo esta labor.

En general el papel de la Ciencia se ha visto cuestionado por dos frentes. Por una parte, existe la percepción de que parte de los problemas medioambientales han sido provocados por los desarrollos tecnológicos que la Ciencia ha generado, lo que conduce a menudo a la conclusión de que cualquier *injerencia* por parte de la Ciencia o la Tecnología en el normal funcionamiento de los ecosistemas tiene efectos negativos. Esta interpretación ignora el hecho de que la generación de conocimiento siempre permite una mayor manipulación de nuestro entorno, pero es decisión nuestra el emplear dicho conocimiento en contra o a favor de la conservación. Por lo tanto, de la misma forma que los avances científicos han permitido desarrollos tecnológicos, algunos de los cuales han resultado nocivos para el medio ambiente, la Ciencia y la Tecnología son las únicas vías para protegerlo y restaurarlo.

Por otra parte, está muy extendida en determinados sectores la noción de que la actividad científica se centra en una etapa inicial de obtención de información, que en determinado momento debe dar paso a la verdadera conservación, entendida como la toma de decisiones de gestión sin la intervención de la Ciencia. Éste sin duda representa un caso claro de incomprensión del método científico, que esperamos poder contribuir a disipar a lo largo de este capítulo, explicando cómo un enfoque científico es necesario en todos y cada uno de los pasos que se han de tomar en las iniciativas encaminadas a la conservación.

El importante papel de la comunidad científica aportando información objetiva sobre las causas de la pérdida de biodiversidad y buscando soluciones eficientes, no debe hacernos olvidar que la conservación del mundo natural es una cuestión cargada de emotividad, valores morales, y conflictos de intereses, en la que otros sectores han de jugar también un papel fundamental. Por lo tanto, se debe trabajar para conseguir que todos los sectores participen en la toma de decisiones, que no debería ser responsabilidad única de la comunidad científica. Sí es responsabilidad de ésta explicar con claridad la utilidad del método científico en la generación de conocimiento objetivo, frente a enfoques puramente emocionales.

3.5. Diagnóstico y tratamiento

Las principales causas de la desaparición de especies son la destrucción y fragmentación del hábitat, la sobreexplotación, la introducción de especies foráneas, y la contaminación. Estos factores provocan el declive de las poblaciones y su fragmentación. Una vez que las poblaciones alcanzan tamaños reducidos y se mantienen aisladas, surgen nuevos riesgos inherentes al pequeño tamaño poblacional, como las consecuencias nefastas de la pérdida de variabilidad genética y el aumento de la consanguinidad, y la vulnerabilidad frente a procesos demográficos y ambientales estocásticos.

A lo largo de los siglos probablemente ha ido variando el peso de las causas mencionadas, de forma que en el Paleolítico probablemente la sobreexplotación mediante la caza fue la causa principal de la extinción de especies, mientras que la destrucción de hábitat era aún pequeña, y la contaminación prácticamente inexistente. Por el contrario, en la actualidad probablemente la destrucción y fragmentación del hábitat sea la fuerza más importante en términos generales. Aún hoy es importante tener en cuenta que la importancia relativa de estos factores varía de unas especies a otras, de forma que en algunos grupos, como los ungulados, la caza sigue siendo la principal causa del declive de las poblaciones, ya que son especies muy apreciadas por sus cornamentas, sus pieles y su carne.

En los casos en los que se identifica la pérdida de hábitat como el factor de mayor riesgo, a menudo se cae en el error de creer que la única medida necesaria es proteger el hábitat remanente. Sin embargo, esta actitud ignora que bajo el concepto de *hábitat* se reúne un abanico muy amplio de factores y es fundamental determinar cuál de ellos afecta a cada población. La experiencia de los últimos años nos ha enseñado que, lamentablemente, las soluciones rápidas, simples y generalizables no abundan sino que, muy al contrario, cada caso requiere de una detallada atención, pues los problemas que afectan a cada especie y las soluciones más eficaces tienden a ser muy específicas. A ello se suma el que los diversos factores que provocan el declive de poblaciones pueden actuar en distintas combinaciones, y reforzarse mutuamente, de forma que el determinar las causas que operan en cada población requiere de estudios en profundidad. Dichos estudios a menudo son difíciles de

llevar a cabo por las dificultades que supone el estudio de poblaciones donde quedan pocos animales, y donde la experimentación necesaria para evaluar las diferentes hipótesis presenta serias complicaciones. Como ejemplos en los que sólo estudios muy detallados han podido identificar las causas, basta mencionar los trabajos llevados a cabo en poblaciones de peces cíclidos de lagos africanos, que demostraron que la principal causa de la pérdida de riqueza de especies era un aumento en la turbulencia de las aguas, que impedía a las hembras detectar los vistosos coloridos de los machos de su propia especie, por los que en condiciones normales muestran una clara preferencia, lo que dificulta los procesos de selección sexual que han contribuido a la diversificación de especies.

Es importante tener en cuenta que las poblaciones remanentes de una especie amenazada pueden haber sido desplazadas de su hábitat óptimo, y estar ocupando otros donde el agente del declive ejerce una presión menor. En el caso del petrel de Bermudas, las poblaciones naturales disminuyeron drásticamente tras el asentamiento de los primeros pobladores humanos en el mencionado archipiélago. Ello se debió, por una parte, a su caza, y por otra al consumo extensivo de los huevos depositados en nidos ubicados en el suelo por parte de los cerdos que los humanos introdujeron en las islas. Poco a poco los supervivientes desplazaron sus lugares de anidamiento a otros de difícil acceso, como las paredes rocosas de los acantilados. Las poblaciones remanentes estaban pues confinadas a un hábitat subóptimo donde, debido a la presencia de ratas, se asumía que éstas eran la única causa del declive. Sin embargo, estudios observacionales desvelaron una competición intensa con otra especie por cavidades donde anidar, que suponía una mortandad de entre el 60% y el 100% de los pollos. El reconocimiento de las múltiples causas que amenazaban a esta especie permitió el desarrollo de planes de protección eficientes que incluyeron la reducción de la competición por nidos, la eliminación de las ratas que se alimentaban de los huevos y la prohibición de la caza.

Uno de los eventos de extinción en el que ha resultado más complicado identificar los factores responsables ha sido el conocido como declive de los anfibios. La desaparición de especies de anfibios a partir de los años ochenta ha ocurrido a un ritmo desconocido hasta la fecha, y de forma muy extendida por todo el mundo. La

tasa de extinción ha sido tan elevada que en algunos casos se describía una nueva especie en un lugar remoto, y cuando los investigadores visitaban la zona de nuevo poco después, no encontraban ningún ejemplar. Éste es el caso de la única rana del norte de Australia que incubaba sus huevos en el estómago, que habiendo sido descubierta en enero de 1984 en un Parque Nacional, se la dio por desaparecida en marzo del año siguiente. En Ecuador las tribus locales recubren sus dardos con el veneno de una especie de rana, cuya desaparición casi impide el descubrimiento de la epibatidina. A partir del veneno de los últimos ejemplares se aisló un compuesto incluido en dicho veneno, a partir del cual se sintetizó en el laboratorio la epibatidina, un producto que es muy efectivo en la supresión del dolor. Los sucesos de extinción de anfibios se han ido acumulando afectando a poblaciones en Australia, Europa y América, lo que desató la alarma entre la comunidad científica internacional que ha llevado a cabo a lo largo de estos años un enorme esfuerzo por identificar las causas. Uno de los misterios de dicho fenómeno es que, mientras algunas poblaciones desaparecen en zonas donde la influencia humana es apreciable, otras continúan desapareciendo en hábitat bien conservados donde no hay actividad humana como es el caso de las reservas protegidas. Las investigaciones llevadas a cabo para esclarecer este fenómeno han revelado que los anfibios son especialmente sensibles a cambios ambientales debido a que respiran a través de su húmeda piel. Ésta funciona como una almohadilla que capta con extremada facilidad venenos y patógenos, y su mal funcionamiento conduce a la muerte del animal por asfixia. Entre los factores que han conducido a la oleada de extinciones se incluyen: la contaminación atmosférica, el aumento de la radiación ultravioleta B (consecuencia del adelgazamiento de la capa de ozono), la aparición de contaminantes químicos y las infecciones por un hongo. Lo inesperado de este fenómeno y la rapidez con que se han perdido numerosas especies de anfibios podría interpretarse como una señal de alerta sobre la vulnerabilidad de un número creciente de especies a medida que las condiciones ambientales se siguen modificando.

Los casos anteriores sirven para ilustrar cuán complejas pueden ser las causas que conducen al declive de las poblaciones, y

hasta qué punto el éxito de las medidas correctoras depende de una determinación precisa del conjunto de factores que amenazan a una especie. Es más, los estudios científicos son también necesarios para evaluar el éxito de las medidas correctoras que se implementan. Un caso ilustrativo es el del rinoceronte, especie que fue empujada al borde de la extinción debido a la presión de la caza para obtener sus cuernos, muy preciados en el mercado asiático debido a su uso extensivo en la medicina tradicional china. La mayoría de los intentos para salvar al rinoceronte se centraron en evitar la caza, pero el furtivismo no se pudo eliminar debido a los enormes beneficios derivados de la venta de los cuernos: en 1998 el cuerno de rinoceronte negro africano llegó a alcanzar los 12.000 dólares el kilo en Taipei (aproximadamente el precio del oro) y 1 kg de cuerno de rinoceronte indio se vendía a 45.000 dólares. Las dificultades encontradas en evitar la caza furtiva llevaron a la conclusión de que la medida más eficaz para evitar la muerte de más individuos sería cortar los cuernos, medida que se implementó en algunas poblaciones. Sin embargo, el estudio que evaluó la eficacia de dicha medida reveló un inesperado aumento de la mortandad entre las crías, debido a que la falta de cuernos impedía a las madres defender a sus crías de las hienas. Estos resultados condujeron a una reevaluación de las medidas implementadas.

En aquellos casos en los que el declive de las poblaciones naturales no se puede detener, ya sea por la falta de conocimiento de los factores involucrados o por la imposibilidad de eliminar dichos factores, y se llega a alcanzar un número reducido de individuos, a menudo se recurre a la cría en cautividad. Dicha estrategia se ha mostrado efectiva en un número elevado de especies que incluyen casos como el cóndor, el turón de patas negras, varias especies de caracoles, el óryx de Arabia, el caballo de Przewalski, la marmota de la isla de Vancouver, y el guepardo. El éxito de los programas de cría en cautividad incluyen casos tan dramáticos como el del cernícalo de Mauricio, que había quedado reducido a una única pareja reproductora en 1974 y que en la actualidad ha dado lugar a más de doscientas, algunas de las cuales se mantienen en cautividad mientras que otras han sido reintroducidas en la naturaleza. En los casos en los que los programas de cría han encontrado dificultades,

a menudo éstas se han superado mediante estudios que han determinado las causas del fracaso y que han desvelado las posibles soluciones. Un caso muy conocido es el del guepardo, especie emblemática por la que se han llevado a cabo muchos esfuerzos para evitar su extinción. Los programas de cría en cautividad establecidos no consiguieron que las parejas tuviesen descendencia durante años, lo que supuso que muchos esfuerzos se vieses truncados debido a la aparente incompatibilidad entre las parejas reproductoras que se establecían. La solución vino de estudios comportamentales que desvelaron la importancia de la elección por parte de la hembra de su pareja. En el Centro De Wildt, en Sudáfrica, se ha conseguido el récord mundial en nacimientos, fundamentalmente porque a las hembras se les da la oportunidad de elegir a su pareja de entre varios machos.

El gran éxito de los programas de cría en cautividad se ha visto en parte empañado por dos problemas. En primer lugar, dichos programas son costosos y requieren de recursos como el espacio, que son finitos, por lo que sólo pueden servir para salvar a un número reducido de especies. El éxito de muchos de los programas de cría en cautividad desató un gran optimismo en relación con el papel que podían jugar salvando a numerosas especies de la extinción. Ello provocó la crítica de algunos sectores que alertaron de los problemas asociados a establecer programas de cría para un número elevado especies, derivados de las necesidades que generan de espacio, de la elevada financiación necesaria para llevarlos a cabo, y de las dificultades de elegir qué especies se conservan. Los críticos bautizaron con ironía la estrategia de salvar a muchas especies mediante programas de cría como *el arca de Noé*. En segundo lugar, el objetivo inicial de los programas de cría en cautividad era el de producir un número elevado de animales que luego se ubicarían en su hábitat natural. Dichas reintroducciones han tenido una tasa de éxito baja, como indica el dato de que tan sólo cinco programas de reintroducción de especies de mamíferos (que representan el 11% de todos los intentos) han conseguido poblaciones viables en libertad. El fracaso de la mayoría de los intentos de reintroducir individuos en su hábitat natural ha conducido a un replanteamiento de los objetivos de los programas de cría en cautividad, tema que abordaremos más adelante.

3.6. Amenazas intrínsecas de poblaciones de pequeño tamaño

Cuando las poblaciones de una especie alcanzan un tamaño reducido, surgen nuevos problemas que constituyen en sí mismos amenazas importantes para su viabilidad. La primera amenaza es que las poblaciones pequeñas son más vulnerables a riesgos demográficos y ambientales estocásticos. La evolución de una población de gran tamaño es más predecible que la de una población pequeña, debido a que en esta última el azar juega un papel mucho mayor. Así, en el primer caso las tasas de mortandad y de fecundidad son predecibles, pues se trata de un número elevado de sucesos cuyo resultado se ajusta a las leyes de la probabilidad, y los sucesos concretos tienen una influencia limitada. Sin embargo, en una población pequeña el resultado de un número reducido de sucesos es muy impredecible, y sucesos que ocurren al azar pueden tener un efecto considerable sobre el conjunto. Hechos como que en una población una hembra muera debido a un accidente, otra no quede preñada, y una tercera produzca sólo machos en un año determinado, no tendrían ninguna influencia significativa en la demografía de una población que contiene 100 hembras, pero conduciría a la extinción a una población que contase con tan sólo 3 hembras reproductoras.

La estocasticidad demográfica ha sido responsable de la desaparición de numerosas poblaciones: el alce de la isla de St. Matthew sufrió una drástica reducción de su población tras acabar con todo el alimento disponible, lo que dejó su población reducida a tan sólo 30 hembras y 1 macho; en teoría esta proporción de sexos podría haber conducido a una rápida recuperación, pero esto no tuvo lugar debido a la aparición de un nuevo patógeno que afectó, entre otros, al único macho de la población.

La distribución de edades y sexos dentro de una población determina en gran medida su crecimiento o disminución a lo largo de los años. Cuando se intenta determinar la viabilidad de una población, el dato importante es el tamaño efectivo de esta última, que viene dado por los individuos reproductivamente activos. Un error común en estudios de conservación ha sido el de no tener en cuenta que los sistemas de apareamiento de cada especie determinan el ta-

maño efectivo de la población, lo que afecta tremendamente a su estructura demográfica y genética. Esto indica que no todos los individuos de una población se comportan igual, por lo que la consideración de medias poblacionales conduce a menudo a conclusiones erróneas.

De la misma forma, una población de tamaño reducido es más vulnerable a factores ambientales, como una sequía, o un invierno particularmente duro. Entre los casos más notables se encuentra la desaparición de todas las poblaciones de la gran mariposa azul en el Reino Unido tras una serie de sequías, y la amenaza que supuso para el loro de Puerto Rico el huracán Hugo cuando sus poblaciones se habían reducido a cuatro parejas reproductoras, debido en parte a la falta de cavidades apropiadas para nidificar.

El segunda amenaza que acecha a las poblaciones de pequeño tamaño es la pérdida de variabilidad genética y la consanguinidad.

3.7. Pérdida de variabilidad genética y consanguinidad

La importancia de la pérdida de variabilidad genética y de la consanguinidad en la persistencia de las poblaciones de pequeño tamaño ha sido motivo de una larga controversia en el seno de la comunidad científica. Ello se debe a que las dificultades de determinar los niveles de variabilidad genética y de consanguinidad en poblaciones naturales han supuesto un obstáculo importante a la hora de evaluar su efecto en la naturaleza. Sólo mediante estudios que han integrado enfoques evolutivos, ecológicos, comportamentales, fisiológicos, y moleculares se ha ido resolviendo este debate científico de importantes repercusiones para la conservación. Por lo tanto, se trata sin duda de uno de los mejores ejemplos de la utilidad de un enfoque científico multidisciplinar para resolver problemas de conservación.

La pérdida de variabilidad genética a nivel poblacional limita la capacidad de dichas poblaciones de pervivir bajo condiciones ambientales fluctuantes, pues reduce su rango de respuestas a cambios ambientales, y limita la capacidad de la población de colonizar hábitat diferentes. Las poblaciones pequeñas y aisladas también tienen una probabilidad mayor de fijación de nuevas mutaciones deleté-

reas. El problema de la variabilidad genética tradicionalmente se ha centrado en estudios de población, con el desarrollo de modelos que trabajan con medias poblacionales, asumiendo que los individuos que la componen se comportan de forma similar. Sin embargo, puesto que la selección natural actúa sobre las diferencias entre individuos en su éxito reproductor, la adopción de un enfoque evolutivo al problema exige que se investigue la influencia de la variabilidad genética sobre esas diferencias, en lugar de ignorarlas como ruido accesorio.

Por lo tanto, recientemente ha crecido el interés por comprender cómo la variabilidad genética a nivel individual influye sobre el éxito reproductor, pues en última instancia la viabilidad de una población viene determinada por la capacidad de cada uno de los individuos que la componen de sobrevivir y de reproducirse. La variabilidad genética individual es el producto de la similitud genética entre los progenitores y, por tanto, de su relación de parentesco. Cuando una población es pequeña, aumentan los cruces entre parientes, fenómeno conocido como consanguinidad. El aumento de la consanguinidad conlleva una disminución de la reproducción y la supervivencia denominada *depresión por consanguinidad*, cuyas causas son genéticas. Los parientes cercanos tienen una mayor probabilidad de compartir el mismo alelo (que son las distintas variedades en las que puede existir un gen determinado), de forma que cuando se aparean hay una mayor probabilidad de que los descendientes tengan los mismos alelos en los diferentes loci (regiones del cromosoma que codifican una característica determinada), es decir, sean homocigotos. El aumento de la homocigosidad es perjudicial porque aumenta la probabilidad de que se expresen alelos deletéreos recesivos que en heterocigosis se hallan *encubiertos*. Dichos alelos deletéreos se han ido generando como resultado de mutaciones, y se acumulan en el genoma porque en poblaciones genéticamente saludables la mayoría de los individuos son heterocigotos, y dichos alelos deletéreos al ser recesivos no expresan sus efectos negativos, por lo que no pueden ser eliminados por selección natural. Sin embargo, cuando un individuo tiene dos versiones iguales de un alelo deletéreo recesivo dichos efectos se expresan. Otra de las consecuencias negativas de la consanguinidad es que disminuye la heterocigosidad en los loci que exhiben superioridad del heterocigoto.

Los primeros estudios que desvelaron los efectos negativos de la consanguinidad se centraron en plantas, animales domésticos y de laboratorio, así como en animales mantenidos en zoológicos, y demostraron que la consanguinidad da lugar a un marcado aumento en la mortandad juvenil. El hecho de que los apareamientos entre individuos muy cercanamente emparentados, como hermanos o primos, dé lugar a una elevada mortandad embrionaria y neonatal, que en ocasiones va acompañada de malformaciones, dio lugar a dos interpretaciones erróneas que han dificultado mucho el avance en este campo. En primer lugar, se concluyó que el principal efecto de la consanguinidad es generar *malformaciones genéticas* que son fácilmente detectables. Ello condujo a la conclusión de que si los individuos de una población son fenotípicamente *normales* y con apariencia *saludable* se puede descartar que exista depresión por consanguinidad, conclusión que ha demostrado no sólo ser equivocada sino peligrosa, pues ha llevado a negar los efectos de la consanguinidad en poblaciones afectadas, impidiendo así la adopción de medidas correctoras.

En segundo lugar, se argumentó que los efectos de la consanguinidad eran fruto artificial de las condiciones en que se mantenía a las poblaciones estudiadas en cautividad, y que era un fenómeno inexistente en poblaciones naturales. En parte, esta idea se sustentaba sobre la evidencia de numerosas adaptaciones comportamentales diseñadas para evitar la consanguinidad, tales como la dispersión de uno de los sexos (generalmente los machos) antes de alcanzar la madurez reproductiva. Durante mucho tiempo no ha sido posible contrastar esta hipótesis en la naturaleza, sencillamente porque no se podían determinar los niveles de consanguinidad al no existir información suficientemente completa sobre las genealogías, y también debido a que la promiscuidad de las hembras en muchas especies no permite asignar paternidad basándose en información observacional de cópulas.

El primer enfoque que se abordó en poblaciones naturales fue el de comparar poblaciones con diferentes niveles de variabilidad genética (resultado de su tamaño y grado de aislamiento) y relacionarlo con la capacidad reproductiva de los machos a nivel fisiológico. Los primeros estudios se centraron en carnívoros, principalmente el guepardo, y encontraron que en algunas poblaciones la calidad

seminal de los machos era muy baja. Dichos estudios postularon que la pérdida de variabilidad genética en carnívoros ha causado una disminución de la calidad del semen tal que podría provocar la infertilidad de los machos, comprometiendo así el futuro de varias especies. Estas conclusiones han sido duramente criticadas fundamentalmente porque los análisis de variabilidad genética se basaron en estudios de aloenzimas, y porque se realizaron comparaciones entre poblaciones, lo cual no permite establecer relaciones causales. Dichas críticas han sido superadas en una serie de estudios llevados a cabo por nuestro grupo de investigación en tres especies de gacelas en peligro de extinción, para las que el CSIC gestiona programas de cría en cautividad. Nuestros estudios compararon individuos de cada especie entre sí y demostraron que los machos más consanguíneos sufren una disminución drástica de la calidad del semen, debido principalmente a un aumento en la proporción de espermatozoides morfológicamente anormales y a una disminución de la motilidad, factores esenciales para la fecundación. Dado que en estas poblaciones los factores ambientales son idénticos para todos los individuos, es más que probable que haya una relación causal entre niveles de consanguinidad y calidad seminal. Resultados recientes indican que en los machos consanguíneos existen anomalías en el número de cromosomas contenido en los espermatozoides, lo que podría dar lugar a una elevada mortandad en estados muy tempranos del desarrollo. Por razones obvias, los efectos de la consanguinidad sobre la reproducción masculina y los efectos del genoma paterno sobre la mortandad embrionaria temprana no se pueden detectar en estudios observacionales de poblaciones naturales, por lo que habrían pasado desapercibidos en los estudios ecológicos. La pantera de Florida representa el ejemplo más extremo encontrado hasta la fecha de los posibles efectos de la pérdida de variabilidad genética sobre la reproducción masculina. Esta subespecie presenta menos del 85% de la variabilidad genética de otras poblaciones de puma, y los machos sufren tasas de esterilidad que están relacionadas con una elevada incidencia de espermatozoides anormales (más del 90%), una baja concentración de testosterona, y una frecuencia elevada de criptorquidia (aproximadamente en el 90% de los machos). Todo ello se traduce en una disminución drástica de las tasas de fertilidad que hace muy difícil la recuperación de esta subespecie.

La escasez de información sobre el efecto de la consanguinidad a nivel individual en poblaciones naturales ha sido recientemente superada gracias al empleo de técnicas moleculares en estudios de ecología evolutiva. Los estudios que han medido la distancia genética entre los progenitores, mediante la estimación del grado de similitud entre el ADN del padre y el de la madre, han encontrado que la consanguinidad disminuye la supervivencia de las crías, tanto en aves como en mamíferos. Parece, pues, que incluso en poblaciones donde los niveles generales de consanguinidad son bajos y la elección de pareja se hace de forma natural, el apareamiento entre individuos estrechamente emparentados ocurre y tiene consecuencias negativas.

Muy recientemente se ha iniciado el uso de microsatélites para determinar niveles de heterocigosidad a nivel individual. Los microsatélites son repeticiones en tándem de un motivo simple de ADN, con un alto grado de polimorfismo generado por una tasa relativamente elevada de mutaciones. La ventaja de los microsatélites reside en que son abundantes y en que presentan una heterocigosidad elevada en la mayoría de los genomas eucariotas. Mediante el uso de microsatélites se han desarrollado nuevos métodos que permiten estimar tanto el nivel de heterocigosidad individual, como la probabilidad de que se haya dado una mezcla entre poblaciones en el pasado. La aplicación de este enfoque a diversas poblaciones naturales ha permitido dibujar un escenario muy diferente al que se había previsto. Estudios llevados a cabo en ungulados y mamíferos marinos han demostrado que las crías consanguíneas tienen un menor peso al nacimiento y una menor probabilidad de sobrevivir hasta el destete. En el caso de los mamíferos marinos, como las focas, las crías más consanguíneas son más vulnerables frente a los predadores. En una población de ciervos de la isla de Rum (Escocia), que ha sido estudiada a lo largo de varias generaciones, se ha demostrado que las crías consanguíneas tienen un menor tamaño corporal y no han crecido lo suficiente cuando comienza el invierno, por lo que son menos capaces de resistir las bajas temperaturas y la escasez de alimento cuando la nieve cubre los pastos. Estos efectos genéticos vienen condicionados por los factores ambientales, de forma que el efecto de la consanguinidad sobre el tamaño al nacer es particularmente marcado en años en los que las temperaturas han sido bajas du-

rante los meses en los que las hembras están gestando, debido a que la escasez de comida probablemente retarda el crecimiento fetal. De la misma forma, el efecto de la consanguinidad sobre la supervivencia neonatal se hace más patente cuando las temperaturas son bajas durante los meses de lactancia, bien porque esto aumenta la probabilidad de que las crías de peso más bajo mueran por frío, bien porque las hembras producen leche de peor calidad.

Finalmente, se ha demostrado que la consanguinidad influye sobre la capacidad de los individuos de defenderse de los patógenos, a través de dos mecanismos. En primer lugar, los heterocigotos en loci relacionados con la resistencia a patógenos tienen ventajas, ya que reconocen un rango mayor de estos últimos. En vertebrados es probable que dicha diversidad genética sea particularmente importante a nivel del Complejo Mayor de Histocompatibilidad (MHC) porque sus productos génicos juegan un papel muy importante en la respuesta inmune. En humanos se ha demostrado que los heterocigotos en el MHC son más resistentes a virus mortales como el HIV-1 o la hepatitis-B, y en poblaciones naturales de ungulados se ha encontrado evidencia de una mejor resistencia a parásitos por parte de los individuos heterocigotos en el MHC.

En segundo lugar, los efectos del genoma en su conjunto también podrían determinar la vulnerabilidad frente a patógenos. En la población de ovejas Soay de la isla de Hirta (St. Kilda, Escocia), la dinámica poblacional es cíclica, de forma que a lo largo de los años va creciendo la densidad hasta que el número de individuos es tan alto que el alimento no es suficiente, lo que da lugar a una mortandad drástica durante el invierno, que es la época de mayor escasez en recursos alimenticios, tras lo cual se inicia de nuevo el crecimiento demográfico. En general se creía que durante los periodos de mortandad masiva la muerte de los individuos ocurría al azar, pero análisis detallados demostraron que los individuos con niveles más bajos de heterocigosidad tienen más parásitos gastrointestinales y, debido a ello, son los primeros en morir cuando el alimento escasea. Paradójicamente esto supone que los pocos supervivientes son individuos con una elevada heterocigosidad, lo que supone un saludable inicio de la fase de recuperación. El efecto de la consanguinidad sobre la vulnerabilidad frente a patógenos no está restringido a casos de poblaciones cíclicas con sucesos periódicos de mortandades masivas, sino

que influye de forma decisiva sobre los patrones de mortandad de muchas poblaciones. Nuestro grupo de investigación ha trabajado recientemente en poblaciones de ciervo ibérico que al encontrarse aisladas por vallas cinegéticas experimentan un aumento de la consanguinidad. Nuestros resultados han revelado que la consanguinidad afecta en gran medida a la condición física de los animales y a su capacidad de defenderse frente a patógenos de diferente tipo, lo que lógicamente supone tasas de mortandad mayores entre los individuos consanguíneos. En términos evolutivos la eliminación mediante selección natural de los individuos más consanguíneos de las poblaciones naturales representa un mecanismo de «limpieza» que mantiene bajos niveles de consanguinidad en poblaciones naturales.

Sin embargo, la elevada mortandad de los individuos consanguíneos y su baja fecundidad puede llevar a una especie amenazada al vértice de la extinción, que se resume en la siguiente secuencia:

1. El tamaño de la población disminuye.
2. La frecuencia de apareamientos entre parientes cercanos aumenta.
3. Se reduce la heterocigosidad de las crías.
4. Lo que expone los alelos recesivos deletéreos.
5. Se reduce la fecundidad y aumenta la mortandad.
6. Lo que conduce a una reducción aún mayor en el tamaño de la población que acentúa este proceso y eventualmente conduce a la extinción.

Esta espiral ha conducido a la extinción de poblaciones de mariposas con niveles elevados de consanguinidad, demostrándose así que los efectos de la consanguinidad sobre los individuos influye de forma decisiva sobre la persistencia de las poblaciones naturales. Numerosos estudios han revelado una interacción entre factores genéticos (consanguinidad) y ambientales, de forma que a menudo los efectos negativos de la consanguinidad no se hacen aparentes hasta que las condiciones ambientales empeoran, debido a la falta de alimento, o a una climatología adversa. Por lo tanto, es frecuente que sólo se detecten los efectos de la consanguinidad cuando hay una situación de estrés ambiental que súbitamente revela una vulne-

rabilidad importante de los individuos. Es importante enfatizar que los resultados de estos estudios han revelado que la consanguinidad actúa principalmente aumentando la vulnerabilidad de los individuos frente a *causas naturales* de mortandad, en contra de la idea, a menudo aceptada, de que provoca la muerte por fallos en el desarrollo de un fenotipo normal.

Las amenazas inherentes a un tamaño poblacional reducido son motivo de preocupación cada vez mayor, debido al declive de numerosas poblaciones naturales y a los procesos de fragmentación que tienen lugar en muchas zonas del planeta, que están creando un conjunto de poblaciones pequeñas y aisladas cuya viabilidad se ve amenazada. Estas amenazas limitan también el éxito de los programas de cría en cautividad, pues a menudo éstos se ponen en marcha cuando la especie está al borde de la extinción y la población fundadora cuenta forzosamente con muy pocos individuos. Una solución a dichas amenazas ha sido sugerida por estudios que han analizado el efecto de la introducción de nuevo material genético en poblaciones con niveles elevados de consanguinidad, pues han demostrado que los efectos negativos desaparecen y el proceso de pérdida de heterocigosis revierte con rapidez. Sin embargo, dicha solución no está exenta de riesgos pues la introducción de nuevos individuos en una población natural puede provocar problemas sanitarios, y de integración en la estructura social que imposibiliten la reproducción de los recién llegados. El desarrollo de nuevas biotecnologías reproductivas ofrece nuevas vías.

3.8. Biotecnologías reproductivas: un seguro de vida

Estas técnicas se han utilizado de forma extensa en la reproducción de animales domésticos y seres humanos desde hace años, pero no se han aplicado a especies en peligro de extinción hasta muy recientemente. Ello no deja de ser en cierta forma sorprendente, pues la primera transferencia de embriones se realizó con éxito en conejos a finales del siglo XIX, y técnicas como la inseminación artificial, y la conservación de semen mediante refrigeración o congelación, se emplean de rutina en la industria ganadera bovina desde hace más de cincuenta años con el objetivo de mejorar el rendimiento. Proba-

blemente este retraso se deba a la tardanza en reconocer la importancia del manejo de los recursos genéticos en el ámbito de la conservación.

De cara a la protección y recuperación de especies en peligro de extinción, la mayor utilidad de las biotecnologías reproductivas consiste, por una parte en la conservación de la diversidad genética que existe hoy día y, por otra, en facilitar el intercambio de material genético entre poblaciones, tanto en cautividad como en su hábitat natural. En el futuro es posible que nuevas tecnologías, como la clonación, puedan ayudar a salvar especies que se encuentren a punto de desaparecer.

La criopreservación de semen, óvulos y embriones, en bancos de recursos genéticos, permiten mantener la variabilidad genética de una especie indefinidamente, lo que representa un seguro de vida para muchas especies cuyo declive continúa inexorablemente. Así pues, el semen de los machos que se almacena en estos bancos se puede utilizar durante muchos años después de la muerte del animal, puesto que las primeras muestras de semen de bovinos congelado hace ya cincuenta años son aún viables y probablemente lo serán durante mucho más tiempo. Los bancos de recursos genéticos no sólo almacenan las muestras de los animales mantenidos en cautividad, sino que también pueden incorporar muestras de animales de poblaciones naturales. Es posible incluso obtener espermatozoides viables a partir de animales muertos, pudiendo recuperarse del epidídimo hasta varias horas (o unos pocos días) después de la muerte. Esta posibilidad tiene grandes ventajas a la hora de conservar material genético de especies muy amenazadas, pues si se consiguen suficientes muestras de animales que han muerto de forma natural, se hace innecesaria la captura de animales de poblaciones naturales, y se asegura la contribución del genoma del animal muerto al *pool* genético de la especie. Este último punto es fundamental cuando es frecuente que los individuos mueran antes de conseguir reproducirse, como es el caso de muchas especies de mamíferos (entre las que se incluye el lince) en las que los machos jóvenes mueren frecuentemente durante el proceso de dispersión en la etapa juvenil. El empleo de gametos masculinos de animales muertos también puede ser de gran utilidad para disponer de una buena representación de germoplasma de especies

de las que se obtienen muestras como resultado de actividad cinegética, habiéndose en este caso producido descendencia empleando espermatozoides de ciervo ibérico obtenidos hasta cuarenta horas después de la muerte del macho.

La congelación del material espermático presenta un gran número de ventajas. Entre ellas destacamos las siguientes: preservación y uso de germoplasma sin limitaciones en el tiempo y en el espacio, prevención de riesgos sanitarios al poder transportar germoplasma congelado en lugar de trasladar animales vivos, y mejor manejo del espacio, ya que permite la conservación indefinida del material genético sin necesidad de ocupar grandes espacios en los programas de cría. Además, permite el intercambio de material genético entre poblaciones que estén muy alejadas geográficamente. Existen diferencias entre especies en la composición de los lípidos y proteínas de las membranas plasmáticas de los espermatozoides y ello se traduce en diferencias en la capacidad de los espermatozoides de sobrevivir al proceso de congelación-descongelación. Por este motivo, es necesario adecuar los protocolos de congelación a cada especie mediante ensayos rigurosos en los que se han de examinar los factores que afectan a la criopreservación, tales como los componentes de la solución crioprotectora (diluyente) que se adiciona a los espermatozoides (solución tampón, azúcares, glicerol, yema de huevo), el sistema de envasado (pajuelas o pastillas), y las curvas de congelación y de descongelación.

Existen programas de investigación sobre manipulación y criopreservación de gametos en zoológicos y centros de investigación en varios países del mundo. Sin embargo, hay solo unas pocas iniciativas de desarrollo integral de bancos de germoplasma (o de recursos genéticos) asociados a programas más amplios de preservación de variabilidad genética y de uso de estos recursos genéticos como parte de un plan de conservación de especies silvestres y amenazadas. En la actualidad existe una iniciativa liderada por la Universidad de Monash (Australia) relacionada con conservación de marsupiales. En Sudáfrica, el Wildlife Biological Resource Centre desarrolla un plan de conservación de gametos de fauna silvestre, mientras que en Namibia, la Smithsonian Institution gestiona un programa de conservación de gametos de guepardos. En Italia se ha desarrollado un programa integral de reproducción asistida y conservación de re-

cursos genéticos en el muflón de Cerdeña. En España se encuentran en proceso varias iniciativas para desarrollar bancos de recursos genéticos de especies silvestres de mamíferos. El csic tiene en desarrollo un banco de recursos genéticos de tres especies de gacelas norteafricanas. Se han puesto a punto protocolos de congelación de semen para dos de estas especies (gacela dorcas y gacela dama) y se han de desarrollar investigaciones adicionales para mejorar los métodos de congelación de gacela de Cuvier, ya que la elevada consanguinidad de esta especie influye negativamente en la calidad del semen y en su criopreservación. De igual forma, la Universidad de Castilla-La Mancha lleva trabajando desde el año 1994 en la mejora de los protocolos de congelación del semen de ciervo Ibérico de cara a la implementación de un banco de semen de dicha subespecie con el fin de facilitar el intercambio de material genético entre poblaciones que se encuentran aisladas por vallados. Además, y como resultado de una iniciativa conjunta del csic y del Ministerio de Medio Ambiente, se está implementando un banco de recursos genéticos de especies silvestres prestando especial atención a mamíferos amenazados ibéricos.

El desarrollo de técnicas de inseminación artificial permite el intercambio de material genético criopreservado entre poblaciones. La inseminación artificial requiere mucho más que depositar espermatozoides en el tracto reproductor de una hembra, puesto que se necesita un conocimiento muy preciso del momento de la ovulación, y del lugar específico en el que depositar espermatozoides. Hasta la fecha se ha obtenido descendencia viva mediante el empleo de inseminación artificial con semen congelado en unas 30 especies diferentes de mamíferos, siendo 16 de éstas silvestres. En el caso del guepardo se ha puesto en marcha en Namibia un programa de conservación de gametos cuyo objetivo es obtener gametos de los machos que se capturan en zonas donde constituyen una amenaza para las poblaciones locales. Dichos gametos se utilizan para inseminar hembras de otras poblaciones. La posibilidad de inseminar hembras con semen congelado también aumenta la eficiencia de la cría en cautividad, puesto que se pueden elegir los apareamientos que minimizen los efectos de la consanguinidad sin necesidad de someter a los animales al estrés de cambios continuos de grupo social, y sin los riesgos de que incompatibilidades de tipo

comportamental impidan apareamientos aconsejables desde un punto de vista genético. Las técnicas de inseminación artificial jugaron un papel crucial en el rescate del turón de patas negras. Esta especie se consideraba extinta cuando se encontró una pequeña población en 1981. Se capturaron 18 individuos para iniciar un programa de cría en cautividad, pero surgió el obstáculo de que el 55% de los machos adultos no se reprodujeron debido a incompatibilidad sexual y a niveles elevados de agresión hacia las hembras. Esto condujo a que ciertos linajes de la población fundadora estuviesen muy poco representados, por lo que se procedió a la inseminación artificial de hembras con machos aconsejables desde el punto de vista genético. Hoy día existen varias poblaciones naturales de la especie.

Cuando el número de individuos es muy reducido, puede recurrirse a la transferencia de embriones a una especie diferente (transferencia embrionaria interespecífica). El éxito de la transferencia interespecífica depende, en gran medida, de que la elección de la combinación donante-receptora sea la acertada. Se han obtenido nacimientos en un variado número de especies de animales salvajes mediante la aplicación de esta técnica. Así, se han transferido embriones de gaur o de banteng a vacas domésticas, de bongo a eland, de muflón y ovejas de Armenia a ovejas domésticas, de cebra de Grant y de caballo de Przewalski a yeguas domésticas, de gato del desierto de la India y gato salvaje africano a gato doméstico, de cabras salvajes a domésticas, y entre distintas familias de antílopes africanos. A pesar de estos éxitos, se han observado casos de reabsorciones tempranas de los embriones heterólogos, abortos tardíos de los fetos, algunas malformaciones en fetos abortados, o problemas en las hembras receptoras durante la gestación. Una parte de estas pérdidas en la gestación puede estar relacionada con incompatibilidades inmunológicas. Por ello, un mejor conocimiento de los mecanismos básicos responsables de los fallos de la transferencia embrionaria interespecífica ayudará al desarrollo con éxito de estos programas de reproducción asistida.

La *fecundación in vitro* puede jugar un papel importante en poblaciones en las que los niveles de consanguinidad son tan elevados que limitan la fertilidad de los machos debido a la mala calidad seminal. Además permite la fecundación de gametos (conservados en

forma congelada) cuya combinación se estime más oportuna según los programas de conservación de recursos genéticos. Se ha obtenido descendencia viva a partir de embriones generados *in vitro* en felinos, primates y ungulados. Cuando sólo se dispone de pocos espermatozoides o de espermatozoides de mala calidad, se puede recurrir a la microinyección de espermatozoides. La microinyección intracitoplásmica de espermatozoides (ICSI, en su acrónimo en inglés), permite la inyección de un solo espermatozoide en el interior del óvulo. Además de permitir un aprovechamiento considerable de los escasos espermatozoides que pueden estar disponibles, tiene la ventaja adicional de que para su empleo no es necesario preincubar los espermatozoides para que experimenten los procesos de preparación para la fecundación que tienen lugar en el tracto genital femenino (*capacitación*), y que son necesarios para la fecundación *in vitro*.

Existen nuevas técnicas, aún en fase experimental, que son potencialmente de interés o utilidad en la conservación de especies amenazadas, y que se están ensayando con animales de laboratorio, o en animales domésticos. Una de ellas es la conservación y trasplante de espermatogonias, que evitaría el riesgo de que una reserva de espermatozoides congelados pueda agotarse si se usan todas las dosis de semen existentes. Si se conservan las células primitivas, espermatogonias o espermatoцитos, de la línea germinal masculina que se encuentran en el testículo (las espermatogonias son las células madre de la línea celular que dará origen a los espermatozoides), se podría contar con una fuente de espermatozoides continua. Para ello, sería necesario aislarlas del testículo y congelarlas en condiciones adecuadas. Para su empleo existirían varias posibilidades. Por una parte, las espermatogonias se podrían trasplantar al interior de los túbulos seminíferos de los testículos de animales *huéspedes* de su misma especie (aunque esto presenta dificultades si la especie está amenazada) o se podrían trasplantar a los túbulos seminíferos de los testículos de otra especie diferente. En este último caso sería necesario evaluar cuál es la especie más adecuada. Hay experiencias en roedores de laboratorio en los que ha sido posible trasplantar espermatogonias de rata o hamster a ratón y lograr producción de espermatozoides de aquéllos en el huésped. Otra posibilidad, según investigaciones recientes, es la de trasplantar trozos de

tejido testicular (sin necesidad de separar y aislar las espermatogonias) al testículo de individuos de la misma o de otra especie. Estos estudios han demostrado que es posible obtener espermatozoides a partir de un testículo transplantado y que dichos espermatozoides son capaces de fecundar y generar crías vivas.

Por último, es importante mencionar el potencial de la clonación por transferencia de núcleo. Esta técnica tiene evidentes aplicaciones en la industria ganadera, ya que permitiría la propagación de individuos genéticamente superiores o la cría de animales modificados genéticamente para producción de fármacos destinados al consumo humano. Sin embargo, su aplicación a la conservación de especies amenazadas ha sido objeto de debate debido, en parte, a que algunas de las expectativas que ha despertado son infundadas. Así pues, se ha planteado su uso para *resucitar* especies ya extinguidas como el tigre de Tasmania, el mamut, o el bucardo. En nuestra opinión, esto constituye un grave error, pues el papel de la Biotecnología en rescatar especies ya extinguidas es poco realista y cuestionable. En los primeros casos, el planteamiento es muy arriesgado porque propone utilizar ADN conservado en museos o en muestras congeladas para recuperar estas especies. Esta solución es técnicamente muy difícil, dado el mal estado de conservación del ADN y la necesidad de restaurar dicha sustancia para que sea funcional. Aun en el caso en que fuese técnicamente posible, no tendría ningún valor desde el punto de vista de la conservación, pues sería imposible reconstruir poblaciones naturales que pudiesen ser viables. En el caso del bucardo, existen células congeladas, lo que hace factible, desde el punto de vista técnico, la posibilidad de obtener clones empleando óvulos y nodrizas de una especie de cabra emparentada genéticamente. Pero, en este caso, existen células conservadas sólo de una hembra (la última superviviente) y, por tanto, el futuro que se propone es el de un rebaño de animales idénticos de un solo sexo. Ésta es precisamente la idea más extendida respecto al papel de la clonación en especies silvestres: que sólo serviría para crear poblaciones de clones idénticos. Esta interpretación es, sin embargo, errónea.

La clonación podría constituir un recurso útil para especies en peligro de extinción, cuando ni la reproducción natural ni la que se realiza mediante técnicas de reproducción asistida permitan gene-

rar nuevos individuos a una tasa suficientemente rápida como para evitar la extinción. En el caso de una especie que experimente un declive marcado de sus poblaciones, se podrían emplear muestras de los animales (vivos o muertos) para generarlos de nuevo y establecer nuevas poblaciones en zonas exentas de amenazas, o si dichas zonas no existen, para establecer un programa de cría. En aquellas especies en inminente peligro de extinción, la clonación permitiría recuperar a los individuos que mueren antes de poder reproducirse, como es el caso de los machos jóvenes de lince que, al dispersarse, mueren con frecuencia atropellados. En aquellas especies, como el oso panda, en las que se mantienen animales en cautividad, sería prudente conservar muestras de ellos, de cara a su posible clonación en el futuro, si la técnica se desarrolla, en el caso en que las poblaciones naturales continúen su declive.

Se han clonado ya varias especies de animales domésticos y de laboratorio, y se ha demostrado que es posible obtener clones de especies amenazadas mediante la utilización de la transferencia de núcleo interespecífica. Con este método se ha logrado obtener clones de gaur y de muflón de Cerdeña, además de intentos en otras especies como el oso panda y el argali. Una de las dificultades principales para poder implementar la clonación en especies silvestres es la limitación en la provisión de óvulos, por lo que debe recurrirse a la utilización de óvulos de otras especies. La compatibilidad entre las especies puede limitar considerablemente el éxito de la transferencia de núcleo.

La principal limitación al empleo de biotecnologías reproductivas para la recuperación de especies amenazadas radica en nuestro desconocimiento de la reproducción de especies silvestres. Puesto que a lo largo de la evolución las especies han divergido principalmente en los aspectos reproductivos, las diferencias entre especies en comportamiento y fisiología reproductiva son mucho mayores que en otras facetas. Por ello, la reproducción de cada una de ellas presenta muchas características específicas, que limitan la aplicación de conocimientos procedentes de especies cercanas filogenéticamente. Los estudios llevados a cabo hasta la fecha han demostrado hasta qué punto las técnicas de reproducción asistida y los protocolos de congelación varían de una especie a otra. Dicha variabilidad entre especies dificulta a veces los primeros pasos, precisamente cuando la situación de una especie se considera límite.

Estos problemas, junto con el bajo éxito de las reintroducciones, han obligado a reevaluar los objetivos de los programas de cría en cautividad. En la actualidad dichos programas se contemplan como una estrategia complementaria, en lugar de alternativa, a la protección de las poblaciones naturales. En lugar de proponer la captura de todos los animales que quedan en libertad, su reproducción masiva en cautividad, y su posterior reintroducción al hábitat natural cuando las condiciones que han conducido a su declive desaparecen, el objetivo actual de los programas de cría en cautividad es el de contar sólo con algunos de los individuos de la especie, con el fin de mejorar el conocimiento de su reproducción lo que permite desarrollar técnicas de reproducción asistida. Una vez se han puesto a punto dichas técnicas se procede a una interacción continua entre las poblaciones naturales y las mantenidas en cautividad, que permitan evitar los efectos de la consanguinidad en todas las poblaciones, y preservar el máximo de diversidad genética.

Las biotecnologías reproductivas son útiles, no sólo para la gestión de los programas de cría en cautividad, sino de forma cada vez más importante para el manejo de reservas naturales y parques nacionales que por su tamaño albergan poblaciones que requieren un manejo genético para evitar los efectos de la pérdida de variabilidad genética y la consanguinidad. A medida que el tamaño de las poblaciones naturales se va reduciendo y el flujo génico entre poblaciones desaparece, estas medidas se hacen más necesarias.

Las biotecnologías reproductivas abren nuevos horizontes de esperanza para la conservación de especies en peligro de extinción. Ello no debe de generar una falsa sensación de confianza en que mediante el uso de la Biotecnología seremos capaces de recuperar especies ya extinguidas, o todas aquellas que están al borde de la desaparición. Cuando una especie se extingue, lo hace para siempre, y confiar en su resurrección sería cuando menos irresponsable. Por otra parte, cuanto peor es la situación en que se encuentra una especie, mayores y más costosas son las medidas necesarias para salvarla. Por lo tanto, las tecnologías más costosas sólo nos permitirán salvar a una fracción de las especies al borde de la extinción. Cuanto antes comiencen los esfuerzos por evitar la extinción de especies, más eficiente será el uso de los escasos recursos disponibles.

3.9. El valor de la biodiversidad

La pérdida de especies supone, en primer lugar, una pérdida irreversible de riqueza que sólo ha surgido después de millones de años de evolución, y que es altamente improbable que haya surgido en otros puntos del universo de forma similar. Es responsabilidad de todos proteger este inmenso patrimonio natural para futuras generaciones. Pero este deber moral no es la única razón que nos mueve a proteger el medio ambiente. Además, hemos de tener muy presente que del funcionamiento normal de los ecosistemas depende la supervivencia de nuestra propia especie, puesto que el desarrollo económico y social depende en última instancia de la base ambiental de recursos.

Parte de la razón del escaso valor que se le da a los recursos naturales es que hasta ahora han estado proporcionando servicios de forma gratuita, por lo que se asume que siempre será así. Sin embargo, si el deterioro de los ecosistemas continúa, estos servicios gratuitos deberán ser reemplazados por fórmulas más costosas. En 1997 un equipo internacional de economistas y científicos valoró por primera vez todos los servicios que los ecosistemas proporcionan, calculando que la cifra aproximada es el doble del producto mundial bruto. Dichos servicios incluyen la regulación de la atmósfera y el clima, la purificación y retención de agua dulce, la formación y enriquecimiento del suelo, el reciclado de nutrientes, la detoxificación y recirculación de deshechos, la polinización de cultivos, y la producción de leña, alimento y combustible. Aunque la cifra estimada por este grupo para valorar los servicios de los ecosistemas ha sido criticada debido a cuestiones metodológicas, cálculos más recientes arrojan cifras aún mayores. Independientemente del valor exacto, estos análisis nos dan una idea general del valor de unos servicios que en general tendemos a creer que están asegurados.

Si nos centramos tan sólo en algo tan básico como la alimentación, basta decir que la captura total de pescado oceánico produce 82.000 millones de dólares en todo el mundo. Es obvio que la base de nuestra alimentación son los recursos naturales, particularmente las especies domesticadas para su uso en ganadería o agricultura. Sin embargo, la variedad de nuestra dieta se incrementa con el descubrimiento de nuevos productos nutritivos. La Biotecnología nos

ha abierto las puertas a la posibilidad de utilizar nuevas plantas como donantes de genes que pueden ser transferidos a las plantas cultivadas para mejorar su rendimiento, o hacer que estén mejor adaptadas a determinados ambientes. Aunque los alimentos transgénicos han suscitado un debate considerable entre los consumidores europeos, no se debe de olvidar que pueden aportar importantes beneficios como, por ejemplo, hacer las plantas resistentes al frío, permitir que se desarrollen en ambientes donde el agua escasea, o incorporar vitaminas u otros componentes deficitarios. Este es el caso del arroz, que es deficitario en vitamina A, lo que supone un problema para los muchos millones de personas para las que constituye el alimento básico. Mediante la transferencia de genes se ha desarrollado una variedad que contiene precursores de la vitamina A, lo que ha supuesto una mejora en la dieta de gran impacto para la salud. Estas nuevas tecnologías suponen que muchas especies que no se consideraban potencialmente útiles como alimentos, ahora se deban considerar como potenciales donantes de genes.

A la hora de valorar la biodiversidad en cifras concretas, parte del problema es cómo se valora el potencial aún desconocido de muchas especies. Éste es el caso del descubrimiento relativamente reciente de la utilidad de las bacterias para la biorremediación, es decir, la lucha biológica contra la contaminación, que ha demostrado su utilidad en catástrofes naturales como la de Aznalcóllar.

La apreciación de los ecosistemas y la biodiversidad va en aumento, y a la vez es un bien cada vez más escaso. El interés de una parte cada vez mayor de la sociedad por disfrutar de los ecosistemas más ricos o de los lugares más recónditos, ha permitido el desarrollo rápido de una nueva industria: el ecoturismo. Este caso representa un buen ejemplo de cómo el disfrute y uso de la naturaleza, hasta ahora abundante y fácil, se va convirtiendo en algo costoso y exclusivo.

La necesidad de elaborar todos estos argumentos para justificar la necesidad de proteger la biodiversidad contrasta con la actitud unánime de protección del patrimonio cultural que es obra de nuestra propia especie. Nadie discute por qué es de interés para la humanidad conservar obras de arte de indudable valor estético, y a las que se da un enorme valor económico por el hecho de ser únicas. No es fácil entender para quienes sentimos un aprecio espontáneo

neo por la naturaleza, por qué tal actitud no se extiende con la misma convicción a un patrimonio natural que es igualmente único a la vez que necesario, y que aporta un inmenso disfrute emocional a una parte cada vez más representativa de la sociedad.

3.10. Establecimiento de prioridades

Uno de los mayores retos a los que nos enfrentamos es el establecimiento de prioridades, algo absolutamente necesario, dada la magnitud del problema y los escasos recursos con los que se cuenta. Es fundamental que dichas prioridades se establezcan con criterios científicos, y que se llegue a un acuerdo a nivel internacional que permita abordar el problema a una escala global.

En la comunidad científica existe consenso respecto a la necesidad de priorizar la conservación del hábitat, dado el ritmo alarmante al que está desapareciendo. Se ha llevado a cabo una serie de estudios para integrar la información disponible sobre la distribución y abundancia de especies, y su grado de amenaza, en ecosistemas terrestres. Dichos estudios han permitido identificar 25 *hot spots* o puntos calientes donde se concentran el 60% de todas las especies y al menos el 65% de las especies listadas en el *libro rojo*. En estas zonas existe, por tanto, la mayor proporción de especies amenazadas, por lo que su conservación requiere medidas de urgencia. Sorprendentemente, por tanto, toda esta riqueza en peligro se encuentra en un área que representa el 1,4% de la superficie del planeta, por lo que requiere eliminar la interferencia humana en un área relativamente pequeña. Este dato es muy optimista, pero se requiere de un esfuerzo real a nivel internacional para poder proteger estas zonas. Puesto que nuestra especie parece comportarse de forma similar a la de otras especies en su elección de hábitat preferidos, dichas zonas concentran una importante proporción de la población humana mundial (20%) y el crecimiento poblacional es mayor que en otras partes del mundo. Si dicha actividad humana continúa al ritmo esperado, la mayor parte de las especies de los puntos calientes desaparecerían en las próximas dos décadas.

Entre los puntos calientes se encuentra la cuenca mediterránea y, dentro de ella, gran parte de la península Ibérica, Illes Balears y

las Canarias. Dicho *hot spot* cuenta con el dudoso privilegio de ser el que contiene una mayor proporción de especies en peligro de extinción, debido a que es de los 25 *hot spots* el que ha sido ocupado por poblaciones humanas desde hace más tiempo. En su conjunto, España es un país privilegiado en cuanto a la biodiversidad, lo que supone que tenemos una enorme responsabilidad respecto a su protección. Esta riqueza en diversidad biológica se debe a nuestra peculiar ubicación biogeográfica y a la variedad de hábitat. En España hay unas nueve mil plantas vasculares, lo que supone un 90% del total en Europa. De ellas, unas mil quinientas son endémicas (es decir, no existen en otras partes del mundo), y otras quinientas compartidas sólo con el norte de África. Prácticamente la mitad de los endemismos europeos son españoles, representando España sólo el 4,5% de la superficie europea. Una situación absolutamente excepcional en este sentido se da en las islas Canarias. Baste decir que, debido a su aislamiento, el 15% de sus plantas son endémicas. En cuanto a fauna, se estima que existen entre cincuenta y sesenta mil especies en nuestro país, siendo unas setecientas setenta vertebrados y el resto invertebrados. En España habitan más del 50% de todas las especies presentes en Europa, tanto en el caso de los vertebrados como en el de los invertebrados. También en el caso de la fauna, la riqueza en endemismos es enorme, particularmente en Canarias. De las 6.893 especies de animales presentes un 44% son endémicas. Además, España es un punto crucial para la migración de animales, lo que supone una responsabilidad adicional que nos confiere una dimensión de protectores de la fauna europea en general. Por lo tanto, España es responsable de la mayor diversidad biológica en Europa tanto en cuanto a número de especies como a diversidad. Ahora bien, el estado de alguna de estas especies es preocupante. Aproximadamente el 12% de las plantas vasculares están amenazadas, y el 26% de los vertebrados, lo que perfila una situación de pérdida de riqueza biológica importante. De las 113 especies de mamíferos españoles (sin considerar las cinco introducidas recientemente), el 52% se han incluido dentro de alguna categoría de amenaza: de éstas, el 2% se encuentran extinguidas, el 20% están sometidas a riesgos importantes (en peligro o vulnerables) y el 10% necesita una vigilancia especial. Además, no existe información suficiente para definir

con precisión el grado de amenaza en un 20% adicional de especies. Entre las aves españolas, de un total de 368 especies, el 24% se ha incluido en alguna categoría de amenaza; un 1% se encuentra extinguido, un 14% está sometido a riesgos importantes (en peligro o vulnerables) y el 9% requiere vigilancia especial.

Además de proteger las zonas geográficas que sufren un grado mayor de amenaza a escala global, es prioritario conservar las pocas zonas vírgenes que quedan, tales como los cinco bosques frontera: pluviselvas de la cuenca del Amazonas y de las Guayanas, el bloque del Congo en África central, Nueva Guinea, y los bosques de coníferas templados de Rusia, Finlandia y Escandinavia.

Las dificultades encontradas a la hora de establecer medidas efectivas de protección del hábitat, junto con el hecho de que en algunos grupos, como los ungulados, la amenaza principal no es la pérdida de hábitat, sino la caza, hace necesaria la implementación de otras medidas complementarias que ayuden a salvar a una fracción importante de las especies en peligro. El grado de elaboración de dichas medidas está en parte asociado al grado de amenaza que sufra la especie, y a la etapa en que se comiencen las actuaciones durante la fase de deterioro. Cuanto más cercana esté la especie a la extinción y cuanto menor sea el número de individuos con que se cuente, mayor será el nivel de intervención necesario. Se puede trazar un paralelismo entre esta asociación y el tratamiento médico de los enfermos: cuanto más desarrollada esté una enfermedad, más intenso deberá de ser el tratamiento para conseguir la cura. Aunque una enfermedad haya sido causada por un agente externo (por ejemplo, exposición a contaminantes) no es suficiente eliminar la causa, hay que reparar el daño. De la misma forma, cuando el declive de una especie sobrepasa un umbral, ya no es capaz de recuperarse por sí misma aunque se haga desaparecer la causa del declive, y es necesario implementar medidas para evitar la extinción.

Entre dichas medidas se encuentra la cría en cautividad cuando el declive de las poblaciones naturales no se puede detener, lo que requiere aumentar la capacidad de zoológicos, jardines botánicos y centros de investigación, para la cría de especies amenazadas y su estudio. Cuando las poblaciones remanentes de una especie consistan en un conjunto de poblaciones pequeñas y aisladas, cuya viabilidad

se ve limitada por la pérdida de variabilidad genética y la consanguinidad, será necesario implementar técnicas de reproducción asistida que permitan el intercambio de material genético entre dichas poblaciones. Para ello, será necesario establecer bancos de semillas y bancos de gametos y embriones, que faciliten dicho intercambio y preserven la diversidad genética que aún existe hoy día de forma indefinida. Finalmente, cuando una especie se encuentre al límite la clonación podría convertirse en una herramienta de utilidad, generando nuevos individuos a partir de aquellos que hayan muerto, o produciendo nuevos individuos a partir de otros vivos, de forma que se puedan establecer nuevas poblaciones allí donde desaparecen.

La tarea es pues ingente y se hace aún más difícil si consideramos que la biodiversidad se concentra en países en vías de desarrollo, con escasos recursos económicos para invertir en este objetivo. Por ello, el esfuerzo debe ser coordinado a nivel internacional de forma que se integren no sólo los recursos económicos sino también el conocimiento científico que se genera en los países desarrollados para abordar el mayor reto del futuro. El importante papel que le corresponde a la comunidad científica en determinar las causas del declive y en encontrar las soluciones más eficientes, requiere de mucho más que el sumatorio de esfuerzos aislados. Por ello, el mayor desafío consiste en encontrar las fórmulas que permitan la integración de la enorme cantidad de información que actualmente se encuentra dispersa y poco accesible, y que faciliten enfoques verdaderamente multidisciplinares sin los que no es posible comprender la complejidad del problema que tenemos frente a nosotros. La conquista del espacio ha planteado retos científicos y de coordinación enormes, que se han superado gracias al interés de un número suficiente de gobiernos. Sería un grave error no comprender a tiempo que la exploración y conservación de nuestro propio planeta es también un reto de enorme magnitud, que requiere de un impulso y una coordinación internacionales para abordar un problema que ha adquirido una dimensión global. La Ciencia nos ofrece la posibilidad de encontrar soluciones que permitan que nuestro planeta continúe siendo un lugar habitable y rico en formas de vida durante muchas generaciones. Es una decisión de todos aceptar este reto científico.

Bibliografía

- BALLOU, J. D., M. GILPIN y T. FOOSE (eds.) (1995): *Analytical Methods and Strategies in Small Population Conservation*, Nueva York, Columbia University Press.
- BELL, G. (1996): *Selection. The Mechanisms of Evolution*, Nueva York, Chapman and Hall.
- BENSCH, S., D. HASSELUQUIST y T. VON SCHANTZ (1994): «Genetic similarity between parents predicts hatching failure: nonincestuous inbreeding in the great reed warbler?», *Evolution*, 48, págs. 317-326.
- CARO, T. M. y M. K. LAURENSEN (1994): «Ecological and genetic factors in conservation: a cautionary tale», *Science*, 263, págs. 485-486.
- CARRINGTON, M., G. W. NELSON y S. J. O'BRIEN (1999): «HLA and HIV-1: Heterozygote advantage and B*35-Cw*04 disadvantage», *Science*, 283, págs. 1748-1752.
- CASSINELLO, J. *et al.* (1998): «Characteristics of the semen of three endangered species of gazelles (*Gazella dama mhori*, *G. dorcas neglecta* and *G. cuvieri*)», *J. Reprod. Fertil.*, 113, págs. 35-45.
- M. GOMENDIO y E. R. S. ROLDÁN (2001): «The relationship between coefficient of inbreeding and parasite burden in endangered ungulates», *Conserv. Biol.*, 15, págs. 1171-1174.
- CAUGHLEY, G. (1994): «Directions in conservation biology», *J. Anim. Ecol.*, 63, págs. 215-244.
- y A. GUNN (1996): *Conservation Biology in Theory and Practice*, Cambridge Mass, Blackwell Science.
- CHARLESWORTH, D. y B. CHARLESWORTH (1987): «Inbreeding depression and its evolutionary consequences», *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 18, págs. 237-268.
- COLTMAN, D. W., W. D. BOWEN y J. M. WRIGHT (1998): «Birth weight and neonatal survival of harbour seal pups are positively correlated with genetic variation measured by microsatellites», *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265, págs. 803-809.
- *et al.* (1999): «Parasite-mediated selection against inbred soay sheep in a free-living, island population», *Evolution*, 53, págs. 1259-1267.
- COULSON, T. N. *et al.* (1998): «Microsatellites reveal heterosis in red deer», *Proc. R. Soc. Lond. B*, 265, págs. 489-495.
- DIAMOND, J. (1997): *Guns, Germs and Steel*, Londres, Jonathan Cape.
- ENDLER, J. A. (1986): *Natural Selection in the Wild*, Princeton, Princeton University Press.
- ENTWISTLE, A. y N. DUNSTONE (eds.) (2000): *Priorities for the Conservation of Mammalian Diversity*, Cambridge, Cambridge University Press.
- FRANKHAM, R. (1995a): «Conservation genetics», *Annu. Rev. Genet.*, 29, págs. 305-327.
- (1995b): «Inbreeding and extinction: A threshold effect», *Conserv. Biol.*, 9, páginas 792-799.
- GARDE, J. J. *et al.* (2003): «Sperm cryopreservation in three species of endangered gazelles» (*G. Gazella cuvieri*, *dama mhori* y *G. dorcas neglecta*), *Biology of Reproduction*, 69, págs. 602-611.
- GINSBERG, J. R. (1993): «Can we build an ark?», *Trends Ecol. Evol.*, 8, págs. 4-6.
- GOMENDIO, M. (ed.) (2003): *Biodiversidad y Conservación en el Siglo XXI*, Fundación BBVA.
- J. CASSINELLO y E. R. S. ROLDÁN (2000): «A comparative study of ejaculate traits in three endangered ungulates with different levels of inbreeding: fluctuating asymmetry as an indicator of reproductive and genetic stress», *Proc. R. Soc. Lond. B*, 267, págs. 875-882.
- GULLAND, F. M. D. *et al.* (1993): «Parasite-associated polymorphism in a cyclic ungulate population», *Proc. R. Soc. Lond. B*, 254, págs. 7-13.

- HEDRICK, P. W. y S. T. KALINOWSKI (2000): «Inbreeding depression in conservation biology», *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 31, págs. 139-162.
- HOLT, W. V., P. M. BENNETT y V. VOLOBOUEV (1996): «Genetic resource banks in wildlife conservation», *J. Zool. Lond.*, 238, págs. 531-544.
- IUCN (1996): *IUCN Red List of Threatened Animals*, IUCN, Gland.
- KELLER, L. F. *et al.* (1994): «Selection against inbred song sparrows during a natural population bottleneck», *Nature*, 372, págs. 356-357.
- KEMPENAERS, B. *et al.* (1996): «Genetic similarity, inbreeding and hatching failure in blue tits: are unhatched eggs infertile?», *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 263, págs. 179-185.
- KRUUK, L. E. B., B. C. SHELDON y J. MERILÄ (2002): «Severe inbreeding depression in collared flycatchers» (*Ficedula albicollis*), *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 269, págs. 1581-1589.
- LACY, R. C. (1997): «Importance of genetic variation to the viability of mammalian populations», *J. Mammal.*, 78, págs. 320-335.
- G. ALAKS y A. WALSH (1996): «Hierarchical analysis of inbreeding depression», en *Peromyscus polionotus. Evolution*, 50, págs. 2187-2200.
- LANDE, R. (1988): «Genetics and demography in biological conservation», *Science*, 241, págs. 1455-1460.
- (1993): «Risks of population extinction from demographic and environmental stochasticity and random catastrophes», *Am. Nat.*, 142, págs. 911-927.
- LANDWEBER, L. F. y A. P. DOBSON (1999): *Genetics and the Extinction of Species*, Princeton, Princeton University Press.
- LAWTON, J. H. y R. M. MAY (eds.) (1995): *Extinction Rates*, Oxford, Oxford University Press.
- MACE, G. M., A. BALMFORD y J. R. GINSBERG (1998): *Conservation in a Changing World*, Cambridge, Cambridge University Press.
- MAGURRAN, A. E. y R. M. MAY (1999): *Evolution of Biological Diversity*, Oxford, Oxford University Press.
- MAY, R. M. (1990): «How many species?», *Phil. Trans. R. Soc. Lond. Ser. B.*, 330, págs. 293-301.
- (1995): «The cheetah controversy», *Nature*, 374, págs. 309-310.
- MAYR, E. (1982): *The Growth of Biological Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance*, Cambridge Mass., Harvard University Press.
- (2002): *What Evolution Is*, Londres, Phoenix.
- MENOTTI-RAYMOND, M. y S. J. O'BRIEN (1993): «Dating the genetic bottleneck of the African cheetah», *Proc. Natl. Acad. Sci. usa*, 90, págs. 3172-3176.
- MEROLA, M. A. (1994): «A reassessment of homozygosity as the case for inbreeding depression in the cheetah, *Acinomyx jubatus*: Implications for conservation», *Conserv. Biol.*, 8, págs. 961-971.
- MILLS, L. S. y P. E. SMOUSE (1994): «Demographic consequences of inbreeding in remnant populations», *Am. Nat.*, 144, págs. 412-431.
- MITTERMEIER, R. A. *et al.* (1998): «Global biodiversity hotspots and major tropical wilderness areas», *Conservation Biology*, 12, págs. 516-520.
- O'BRIEN, S. J. y A. EVERMANN (1988): «Interactive influence of infectious disease and genetic diversity in natural populations», *Trends Ecol. Evol.*, 3, págs. 254-259.
- *et al.* (1983): «The cheetah is depauperate in genetic variation», *Science* 221, págs. 459-462.
- *et al.* (1985): «Genetic basis for species vulnerability in the cheetah», *Science*, 227, págs. 1428-1434.
- *et al.* (1987): «East African cheetahs: evidence for two population bottlenecks?», *Proc. Natl. Acad. Sci. usa*, 84, págs. 508-511.

- PATERSON, S. (1998): «Evidence for balancing selection at the major histocompatibility complex in a free-living ruminant», *The Journal of Heredity*, 89, págs. 289-294.
- K. WILSON y J. M. PEMBERTON (1998): «Major histocompatibility complex variation associated with juvenile survival and parasite resistance in a large unmanaged ungulate population (*L. Ovis aries*)», *Proceedings of the National Academy of Sciences of the usa*, 95, págs. 3714-3719.
- RALLS, K. y J. BALLOU (1986): «Captive breeding programs for populations with a small number of founders», *Trends Ecol. Evol.*, 1, págs. 19-22.
- K. BRUGGER y J. BALLOU (1979): «Inbreeding avoidance and juvenile mortality in small populations of ungulates», *Science*, 206, págs. 1101-1103.
- RIDLEY, M. (1996): *Evolution*, 2.^a ed., Cambridge Mass., Blackwell Science.
- ROELKE, M. E., J. S. MARTENSON y S. J. O'BRIEN (1993): «The consequences of demographic reduction and genetic depletion in the endangered Florida panther», *Current Biol.*, 3, págs. 340-350.
- ROLDÁN, E. R. S. y J. GARDE (2003): «Biotecnologías de la reproducción y conservación de especies en peligro de extinción», en *Biodiversidad y Conservación en el Siglo XXI*, M. Gomendio (ed.), Fundación BBVA.
- *et al.* (1998): «Inbreeding, fluctuating asymmetry, and ejaculate quality in an endangered ungulate», *Proc. R. Soc. Lond. B.*, 265, págs. 243-248.
- RYDER, O. A. *et al.* (2000): «DNA banks for endangered animal species», *Science*, 288, págs. 275-277.
- SOULÉ, M. E. (ed.) (1986): *Conservation Biology. The Science of Scarcity and Diversity*, Sinauer Associates, Sunderland M.A.
- (1987): *Viable Populations for Conservation*, Cambridge, Cambridge University Press.
- THORNHILL, N. W. (ed.) (1993): *The Natural History of Inbreeding and Outbreeding*, Chicago, The University of Chicago Press.
- THRUSZ, M. R., H. C. THOMAS y A. V. S. HILL (1997): «Hetrozygote advantage for HLA class II type hepatitis B virus infection», *Nature Genetics*, 17, págs. 11-12.
- WATSON, P. F. y W. V. HOLT (eds.) (2001): *Cryobanking the Genetic Resource. Wildlife Conservation for the Future*, Londres, Taylor y Francis.
- WILDT, D. E. *et al.* (1987): «Reproductive and genetic consequences of founding isolated lion populations», *Nature*, 329, págs. 328-331.
- (1992): «Genetic resource banks for conserving wildlife species: justification, examples and becoming organized on a global basis», *Anim. Reprod. Sci.*, 28, págs. 247-257.
- y C. WEMMER (1999): «Sex and wildlife: the role of reproductive science in conservation», *Biodiv. Conserv.*, 8, págs. 965-976.
- *et al.* (1997): «Genome resource banks. Living collections for biodiversity conservation», *Bioscience*, 47, págs. 689-698.
- WILSON, E. O. (1992): *The Diveristy of life*, Londres, Penguin Books.
- (2002): *The future of life*, Londres, Abacus.
- WRIGHT, S. (1977): *Evolution and the Genetics of Populations: Experimental Results and Evolutionary Deductions*, vol. 3, Chicago, University of Chicago Press.
- YOUNG, A. G. y G. M. CLARKE (eds.) (2000): *Genetics, Demography and Viability of Fragmented Populations*, Cambridge, Cambridge University Press.

4. El futuro de la especie humana en relación con la nueva Biotecnología ¹

Juan Ramón Lacadena Calero
Departamento de Genética, Facultad de Biología
Universidad Complutense de Madrid

4.1. La revolución del ADN

Este año 2003 se ha conmemorado profusamente el quincuagésimo aniversario del modelo de la doble hélice del ADN propuesto por Watson y Crick el 25 de abril de 1953 en la revista *Nature* y algún comentarista ha dicho que ese año marca un antes y un después en la historia de la Genética. Yo discrepo de esa opinión porque realmente fue el año 1944 el que marcó un hito fundamental en la historia de la Genética ya que fue entonces cuando Avery, MacLeod y McCarty identificaron el *principio transformante* que explicaba el fenómeno de *transformación bacteriana* descrito por el médico inglés Griffith en 1928. Es decir, en 1944 se identificó al ácido desoxirribonucleico (ADN) como la base molecular de la herencia: *los genes son ADN*. No obstante, la comunidad científica se mostraba reacia a aceptar tal hecho porque estaba muy arraigada la creencia de que los genes tenían que ser proteínas y tuvieron que transcurrir todavía otros ocho años más hasta que, en 1952, otra evidencia experimental distinta llevada a cabo por Hershey y Chase (la infección de bacterias con virus radiactivos) ratificaba la identificación del ADN como material hereditario. Al año siguiente, en 1953, fue cuando, tal como se ha mencionado, Watson y Crick propusieron su modelo estructural de la doble hélice cuyo cincuentenario ha sido celebrado este año 2003. A partir de entonces el progreso de la Ciencia Genética

¹ El presente trabajo está basado en otros estudios previos del autor en los que viene trabajando desde hace varios años por lo que, necesariamente, se incluyen algunos contenidos recogidos en publicaciones anteriores (véanse revisiones en Lacadena, 1998, 2000, 2001, 2002 y 2003 en las que se encontrará abundante bibliografía).

fue continuo y acelerado, pasando de los abstractos *factores hereditarios* mendelianos a los genes tangibles y manipulables: los genes son fragmentos más o menos largos de ADN que se pueden identificar y aislar de entre toda la masa molecular de ADN que constituye el genoma de un organismo, se pueden caracterizar (es decir, conocer el mensaje genético que llevan), transferir de unas células a otras y de unos individuos a otros, sean o no de la misma especie. Se trata, pues, de la *manipulación genética*, entendiendo el término *manipular* en el sentido que lo define la Real Academia Española en su *Diccionario* como «operar con las manos o con cualquier instrumento» y no en el otro sentido peyorativo posible.

Las consecuencias básicas y aplicadas que se han derivado de la identificación del ADN como material hereditario son de tal envergadura que han supuesto un cambio de paradigma pocas veces igualado en la historia de la Ciencia. Se puede decir que en la historia de la Genética hay un *antes del ADN* y un *después del ADN* que la divide en dos lapsos de tiempo más o menos equivalentes: desde 1865 en que Mendel hizo públicos sus experimentos y 1900 en que se *redescubren* las leyes de Mendel hasta 1944 —*el antes del ADN*— y desde 1944 hasta nuestros días —*el después del ADN*.

Como he dicho en otras ocasiones, con la perspectiva de los años ya transcurridos, yo creo que los historiadores y filósofos de la Ciencia tendrán que incluir en su discurso y reflexiones el papel de la *revolución del ADN* como un hito fundamental en la Historia de la Humanidad junto con otra revolución coetánea con ella como es la *revolución de la informática y las comunicaciones*, lo mismo que en tiempos pretéritos fueron fundamentales la *revolución de la agricultura* o la *Revolución Industrial*.

Realmente, la potencialidad de la Genética es enorme y eso hace que el ciudadano —la sociedad— perciba la Genética como una Ciencia todopoderosa y considere al ADN como una nueva piedra filosofal de la Biología, aunque algunos, ante el mal uso que pueda hacerse de las técnicas genéticas, puedan ver la doble hélice del ADN como una molécula de doble filo.

Recientemente falleció Erwin Chargaff (1905-2002) cuyas famosas *reglas de Chargaff* (1950) —que establecían la equiproporcionalidad en la composición del ADN de las bases adenina y timina, por un lado, y guanina y citosina, por otro— fueron uno de

los pilares que utilizaron Watson y Crick para llegar a proponer en 1953 el modelo estructural del ADN de la doble hélice. Chargaff fue siempre un científico muy crítico. Poco antes de morir, había dicho: «hay dos núcleos que el hombre no debió haber tocado jamás: el núcleo atómico y el núcleo celular. Y la ingeniería genética va a traer consecuencias mucho peores que la energía atómica».

Con estas palabras recordaba, quizá, lo que Fred Hoyle —el también recientemente fallecido astrónomo de la Universidad de Cambridge— profetizó hace muchos años al prever el enorme poder que iba a tener la manipulación genética: «dentro de 30 años —decía Hoyle— los físicos nucleares, que sólo fabrican inofensivas bombas de hidrógeno, trabajarán en libertad mientras que los genéticos moleculares trabajarán detrás de alambradas eléctricas». Lo que Hoyle predijo entonces era el poder fantástico que iba a tener la Genética al poder manipular los genes. Salvando las distancias, se podría hacer la siguiente comparación: lo mismo que el poder y el peligro de la Física se alcanzó cuando los científicos fueron capaces de *tocar* los átomos —me refiero a la física atómica y la energía nuclear—, el poder y el peligro potencial de la Genética se han hecho realidad cuando los científicos han podido *tocar* los genes, es decir, manipularlos.

4.2. Biotecnología y Biocracia

Aunque no toda la Biotecnología tiene que ver directamente con la Genética y el ADN, no cabe duda de que la utilización de técnicas genéticas es cada vez mayor. Dada la importancia de la Biotecnología en el sistema económico moderno, podemos afirmar que, así como el desarrollo de la técnica llevó a la Humanidad hacia una *Tecnocracia*, la revolución del ADN está produciendo en cierto modo una *Biocracia* a través de la Biotecnología.

Si se pretende reflexionar sobre la Biotecnología, lo primero que se debe hacer es delimitar el campo de acción, definiendo qué se entiende por Biotecnología:

— El *Diccionario de la lengua española* (RAE, 2001) la define como el «empleo de células vivas para la obtención y mejora

de productos útiles, como los alimentos y los medicamentos», añadiendo como una segunda acepción el «estudio científico de estos métodos y sus aplicaciones».

- El *Vocabulario científico y técnico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* (1996) define la Biotecnología en una primera acepción como el «empleo de las células vivas para la obtención de productos útiles. Comprende, principalmente, las tecnologías de fermentación, manipulación génica y utilización de hibridomas. Entre los productos, se encuentran péptidos, proteínas, anticuerpos y medicamentos potenciales (interferones, interleuquinas, factores de crecimiento y de coagulación, etc.)». En una segunda acepción, dice: «parte de la ciencia que estudia la obtención de productos útiles a partir de células vivas».
- En esta misma dirección, se puede incluir la definición que asumía el profesor Rodríguez Villanueva en su discurso de ingreso en la Real Academia Nacional de Farmacia:

[...] la Biotecnología incluye cualquier técnica que utilice organismos vivos o partes de los organismos para fabricar o modificar productos, para mejorar plantas o animales o para desarrollar microorganismos para usos específicos. La Biotecnología posee la capacidad de cambiar a la comunidad industrial del siglo XXI debido a su potencial para producir cantidades prácticamente ilimitadas de:

- sustancias de las que nunca se había dispuesto antes;
- productos que se obtienen normalmente en cantidades pequeñas;
- productos con coste de producción mucho menor que el de los fabricados por medios convencionales;
- productos que ofrecen mayor seguridad que los hasta ahora disponibles;
- productos obtenidos a partir de nuevas materias primas más abundantes y baratas que las utilizadas anteriormente.

Es interesante hacer notar que en las definiciones presentadas se habla normalmente de la *obtención de productos* a partir de células,

pero no se explicita que la técnica biotecnológica puede consistir, precisamente, en la obtención y utilización de las propias células; por ejemplo, los *hibridomas* para obtención de los anticuerpos monoclonales (como menciona la Academia de Ciencias en su *Vocabulario Científico*) o las *células troncales* para su utilización en la terapia celular de la Medicina regenerativa. En otras ocasiones, la técnica biotecnológica puede consistir en un test genético molecular (*kit*), en la fabricación de *biochips de ADN* (micromatrices, *microarrays*) para la identificación de la expresión de los genes o en determinadas técnicas utilizadas en los procesos de transferencia de la información genética a los organismos por medios no convencionales (transmisión horizontal, *transgénesis*) que permiten obtener plantas o animales transgénicos, incluyendo su aplicación en la *terapia génica* humana. Asimismo se puede mencionar la utilización de nuevas técnicas de reproducción animal como puede ser la *clonación* por transferencia de núcleos en mamíferos.

4.3. Plantas y alimentos transgénicos

Puede decirse que Malthus se quedó corto cuando predijo la catástrofe para la humanidad porque estimó que la población humana crecería según una progresión geométrica mientras que los alimentos lo harían en progresión aritmética, siendo así que la demografía humana ha crecido a un ritmo más exponencial que geométrico. En este contexto es importante resaltar que los 6.000 millones de habitantes de la Tierra del año 2000 se transformarán en 9.000 millones en el año 2050, de los que un 90% habitarán en Asia, África y América Latina. Sin embargo, las malas predicciones de Malthus no se cumplieron, entre otras causas, por el incremento de las producciones agrícolas gracias, por un lado, a los avances tecnológicos y, por otro, a la aplicación de los conocimientos genéticos para la obtención de variedades cultivadas más productivas. El pronóstico más reciente de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) estima que en los próximos treinta años la producción agrícola seguirá creciendo más deprisa que la población humana y que los 8.300 millones de personas que constituirán la población mundial podrán recibir

mejor alimentación, a la vez que decrecerá la degradación de la tierra causada por la agricultura debido a que disminuirá la superficie cultivada. No obstante, la FAO reconoce que continuará la emergencia en el África subsahariana, donde habrá 187 millones de personas subalimentadas, es decir, en 2030 solamente habrá disminuido en 11 millones de personas la población subsahariana subalimentada.

Como se decía anteriormente, la Biotecnología incluye entre sus fines el de mejorar plantas en beneficio del hombre. En un sentido amplio, podría decirse que la *mejora de plantas* se remonta a los tiempos más antiguos mediante la aplicación intuitiva de procesos de selección. Así, se puede citar como ejemplo concreto el caso del descubrimiento hecho en la *Cueva de los murciélagos* de México donde se encontraron restos de mazorcas de maíz correspondientes a estratos geológicos sucesivos que mostraban un aumento gradual de tamaño correlativo con la sucesión cronológica. Estos hechos indican sin duda alguna que el hombre del Neolítico, haciendo uso de su inteligencia racional, aplicaba ya un proceso de selección en el maíz que cultivaba. Los orígenes de la Genética están íntimamente relacionados con la investigación de los hibridistas experimentales de plantas. A partir del redescubrimiento de las leyes de Mendel, la aplicación de los conocimientos genéticos impulsó el desarrollo de la *mejora*.

La *mejora genética de plantas* tiene como fin *obtener los genotipos (constitución genética) que produzcan los fenotipos (manifestación externa de los caracteres) que mejor se adapten a las necesidades del hombre en unas circunstancias determinadas*. Aspectos parciales de ese objetivo final son:

- Aumentar el rendimiento:
 - *Mejora de productividad*, aumentando la capacidad productiva potencial de los individuos.
 - *Mejora de resistencia*, obteniendo genotipos resistentes a plagas, enfermedades y condiciones ambientales adversas.
 - *Mejora de características agronómicas*, obteniendo nuevos genotipos que se adaptan mejor a las exigencias y aplicación de la mecanización de la agricultura. Por ejemplo, tales son los casos del sorgo enano o la remolacha monogermen.

- Aumentar la calidad:
 - *Mejora de calidad*, atendiendo, por ejemplo, al valor nutritivo de los productos vegetales obtenidos.
- Extender el área de explotación, adaptando las variedades de las especies ya cultivadas a nuevas zonas geográficas con características climáticas o edafológicas extremas, como ocurrió con el trigo en los países nórdicos europeos.
- Domesticar nuevas especies, transformando las especies silvestres en cultivadas con utilidad y rentabilidad para el hombre.

Los métodos convencionales de la *mejora vegetal* han sido los cruzamientos y la selección complementados en ocasiones con técnicas citogenéticas y de mutagénesis artificial. Sin embargo, mediada la década de los ochenta se inició la aplicación de la *ingeniería genética molecular* en la *mejora* mediante la utilización de *plantas transgénicas*, que se hicieron una realidad a escala comercial a partir de la mitad de la década de los noventa.

Como he tenido ocasión de decir en momentos anteriores, la cuestión de las plantas y los alimentos transgénicos es como una guerra incruenta (aunque, desgraciadamente, en ocasiones puedan producirse algunos actos de violencia) con diferentes batallas y escaramuzas. La primera batalla la ganaron —podría decirse que por sorpresa— las compañías multinacionales productoras de las plantas transgénicas, pero la segunda batalla se inclinó de parte de grupos de presión ecologistas y las ONG. Me planteaba entonces cuál sería el resultado final de la guerra de los transgénicos y me atrevía a vaticinar que posiblemente se impondría la cordura por ambos bandos y que, con las debidas precauciones tomadas caso por caso, las plantas y los alimentos transgénicos llegarían a ser aceptados como una realidad más del avance biotecnológico para beneficio de la humanidad. En este breve comentario puede ser interesante actualizar los datos estadísticos mundiales del año 2002 en relación con los cultivos transgénicos y hacer también una alusión a la situación en España.

El informe elaborado en enero de 2003 por el doctor Clive James, presidente del International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA), da los siguientes datos relativos a los cultivos transgénicos en el año 2002:

- Entre 5,5 y 6 millones de agricultores de 16 países del mundo cultivaron un total de 58,7 millones de hectáreas (mha), frente a las 52,6 mha de los 5 millones de agricultores de 13 países del año 2001.
- Desde 1996 en que se iniciaron los cultivos transgénicos a escala comercial, el incremento de superficie cultivada se ha mantenido a un ritmo anual en torno al 10%, pasando de 1,7 mha en 1996 a las 58,7 mha de 2002.
- El 99% de superficie cultivada con plantas transgénicas corresponde a cuatro países: Estados Unidos (39,0 mha, que suponen el 66% del total), Argentina (13,5 mha, 23%), Canadá (3,5 mha, 6%) y China (2,1 mha, 4%).
- Por especies, las plantas transgénicas más cultivadas fueron la soja (36,5 mha, que suponen el 62% de la superficie total cultivada con transgénicos), el maíz (12,4 mha, 21%), el algodón (6,8 mha, 12%) y la colza (3,0 mha, 5%).

A la vista de los datos aportados por el doctor James, habría que reconocer que la guerra de los transgénicos pasa por un punto de inflexión a favor de su incremento consolidado.

En España, el cultivo de maíz transgénico ocupa unas 20.000 ha, la mayoría en el Valle del Ebro (Zaragoza, Huesca y Lérida) y el resto en Extremadura y Castilla-La Mancha. Recientemente, el Ministerio de Agricultura decidió autorizar la comercialización de cinco variedades de maíz transgénico Bt resistentes al taladro y pertenecientes a las compañías Monsanto, Syngenta Seeds, Pioneer Hi-Bred, Nickerson Sur y al consorcio francés Limagrain. La inscripción de estas variedades de maíz en el Registro de Variedades Comerciales fue publicada en el *Boletín Oficial del Estado* con fecha 11 de marzo de 2003.

De acuerdo con la Directiva 2001/18/CE *sobre liberación deliberada al ambiente de organismos modificados genéticamente (GMO)*, es importante diferenciar los aspectos económicos de los aspectos ambientales y sanitarios. Puesto que en la Unión Europea sólo se pueden sembrar los cultivos transgénicos previamente autorizados y la Directiva cubre los aspectos ambientales y de salud, el tema de la coexistencia de cultivos GM (transgénicos) y no GM debe quedar restringido a los aspectos económicos derivados de la presencia adventicia de GMO y

la viabilidad y costes de las medidas encaminadas a reducir la mezcla de cultivos transgénicos y no transgénicos; por ejemplo, distancias de aislamiento entre campos, zonas intermedias de amortiguación, barreras de polinización, rotación de cultivos y calendarios de siembra para diferir los períodos de floración, supervisión durante el cultivo, recolección, almacenamiento, transporte y procesado, etcétera. La discusión sobre los cultivos de maíz y colza transgénicos son los prioritarios puesto que ya han sido autorizados en la Unión Europea.

Ante las consecuencias económicas que la coexistencia de cultivos GM y no GM puede producir, la organización ecologista Greenpeace ha planteado la aplicación del principio de que *quien contamina, paga*, refiriéndose a la posibilidad de que los cultivos transgénicos contaminen genéticamente a los cultivos que de origen no estaban genéticamente modificados.

Al comienzo de este apartado hablaba de *guerra y batallas* entre compañías multinacionales productoras de plantas transgénicas y movimientos ecologistas. También hay que tener en cuenta la guerra comercial. Por ejemplo, recientemente los Estados Unidos presentaron ante la Organización Mundial del Comercio (OMC) una queja formal contra la Unión Europea para que levante la moratoria que desde 1998 existe sobre la importación de productos transgénicos. Como es sabido, Estados Unidos es el país líder en cultivos transgénicos. Aunque los técnicos europeos niegan la existencia de tal moratoria, la realidad es que varios de sus Estados miembros tienen bloqueadas las autorizaciones a la importación de los productos transgénicos. Las normas de la OMC permiten que los Estados miembros puedan prohibir las importaciones de determinados productos si se demuestra que existe peligro para la salud o el medio ambiente. La controversia se produce porque hasta el momento no se ha demostrado de forma inequívoca la existencia de tales riesgos. La Administración norteamericana autoriza todos los transgénicos a no ser que se haya demostrado que sean nocivos para la salud humana o el medio ambiente; por el contrario, la legislación europea establece varias etapas previas a la autorización de su comercialización. Las cifras de la guerra comercial son elocuentes: Estados Unidos exporta en torno al 20% de su producción de maíz, pero aumenta la competencia de otros países, como Argentina y China. Por

ejemplo, las importaciones de maíz procedente de los Estados Unidos realizadas por la Comunidad Europea pasaron de 3,3 millones de toneladas en 1995 a 25.934 toneladas en 2002, mientras que, paralelamente, las importaciones de maíz argentino pasaron de medio millón de toneladas a 1,5 millones en el mismo período de tiempo. La denuncia norteamericana ante la OMC contra la moratoria europea cuenta con el apoyo de países como Canadá, Egipto y Argentina. Además, otros nueve países —Australia, Chile, Colombia, El Salvador, Honduras, México, Nueva Zelanda, Perú y Uruguay— respaldan la queja norteamericana en calidad de *terceras partes*.

En agosto de 2002, la FAO emitió un informe sobre la evolución de la población mundial y la agricultura prevista para los próximos años 2015 y 2030 en el que se pronunciaba a favor de las nuevas técnicas biotecnológicas, defendiendo con cautela el uso de los cultivos transgénicos.

Los continuos avances científicos y la nueva experiencia alcanzada sobre Biotecnología han llevado a introducir modificaciones legales tanto en la Comunidad Europea como en España. En este sentido, la Directiva 90/219/CEE fue modificada por la Directiva 98/81/CE del Consejo, de 26 de octubre de 1998 y, asimismo, la Directiva 90/220/CEE fue derogada por la Directiva 2001/18/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de marzo de 2001, *sobre liberación intencional en el medio ambiente de organismos modificados genéticamente*. Dado que estas nuevas Directivas, aunque no modificaban sustancialmente el régimen legal español vigente, afectan a muchos artículos de la Ley 15/1994, se consideró oportuno derogar esta ley por otra nueva que adecuara nuestro ordenamiento jurídico a la nueva normativa comunitaria (Directivas 98/81/CE y 2001/18/CE). De esta manera, en 2003 se aprobó en España la Ley 9/2003, de 25 de abril, *por la que se establece el régimen jurídico de la utilización confinada, liberación voluntaria y comercialización de organismos modificados genéticamente* (BOE, núm. 100, de 26 de abril de 2003).

Como dice en su exposición de motivos, los principios que inspiran la Ley son:

- El de *prevención y cautela*, adoptando las medidas adecuadas para evitar los posibles efectos adversos para la salud humana

y el medio ambiente derivados de la utilización de los cultivos transgénicos.

- El de *caso por caso*, es decir, la evaluación de los riesgos asociados a los organismos modificados genéticamente para cada uno de ellos.
- El de *paso a paso*, que supone que sólo se procederá a la liberación de los organismos modificados genéticamente cuando la evaluación de las etapas anteriores indique que se puede pasar a la siguiente sin riesgos aparentes.
- El de *información y participación pública*, garantizando la consulta al público, a la sociedad, antes de autorizar algunas actividades de utilización confinada, así como todas las de liberación voluntaria y las de comercialización de organismos modificados genéticamente o productos que los contengan y el acceso de los ciudadanos a la información sobre las liberaciones o comercializaciones autorizadas.

¿Qué decir sobre los alimentos transgénicos? El debate sobre los alimentos transgénicos se ha producido como consecuencia de los intereses enfrentados de la industria biotecnológica (léase las grandes compañías multinacionales productoras de las plantas transgénicas) y los agricultores avanzados, por un lado, y los grupos ecologistas y determinadas ONG y asociaciones de consumidores, por otro. ¿A qué se debe el clima de desconfianza y rechazo hacia las plantas y los alimentos transgénicos que se ha producido en una buena parte de la sociedad? En cierto modo puede achacarse a la falta de transparencia informativa y a una serie de estrategias poco afortunadas por parte de los más interesados en la rápida comercialización de estos productos. Además, como resaltaba M. Moreno (1999), el debate social está contaminado por la escasa participación de los agentes sociales en su desarrollo, por el lenguaje equívoco utilizado por determinados grupos de presión en forma de metáforas inapropiadas (por ejemplo, *transgénico como sinónimo de alterado*, *transgénico como sinónimo de dañino*, *lo natural como sinónimo de inocuo*, y *lo artificial de nocivo*) y por el exceso de contenido retórico y falta de rigor científico y técnico en los argumentos utilizados. Por ejemplo, publicar en los medios de comunicación que se ha demostrado —sin que haya una publicación científica seria que lo avale— que los ali-

mentos transgénicos son dañinos (por aquello de que *calumnia que algo queda*) o asegurar que las plantas transgénicas atentan contra la biodiversidad o magnificar los riesgos y apelar al *principio de precaución* para aconsejar la prohibición de los cultivos transgénicos o tachar de *vendidos a las multinacionales* a los científicos que honradamente defienden la utilización de plantas y alimentos transgénicos. Todo ello supone, a mi juicio, una enorme y grave manipulación social.

Las plantas transgénicas son un reto de la Biotecnología actual que han creado un cierto grado de alarma social consecuencia, en cierto modo, del temor a lo desconocido y novedoso. De todas formas, es bueno y necesario que se plantee en la sociedad un debate serio y riguroso, sin *ecologismos* demagógicos, que permita el avance de la Ciencia, evitando a la vez peligros y riesgos innecesarios. De cualquier manera, en relación con el riesgo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos que destacaba el profesor García Olmedo (1998):

- *No existe el riesgo cero*: toda actividad humana conlleva un cierto riesgo que ha de ser evaluado en función de los beneficios que tal actividad reporta.
- *Natural no es sinónimo de inocuo*: hay productos naturales que llevan sustancias mutagénicas y cancerígenas; por ejemplo, la pimienta negra (safrol), las setas comestibles (hidrazinas), el apio (psolareno), los frutos secos (aflatoxinas de hongos), etc.
- *No todo lo artificial es nocivo*: ninguno de los conservantes autorizados llega a ser tan peligroso como las toxinas que pueden producir las bacterias y los hongos que el conservante evita.

En relación con el riesgo, es importante hacer hincapié en el *principio de precaución*, que fue en gran parte el caballo de batalla de la reunión de Montreal (enero, 2000) que estableció el Protocolo de Bioseguridad. A la hora de aplicar correctamente el principio de precaución a los alimentos transgénicos es fundamental tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Distinción entre producto y proceso**:
 - Es el producto, no el proceso, lo que debe ser sometido a debate.

- Distinción entre peligro y riesgo:
 - El peligro indica la posibilidad de que se produzca un hecho.
 - El riesgo indica la probabilidad de que tal hecho ocurra.
- Una moratoria sería justificable a condición de definir claramente sus objetivos y su duración, a fin de evitar la prohibición pura y simple que tal nombre ocultaría.

A la vista de la multitud de informes, unos a favor y otros más o menos en contra de los alimentos transgénicos, habría que decir, quizá, que *hay muchas opiniones, pero pocos datos*. Como dice el experto en nutrición Luis A. Rubio (comunicación personal): «es de crucial importancia no engañar al público sobre lo que realmente sabemos, y no vender como seguridades lo que sólo son conjeturas. Si desde el punto de vista genético los alimentos transgénicos pueden estar bien definidos, desde el punto de vista nutricional no lo están tanto».

Como ya he dicho otras veces, en muchas ocasiones además de hablar de manipulación genética hay que hablar de manipulación social, tanto en una dirección como en otra: tanto a favor indiscriminado del progreso científico como en su contra.

4.4. Genómica y Farmacogenómica

La *Genómica* puede definirse como *la disección molecular del genoma de los organismos*. Sin embargo, de nada servirían los trabajos de secuenciación si no se sabe para qué sirven las secuencias descifradas. Por eso, muy pronto la *Genómica estructural*—la secuenciación sin más— dio paso a la *Genómica funcional*, que trata de descubrir la función que tiene cada secuencia conocida, para lo cual resulta de gran ayuda la comparación de las secuencias que aparecen en los genomas de organismos más o menos relacionados en la evolución (*Genómica comparada*). Así de la *Genómica estructural* se llega a la terapia funcional o *Farmacogenómica*.

El mensaje genético contenido en el ADN está escrito en un lenguaje de cuatro letras (las bases nitrogenadas) a las que corresponden 20 palabras (los 20 aminoácidos esenciales) con las que se pueden escribir un número ilimitado de frases (las proteínas) que han

de formar innumerables libros diferentes (los individuos genéticamente irrepetibles). En otras palabras, cada genoma es un libro diferente.

Al término de la secuenciación total del genoma humano en el año 2001 (Venter *et al.*, 2001; Collins *et al.*, 2001) y su perfeccionamiento en el año 2003 —el 14 de abril de 2003, el *Consortio Internacional para la Secuenciación del Genoma Humano*, formado por laboratorios de seis países (Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Alemania, China y Japón) hizo público que se había completado la secuencia del mismo— puede decirse que el círculo se ha cerrado. Se ha llegado al *fin del principio*: ya se dispone de la base de datos necesaria para iniciar la segunda fase de estudio que ya algunos denominan el *Proyecto Proteoma*, indicando que se trata de identificar las proteínas que los genes secuenciados codifican, analizando sus funciones e interacciones. La Genómica ha entregado el testigo a la Proteómica. De esta manera, el *Proyecto Genoma Humano* abre las puertas a una nueva Medicina —la *Medicina Genómica*, que incluye la *Farmacogenómica*— que ha de ser de gran beneficio para la Humanidad. No obstante, todos somos conscientes de los importantes problemas éticos y jurídicos que se están planteando ya sea en términos de privacidad (relaciones laborales, seguros), patentes de genes humanos, identificación legal, etc.

Entre los medios técnicos de los que se ha de valer la nueva Medicina Genómica están los biochips de ADN: poderosa herramienta con la que se podrá analizar eficazmente la constitución genética de cada individuo o la expresión génica de las células normales o patógenas. El *transcriptoma*, definido como el conjunto de moléculas de ARN mensajero (ARNm) presentes en cada tipo diferente de célula por la expresión específica de sus genes, puede ser analizado con los biochips.

La Farmacogenómica (Bailey *et al.*, 1999) se puede definir como el estudio de los efectos de los medicamentos sobre los genomas de los individuos. La Farmacogenómica constituye una poderosa estrategia en la comprensión de la enfermedad y en la caracterización de las respuestas biológicas a los medicamentos, tanto desde la perspectiva de su eficacia y toxicidad como de la identificación de las diferencias entre los tejidos normales y los patológicos (Furness y Pollock, 2001). La Farmacogenómica puede tener un gran impacto en

el descubrimiento de nuevos medicamentos incidiendo en diferentes áreas del proceso, ya sea en la identificación de los compuestos químicos que pueden llegar a ser fármacos potenciales, ya sea en la modificación y adaptación de su estructura molecular asegurando la seguridad y eficacia clínica.

Las compañías farmacéuticas de los Estados Unidos invirtieron en I + D en el año 2000 más de 26.000 millones de dólares (un 10% más que en 1999), equivalentes al 20% de los ingresos por ventas. Se estima que, por término medio, cada nuevo fármaco que se produce implica una inversión de 500 millones de dólares desde que se inicia la investigación hasta que se pone en el mercado. A pesar de los elevados costos de producción los rendimientos compensan, como demuestran las estadísticas en los Estados Unidos donde se estima una prescripción media de cada medicamento por valor de 1,3 millones de dólares diarios, habiendo algún medicamento que genera ingresos por valor de 11,2 millones de dólares diarios, como ocurre con el Prilosec® que es un medicamento anti-ulceroso (Furness y Pollock, 2001). En este universo farmacéutico de I + D nadie duda de que la Farmacogenómica va a jugar un papel especial.

La Farmacogenómica no es lo mismo que la Farmacogenética (Bailey *et al.*, 1999). La Farmacogenética se puede definir como el estudio del efecto de los cambios en la secuencia de un gen sobre la actividad o función de la proteína que tal gen codifica. El *Proyecto Genoma Humano* ha puesto de manifiesto que los genomas de dos personas distintas coinciden en el 99,9% de sus bases. En otras palabras, la variación en el 0,1% del genoma es lo que diferencia genéticamente a dos personas. De la comparación de los genomas de diferentes individuos se podrá llegar a establecer la posible relación entre determinadas regiones del genoma y la predisposición genética a ciertas enfermedades, así como identificar mutaciones que puedan explicar las diferencias entre las respuestas individuales ante la enfermedad y los tratamientos con medicamentos (Furness y Pollock, 2001).

En este contexto hay que decir que el *Proyecto Genoma Humano* ha puesto de manifiesto la existencia de un polimorfismo de simples nucleótidos (SNP) que puede ser asociado con ciertas enfermedades y respuestas a medicamentos, lo cual ha llevado a desarro-

llar una tecnología que permite identificar SNP sobre secuencias de genes determinados responsables de enfermedades concretas; por ejemplo, el receptor del tromboxano A₂ en el asma bronquial o la citoquina interleuquina-6 en la enfermedad de Alzheimer. Existe un amplio catálogo de SNP en las bases de datos correspondientes.

Finalmente, habría que mencionar también el papel que la Farmacogenética puede jugar en el análisis de los genes que intervienen en los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción de los medicamentos (genes denominados genéricamente ADME). Las diferencias en la respuesta clínica a diversos fármacos puede ser atribuida a la variación genética existente en las poblaciones humanas en los genes ADME. Por ejemplo, un 30% de los pacientes no responde a tratamientos para bajar el colesterol o un 35% no responden a los beta bloqueantes (Furness y Pollock, 2001).

En 1992, Victor McKusick, uno de los grandes científicos del campo de la Genética Humana, decía: «los laboratorios genómicos serán el lugar de formación de los científicos del futuro: nueva raza de científicos preparados para capitalizar tanto la revolución de la Genética Molecular como la revolución de la computación. Ellos serán los líderes de la Biología del siglo XXI».

La investigación biológica actual se puede hacer en sistemas *in vivo*, *in vitro* o, últimamente, *in silico*; es decir, electrónicamente, usando los ordenadores.

En este contexto hay que recordar que el conocimiento de las secuencias de bases del ADN y sus correspondientes proteínas va a ser de gran utilidad en la industria farmacéutica, de donde se deduce la importancia de la información contenida en las bases de datos de secuencias. Tales bases de datos se pueden generar por la secuenciación directa del ADN (lo que es el *Proyecto Genoma Humano*) o a través de las denominadas *etiquetas de secuencias expresadas* (EST, por *Expressed Sequence Tag*) establecidas inicialmente por el grupo de Venter (Adams *et al.*, 1991), pudiendo destacar dos compañías privadas Incyte (Palo Alto, California) y Human Genome Sciences (Rockville, Maryland) como pioneras. Por ejemplo, Incyte tiene una base de datos de más de 6,5 millones de EST. La aplicación de la Bioinformática permite identificar conjuntos de secuencias solapantes que

conducirán al descubrimiento de los genes completos que codifican para proteínas. Las EST son electrónicamente traducidas a putativas secuencias proteicas que, a su vez, son sometidas a análisis bioinformáticos de homología, permitiendo de esta manera descubrir nuevos genes cuya función era desconocida.

4.5. La terapia celular en la medicina regenerativa del futuro: utilización de células troncales

En la definición de Biotecnología antes indicada se hacía hincapié en que no se trata solamente de obtener productos a partir de células u organismos, sino que, en ocasiones, el objetivo de la técnica biotecnológica es obtener determinado tipo de células. Tal es el caso de las células troncales, de enorme valor para la Medicina regenerativa del futuro.

La utilización de la *terapia celular*, basada en la transferencia de células o tejidos a los tejidos u órganos dañados de un paciente, es una de las grandes esperanzas de la *Medicina regenerativa* del futuro. En este contexto, no cabe duda de que el uso de las *células troncales* para establecer cultivos de tejidos puede resultar fundamental. La prestigiosa revista *Science* (Bloom, 1999: 286, 2267) así lo consideraba al incluir esta realidad experimental como uno de los temas estrellas de la investigación del año 1999.

Aunque en el lenguaje coloquial está muy extendido el uso del término *célula madre*, es preferible usar el término *célula troncal* como traducción más correcta del original inglés *stem cell*. De hecho, la Real Academia de la Lengua, en su *Diccionario de la lengua española* (2001), incluye la acepción de *célula madre* como «la que se reproduce dando lugar a dos o más células hijas» mientras que incluye el término de *célula troncal* como «célula indiferenciada que puede dar lugar a distintos tipos de tejidos...». Por su parte, en el *Vocabulario científico* de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1996) se incluye el término *célula tronco* como sinónimo de *célula pluripotencial* o *célula pluripotente*, pero no incluye *célula madre*.

El establecimiento de cultivos celulares de tejidos humanos en el laboratorio es a veces difícil y, en determinados casos, incluso, impo-

sible al día de hoy. Por ello, desde el punto de vista clínico sería innegable el avance que supondría la posibilidad de poner a punto técnicas que permitieran obtener en el laboratorio cualquier tipo de cultivos de tejidos y, acaso, de órganos.

En este contexto, no cabe duda de que el uso de las células troncales puede resultar fundamental. Por *célula troncal* se entiende *cualquier célula que tiene la doble capacidad de dividirse ilimitadamente y de dar lugar a diferentes tipos de células especializadas*. De acuerdo con esta segunda capacidad, las células troncales pueden ser totipotentes, pluripotentes y multipotentes, en razón a su mayor o menor versatilidad o potencialidad, tal como se definen a continuación:

- *Célula totipotente*: célula troncal que tiene la capacidad de diferenciarse en el embrión y en tejidos y membranas extraembrionarias. Las células totipotentes contribuyen a todos los tipos celulares de un organismo adulto. La *totipotencia* es la capacidad funcional de una célula de dar lugar a un individuo completo tras un proceso de desarrollo normal. Las células totipotentes de un embrión muy temprano tienen la capacidad de diferenciarse en membranas y tejidos extraembrionarios, en el embrión y en todos los tejidos y órganos postembrionarios. Parece ser que en el embrión humano solamente son totipotentes los blastómeros hasta el estadio de mórula de 16 células.
- *Célula pluripotente*: célula troncal presente en los estadios tempranos del desarrollo embrionario que puede generar todos los tipos de células en el feto y en el adulto y es capaz de autorrenovación. Las células pluripotentes, sin embargo, no son capaces, en principio, de desarrollarse en un organismo completo. La *pluripotencia* es la capacidad funcional de una célula de dar lugar a varios linajes celulares o tejidos diferentes. Las células troncales embrionarias (células ES) presentes en la masa celular interna del blastocisto humano son pluripotentes, pero no totipotentes, es decir, pueden originar distintos tejidos u órganos pero no dar lugar al desarrollo completo de un embrión porque no pueden producir las membranas y tejidos extraembrionarios necesarios para el proceso de gestación.
- *Célula multipotente*: célula troncal presente en los tejidos u órga-

nos adultos que tiene una capacidad limitada de reactivar su programa genético como respuesta a determinados estímulos que le permiten dar lugar a algunos, pero no todos, los linajes celulares diferenciados. La *multipotencia* es la capacidad funcional de una célula de dar lugar a alguno, pero no todos, los linajes celulares. Algunas células troncales presentes en tejidos u órganos adultos son multipotentes. A veces se utiliza el término *plasticidad* como equivalente a multipotencia.

Hay varias clases de células troncales (*embrionarias, germinales embrionarias, adultas*) cuya eficacia en el establecimiento de cultivos de tejidos en el laboratorio y sus valoraciones éticas y jurídicas son diferentes. La controversia del momento está basada en la contraposición de la posible utilización de las células troncales adultas frente a las células troncales pluripotentes embrionarias por los problemas éticos y jurídicos que éstas presentan.

Las células troncales embrionarias pueden obtenerse de cuatro fuentes: 1) de la masa celular interna (MCI) de embriones (blastocistos) producidos por fecundación in vitro (FIV) con el único propósito de obtener cultivos de tejidos; 2) de la MCI de *embriones sobrantes* de programas de FIV; 3) de la MCI de *embriones somáticos* obtenidos por técnicas de clonación por transferencia de núcleos; 4) a las tres fuentes anteriores habría que añadir en un futuro quizá inmediato una posible cuarta fuente: los *embriones partenogénéticos*.

En el momento de redactar este trabajo (octubre de 2003) se encuentra en trámite parlamentario de urgencia el Proyecto de Ley por la que se modifica la Ley 35/1988, de 22 de noviembre, sobre *Técnicas de Reproducción Asistida* en la que se aborda la cuestión de los embriones sobrantes. Como he tenido ocasión de escribir en otro lugar (Lacadena, 2003), el Gobierno español ha tratado de romper el nudo gordiano de la cuestión (qué hacer con los muchos miles —¿100.000?— de embriones sobrantes que hay en España) tomando una decisión salomónica que podría considerarse como *una amarga victoria o una dulce derrota*, según la perspectiva desde la que se enjuicie: a unos les parece mucho y a otros les parece poco.

Erwin Chargaff, a quien se ha mencionado anteriormente, se manifestó en contra de la manipulación de embriones diciendo:

[...] ¿quién podrá impedir la producción industrial de embriones humanos? ¿quién parará la emergencia de una poderosa industria biotecnológica? Veo en el horizonte un gigantesco matadero, un Auschwitz molecular [su madre murió en ese campo de exterminio nazi] en el que enzimas y valiosas hormonas serán extraídas como si de dientes de oro se tratara.

No me gusta ser tremendista, pero no hay duda de que afirmaciones como las que él hizo nos tienen que interpelar.

Aquí, una vez más, no me resisto a incluir las palabras proféticas que en 1967, hace más de un tercio de siglo, escribiera el premio Nobel Marshall W. Nirenberg, en relación con la terapia génica, pero extensible también a cualquier otra técnica de manipulación genética humana:

[...] el hombre puede ser capaz de programar sus propias células con información sintética mucho antes de que pueda valorar adecuadamente las consecuencias a largo plazo de tales alteraciones, mucho antes de que sea capaz de formular metas y mucho antes de que pueda resolver los problemas éticos y morales que surgirán. Cuando el hombre llegue a ser capaz de dar instrucciones a sus propias células deberá contenerse de hacerlo hasta que tenga la clarividencia suficiente para usar su conocimiento en beneficio de la humanidad.

Bibliografía

- ADAMS, M. D. *et al.* (1991): «Complementary DNA sequencing: Expressed sequence tags and Human Genome Project», *Science*, 252, págs. 1651-1656.
- BAILEY, D. S. *et al.* (1999): «Pharmacogenomics—it's not just pharmacogenetics», *Curr. Opin. Biotech.*, 9, pág. 595.
- BLOOM, F. E. (1999): Editorial, *Science*, 286, 17 de diciembre, pág. 2267.
- COLLINS, F. *et al.* (2001): «Initial sequencing and analysis of the human genome», *Nature*, 409, págs. 860-921.
- FURNESS, M. y K. POLLOCK (2001): «Industry and the human genome», en J. F. Mattei (COORD.): *Ethical eye: the human genome*, Council of Europe Publishing, págs. 85-107.
- GARCÍA OLMEDO, F. (1998): *La tercera revolución verde. Plantas con luz propia*, Editorial Debate, 209 págs.

- JAMES, C. (2003): «Global status of commercialized transgenic crops: 2002», *ISAAA Briefs*, núm. 27: Preview.
- KARLIN, S. y C. BURGE (1995): «Dinucleotide relative abundance extremes: a genomic signature», *Trends in Genetics*, 11, págs. 283-290.
- LACADENA, J. R. (1998-2003): web sobre *Genética y Bioética* del Centro Nacional de Información y Comunicación Educativa (CNICE) del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, <http://www.cnice.mecd.es/tematicas/genetica>.
- (2000a): «Genética, Sociedad y Bioética», en M. Palacios (coord.): *Bioética 2000*, Oviedo, Ediciones Nobel, págs. 251-264.
- (2000b): «Embriones humanos y cultivos de tejidos: reflexiones científicas, éticas y jurídicas», *Rev Der Gen H*, 12, págs. 191-212.
- (2001a): «Investigación genética y Bioética», en M. Palacios (ed.): *Ponencias I Congreso Mundial de Bioética (20-24 de junio de 2000)*, págs. 221-237.
- (2001b): «An ethical code for human genetics», en J. F. Mattei (coord.): *The human genome*, Col. Ethical eye, Council of Europe Publishing, págs. 29-55 (traducido al español por Editorial Complutense, 2002).
- (2001c): «Células troncales humanas: ciencia y ética», *Moralia*, 24, págs. 425-468.
- (2002a): «Células troncales embrionarias humanas: Fines y medios», en J. J. Ferrer y J. L. Martínez (eds.): *Bioética: un diálogo plural (Homenaje a Javier Gafo Fernández S. J.)*, Madrid, Publ. Univ. Pontificia Comillas, págs. 117-152.
- (2002b): «Plantas y alimentos transgénicos», en J. Gafo (ed.): *Aspectos científicos, jurídicos y éticos de los transgénicos*, Col. Dilemas Éticos de la Medicina actual, vol. 14, págs. 15-47, Madrid, Publ. Univ. Pontificia Comillas.
- (2002c): «Genética y Bioética», Col. Cátedra de Bioética, Universidad Pontificia Comillas, Madrid, Editorial Desclée de Brouwer, Bilbao, 719 págs.
- (2003a): «Cultivos transgénicos: la guerra y las batallas», *MEDA*, 11, págs. 46-49.
- (2003b): «Un comentario sobre el Proyecto de Ley del Gobierno español por la que se modifica la Ley 35/1988, de 22 de noviembre, sobre Técnicas de Reproducción Asistida», en J. L. Martínez (ed.): *Células troncales: Aspectos científicos, éticos y jurídicos*, Col. Dilemas Éticos de la Medicina Actual, vol. 17, Univ. Pontificia Comillas, Madrid, Editorial Desclée de Brouwer, Bilbao.
- McKUSICK, V. (1992): «The Human Genome Project: Plans, status, and applications in Biology», en G. J. Annas y S. Elias: *Gene mapping. Using law and ethics as guides*, Oxford University Press, págs. 18-42.
- MORENO, M. (1999): «Argumentos, metáforas y retórica en el debate sobre los alimentos transgénicos», *Comunicación presentada en las Jornadas sobre Ciencia, Tecnología y Valores*, Santa Cruz de Tenerife, 5-9 de abril de 1999.
- NIRENBERG, M. W. (1967): «Will society be prepared?», *Science*, 157, págs. 425-633.
- RAE [REAL ACADEMIA ESPAÑOLA] (2001): *Diccionario de la lengua española*, 22.^a ed., Madrid, Espasa Calpe.
- REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES (1996): *Vocabulario científico y técnico*, 3.^a ed., Madrid, Espasa Calpe.
- VENTER, C. J. *et al.* (2001): «The sequence of the human genome», *Science*, 291, páginas 1304-1351.

SEGUNDA PARTE

**LA RESPUESTA CIENTÍFICA
ANTE LAS EMERGENCIAS Y CATÁSTROFES**

5. El Síndrome del Aceite Tóxico (SAT)

Manuel Posada de la Paz

Centro de Investigaciones sobre el Síndrome del Aceite Tóxico
y Enfermedades Raras (CISATER)

5.1. Descripción de los hechos fundamentales de la epidemia. Introducción

En el año 1981 apareció en España una nueva enfermedad en forma de brote epidémico de grandes proporciones (Tabuenca, 1981: 2, 567-568). Más tarde, dicha enfermedad fue denominada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) *Síndrome del Aceite Tóxico* (SAT) (Grandjean y Tarkowsky, 1984: 3-16). La epidemia apareció originalmente en Madrid, pero rápidamente se extendió por todo el centro y el noroeste de España (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 231-247).

Como resultado de esta epidemia, el Sistema Nacional de la Salud tuvo que enfrentarse a uno de los problemas de salud pública más críticos de este final de siglo en nuestro país. Aunque algunas características clínicas del SAT presentan ciertas semejanzas con otras enfermedades, sobre todo con aquellas que cursan con fibrosis dérmica y lesión vascular, como la esclerodermia y la enfermedad injerto-contrahuésped, nunca antes se había descrito en la literatura científica una entidad clínica de estas características, cuyos efectos principalmente en los afectados, pero también sentidos por la sociedad y la comunidad médica y científica, aún hoy, siguen siendo dramáticos debido a los elevados costes económicos, sociales y sobre todo a la gran carga de sufrimiento que ha producido esta intoxicación en las familias. Más de veinte años después de su aparición aún permanecen sin contestar algunas de las preguntas más relevantes de los diversos aspectos de esta epidemia (Gelpi *et al.*, 2002: 110[5], 457-464).

La aparición del SAT se asoció al consumo de un aceite de colza desnaturalizado con anilina al 2%, que había sido importado para

usos industriales y desviado con posterioridad al consumo humano previa refinación. El aceite fue distribuido a través de las redes de venta ambulante ilegales, existentes por aquel entonces en nuestro país, y vendido posteriormente como aceite de oliva refinado a bajo precio (Posada Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247; Posada, 1997: 64-88).

Lamentablemente, no ha sido la única vez que prácticas industriales orientadas a adulterar aceites para luego desviarlos al consumo humano, con la intención de obtener más beneficios, han provocado o bien una epidemia, o bien, riesgos para la población.

En Marruecos en 1959 se adulteró intencionadamente un aceite comestible con ortho-cresil fosfato procedente de un aceite utilizado en motores de aviación (Smith y Spalding, 1959: 1019-1021) y en Japón en 1968 se produjo una contaminación accidental de un aceite comestible procedente del arroz con policlorados bifenilos (PCB), sustancia contenida en el aceite térmico que servía para desodorizar el aceite, tras producirse una filtración desde los serpentines del desodorizador a la zona del equipo donde estaba el aceite comestible (Kuratsune, Yoshimura y Matsuzaka, 1972: 1, 119-128).

Recientemente en Bélgica, los piensos para el alimento de animales de granja fueron adulterados con aceites minerales con alto contenido en dioxinas y policlorados bifenilos (PCB), exponiendo a toda la población que ingirió carne de animales alimentados con estos piensos a un riesgo potencial de patologías, entre las que se encuentra el riesgo potencial de cáncer (Larebeke *et al.*, 2001: 109 [3], 265-273).

El SAT ha supuesto un verdadero reto para toda la sociedad española y en particular para los profesionales dedicados a la investigación en salud pública y toxicología. Entre los aspectos más destacables se pueden señalar: el manejo de una situación de crisis de salud pública, con gran número de enfermos y fallecidos (Posada, 2002: 12 [1], 1-6), el estudio de la verdadera etiología de la epidemia (Doll, 1985: 1), el análisis químico de los aceites en busca de sustancias previamente desconocidas (Hill, 1995: 28 [2], 259-264), el estudio de una enfermedad desconocida (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124), el seguimiento tanto de la mortalidad como de la evolución clínica de la enfermedad (Abaitua *et al.*, 1998: 27, 1057-1063; Abaitua y Posada, 1992: 27-38) y la interpretación de los propios mecanismos patogénicos.

El estudio detallado de todos y cada uno estos aspectos han supuesto un trabajo de cooperación internacional de alto nivel científico, que siempre ha estado dirigido y respaldado desde la Oficina Europea de la OMS (Gelpi *et al.*, 2002: 110 [5], 457-464). Además de las publicaciones relacionadas directa o indirectamente con esta labor de coordinación internacional, la OMS publicó dos monografías sobre esta intoxicación (World Health Organization, 1984, 1992) y se encuentra en la imprenta la tercera de estas monografías donde se dan cuenta de los resultados obtenidos hasta la actualidad.

5.2. Generación de la hipótesis causal

El 1 de mayo de 1981 aparece el primer caso de esta enfermedad, identificado como caso índice. Un niño de ocho años de edad, ingresa ya fallecido en el antiguo Hospital del Rey de Madrid (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247), después de haber presentado una insuficiencia respiratoria aguda. Durante los días siguientes, otros cinco miembros de la misma familia acudieron al mismo hospital con un cuadro idéntico caracterizado por: infiltrado pulmonar intersticial, dolor de cabeza, astenia, prurito en el cuero cabelludo y fiebre moderada.

Inicialmente, todos estos enfermos fueron diagnosticados de neumonía atípica y tratados con antibióticos del tipo eritromicina o tetraciclinas. En pocos días, el número de pacientes admitidos en los hospitales de Madrid y ciertas provincias del centro y noroeste de España aumentó dramáticamente (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247).

Desde los primeros momentos de la epidemia, el cuadro clínico condujo a la búsqueda de un agente infeccioso como causa de la enfermedad. En los primeros días del brote dos hechos hicieron que se prestara más atención a la hipótesis infecciosa: un aislamiento de *Legionella gormanii* en el esputo de un paciente, y la aparente identificación de una estructura morfológica compatible con *Mycoplasma pneumoniae* en el pulmón de un paciente fallecido. Las presiones originadas desde las áreas de aquellas especialidades médicas más afines a las primeras manifestaciones clínicas de la enfermedad, políticas, y sociales para encontrar una

solución rápida a la epidemia y la falta de una autoridad científica reconocida en el campo de la salud pública y generadora de confianza para manejar este tipo de problemas, llevaron a las autoridades sanitarias a desviar los escasos recursos epidemiológicos, por aquel entonces, existentes en nuestro país a investigar un posible origen infeccioso.

Bajo esta hipótesis de trabajo, un grupo de médicos de un hospital pediátrico de Madrid comparó la evolución clínica de unos niños enfermos del SAT tratados con eritromicina frente a otros que recibieron otro tipo de tratamientos no antibióticos. Los resultados mostraron que la evolución de esta misteriosa enfermedad era similar en ambos grupos. Por otro lado, la presentación del cuadro clínico en los niños hizo pensar a cierto grupo de pediatras que se trataba de una enfermedad de probable origen tóxico, ya que según sus primeras observaciones predominaba en los niños la presencia de exantema cutáneo en lugar del infiltrado pulmonar. Para estudiar esta posible hipótesis se desarrolló un cuestionario sobre alimentos consumidos en los últimos días, en el que se incluían preguntas inespecíficas sobre el consumo de aceite.

Al mismo tiempo, el doctor Juan Manuel Tabuenca, pediatra del Hospital Niño Jesús de Madrid, observó que eran más frecuentes los casos de esta enfermedad en los niños que en los bebés por debajo de seis meses de edad. La aparición en dicho hospital de un niño menor de esta edad con este cuadro clínico hizo pensar al doctor Tabuenca en la exposición a algún alimento específico añadido a la dieta del niño. En un interrogatorio exhaustivo realizado a la madre y abuela del niño, esta última relató que había agregado a la papilla una variedad de aceite de cocinar que había comprado en una botella de cinco litros de plástico y sin etiqueta (Tabuenca, 1984: 39-46).

Ante esta observación, se entrevistó a las madres de niños ingresados en el hospital con este cuadro clínico, comparando su alimentación con la de los niños ingresados en las mismas fechas y en el mismo hospital por traumatismos y/o cirugía programada. Este primer estudio caso-control mostró una relación estrecha entre el consumo de un aceite vendido en botellas de plástico de cinco litros, sin etiqueta y la enfermedad, hasta entonces conocida como *neumonía atípica* (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247).

Este descubrimiento hizo que varios aceites recogidos a las familias de los niños ingresados así como otros comprados en mercadillos de las áreas afectadas fueran enviados al Laboratorio Central de Aduanas donde se pudo identificar que el aceite que se estaba consumiendo en ciertas áreas de Madrid procedía de un aceite de colza desnaturalizado con anilina al 2% que había entrado por la aduana para ser utilizado con fines industriales (Grandjean y Tarkowsky, 1984: 3-16). El 10 de junio de 1981, cuarenta días después del inicio del brote, y en un esfuerzo por prevenir una mayor extensión del mismo, el Ministerio de Sanidad y Consumo (MSC) emitió una alerta sanitaria avisando sobre la relación entre este tipo de aceite y la epidemia que parte de la población de España estaba padeciendo.

5.3 Definición de caso

La definición de caso en el SAT ha sido objeto de controversia. Los primeros estudios epidemiológicos fueron realizados utilizando la información clínica de los primeros casos. Sin embargo, la definición oficial de caso se produjo meses después de haber empezado la epidemia. La ausencia de suficientes epidemiólogos en nuestro país hizo que la definición de caso partiera de una aproximación clínica y que se incluyera entre los criterios mayores uno relativo al consumo de aceite. Esto provocó que toda la investigación epidemiológica realizada durante los primeros meses de la epidemia fuera puesta bajo sospecha. Los criterios elaborados propiciaron la creación de un registro de pacientes llamado Censo Oficial de Afectados (COA). La primera versión de este censo fue publicada el 5 de octubre de 1981, es decir, cinco meses después del comienzo de la epidemia y fue elaborado a partir de los archivos de pacientes ingresados en los hospitales y atendidos en los centros sanitarios bajo sospecha de la llamada neumonía atípica. Por lo tanto, en la mayoría de las situaciones, los casos incluidos en este primer censo lo fueron sin que se les hubiera aplicado los criterios de definición de caso. Es a partir de finales de 1981, y sobre todo de 1982, cuando se empieza a tener constancia de que dichos criterios se aplican de forma sistemática, sobre todo en los casos de dudoso diagnóstico. A partir de mayo de 1997, la OMS y el Centro de Investigación sobre el Síndro-

me del Aceite Tóxico (CISAT), tras una exhaustiva revisión del COA, determinaron que los pacientes incluidos en el registro heredado del Plan Nacional para el Síndrome Tóxico (PNST) de octubre de 1985 (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247) era el único que contenía una información fidedigna para temas exclusivamente de investigación epidemiológica y clínica.

5.4. Factores de riesgo

La investigación de los factores de riesgo en el desarrollo del SAT ha sido muy compleja. El consumo de aceite es algo muy arraigado en nuestra cultura ya que se utiliza como condimento habitual en casi todas las comidas. Esto supone una dificultad añadida al cálculo de la cantidad ingerida por persona, que sólo puede llegar a estimarse a través de métodos indirectos, y asumiendo que el consumo individual se aproxima al promedio que se obtiene de dividir, entre el número de personas que componen la familia, la cantidad de aceite comprado en un periodo de tiempo fijo. A esta dificultad hay que añadir la derivada de la confusión creada por las autoridades sanitarias, en la llamada operación canje de aceite, que consistió en un intercambio de aceite comestible, ofrecido desde la Administración, por el supuesto aceite tóxico que todas las familias conservaban en sus casas, con el fin de evitar que éste se siguiera consumiendo. En esta operación se produjeron almacenamientos masivos de aceite sin control ni identificadores adecuados procedentes de familias de enfermos y de no enfermos, que dificultó y retrasó enormemente la investigación.

Los casos se agruparon por familias, debido, sin ninguna duda, a que este tipo de alimento se consume de forma principal en el seno familiar. Otros colectivos, como comedores escolares y cuarteles, que son típicamente grupos de alto riesgo para enfermedades infecciosas, no se vieron afectados, excepto en algunos casos aislados (comedor del cuartel del ejército localizado en Navacerrada y diversos conventos de monjas) en los que sí se constató que el aceite presuntamente tóxico había sido ingerido por la mayoría del grupo.

El porcentaje de mujeres afectadas fue mayor que el de hombres en todos los grupos de edad, aunque esta diferencia fue más acusada en las edades medias de la vida. A pesar de ello, no está claro si

esta diferente afectación de género se debía a la existencia de un factor de riesgo distinto o a una mayor exposición de las mujeres en los hogares familiares, es decir, un mayor consumo de aceite.

Los primeros enfermos mostraban más gravedad que aquellos que debutaron con la enfermedad pasado el primer mes de la epidemia (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247). Todas las informaciones apuntan a que el aceite vendido en la fase más temprana de la epidemia era químicamente diferente al que se vendió pasados unos días (Gelpi *et al.*, 2002: 110 [5], 457-464).

5.5. Resumen del cuadro clínico del SAT

El SAT se desarrolló en tres fases clínicas: aguda, intermedia y crónica. La diversidad de manifestaciones en cada una de estas fases, así como la capacidad evolutiva de esta nueva enfermedad, produjo una gran confusión entre los profesionales (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124; Kilbourne *et al.*, 1983: 309 [23], 1408-1414; *Lancet*, 1981 y 1982: 2 [8300], 697-702).

5.5.1. La fase aguda

La fase aguda se caracterizó por un edema pulmonar no cardiogénico y disnea. La radiografía de tórax mostraba un patrón intersticio-alveolar con derrame pleural asociado o sin él. Otros hallazgos de esta fase fueron: mialgias, eosinofilia periférica, exantema, fiebre moderada, prurito en cuero cabelludo y, en un porcentaje bajo de casos, encefalopatía aguda. El final de la fase aguda estuvo marcado por la presencia de mialgias severas y calambres. Esta fase se prolongó durante aproximadamente dos meses, dando paso en muchos de los afectados a la fase intermedia. Más de 10.000 pacientes ingresaron en los hospitales de la red sanitaria nacional durante los primeros meses de la epidemia.

5.5.2. La fase intermedia

Después de los primeros dos meses de epidemia la enfermedad entró en un estadio, que se reconoció como fase intermedia y cuya duración aproximada fue también de dos meses. Esta fase se caracterizó por un cuadro multisistémico y cambiante donde predominaron, entre otras manifestaciones: hormigueos y parestesias en extre-

midades, con una distribución parcheada, mialgias intensas, disfagia, hipertensión pulmonar, fenómenos tromboembólicos de grandes vasos, marcada pérdida de peso, colestasis hepática e induración de la piel seguida de infiltración superficial de la misma. Otros hallazgos de laboratorio fueron eosinofilia, hiperglucemia, elevaciones de triglicéridos y colesterol y plaquetopenia, en medio de la cual algunos pacientes desarrollaron coagulación intravascular diseminada (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124).

5.5.3. La fase crónica

Aproximadamente, el 59% de los individuos afectados desarrollaron un cuadro clínico, cuyas características tendían a perdurar en el tiempo, por lo que se le denominó a este periodo como fase crónica. Las características principales fueron: hepatopatía, neuropatía sensitivo-motora, contracturas articulares, esclerodermia, hipertensión pulmonar, actividad muscular involuntaria del tipo de calambres intensos, mioclonias y temblores (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124).

5.5.4. Tratamientos empleados

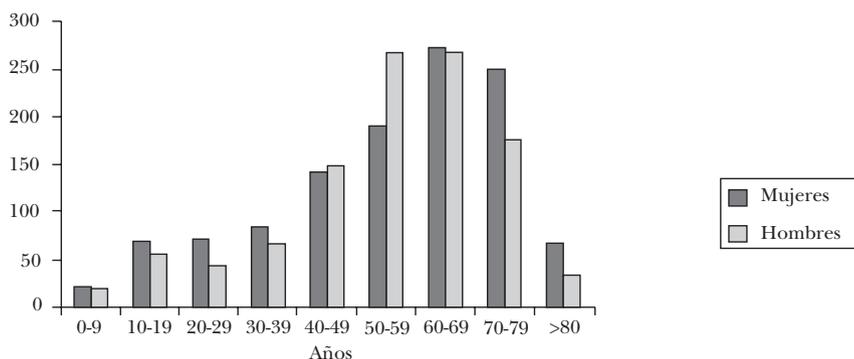
Durante los primeros meses de la epidemia se emplearon muchos tratamientos sin aparente éxito. Se administraron dosis altas de esteroides en la fase aguda para controlar el distrés respiratorio, antioxidantes, inmunosupresores del tipo de los derivados esteroideos o la azatioprina para las manifestaciones crónicas y anti-inflamatorios no esteroideos para los dolores articulares y musculares, pero ninguno de ellos se mostró realmente beneficioso para frenar la evolución de la enfermedad o acortar su duración. Sin embargo, la rehabilitación física demostró ser la única arma terapéutica eficaz en la fase crónica, en particular para los pacientes con contracturas articulares y neuropatía severa (Abaitua y Posada, 1992: 27-38). El tratamiento sintomático analgésico es uno de los más utilizados en estos enfermos, como única acción posible para aliviar los síntomas de dolores musculares y articulares.

5.5.5. Mortalidad

El primer mes de la epidemia fue dramático para todas las familias de afectados. Decenas de pacientes fallecieron rápidamente por causa directa de esta enfermedad. Apenas transcurrido año y medio

desde el comienzo del brote, cerca de 400 personas habían muerto y en la actualidad se han recogido más de 2.500 casos fallecidos por todas las causas (Abaitua *et al.*, 1998: 27, 1057-1063) (gráfico 5.1).

GRÁFICO 5.1: Distribución de fallecidos de SAT por edad y sexo



Según las informaciones clínicas de los primeros momentos, atribuían al edema pulmonar y a la consiguiente insuficiencia respiratoria aguda las muertes ocurridas durante la fase aguda. La fase intermedia provocó muertes por hipertensión pulmonar, cuadros de coagulación intravascular diseminada y trombosis de grandes vasos. Finalmente, y durante la fase crónica, la gran afectación neuromuscular arrastró a algunos de los pacientes a una devastación muscular con insuficiencia respiratoria restrictiva que les condujo al fallecimiento (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124).

5.5.6. Anatomía patológica

Los hallazgos histológicos más importantes fueron las lesiones vasculares de la íntima, caracterizadas por edema endotelial, infiltración mononuclear, seguida de oclusión vascular por proliferación de la íntima, trombosis y fibrosis generalizada en casi todos los órganos (Martínez Tello *et al.*, 1982: 397 [3]: 261-285; Ricoy *et al.*, 1983: 106 [4], 817-835).

Sólo el sistema nervioso central se vio libre de esta lesión vascular y curiosamente el pulmón, que presentó una gran afectación du-

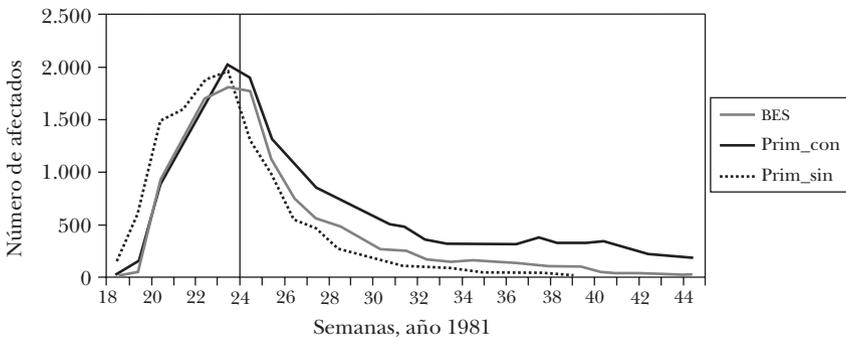
rante la fase aguda, no desarrolló la fibrosis que predominaba en otros órganos durante el resto de las fases clínicas.

5.6. Epidemiología descriptiva

5.6.1. Tiempo

La curva epidémica de la enfermedad (gráfico 5.2), cuyo comienzo se instaure en mayo de 1981, tuvo un carácter monofásico simulando una epidemia de fuente única. El comienzo del descenso de la curva coincidió con el anuncio público de la relación entre la enfermedad y el consumo de aceite de venta ambulante, hecho que ocurrió antes de la retirada de este aceite del mercado en el mes de junio de ese mismo año. Aunque se desconoce la influencia real, tanto del anuncio como de la retirada del aceite, en el cese de la epidemia, datos recientemente conocidos demuestran que la concentración de los marcadores de toxicidad de los aceites comenzaron a disminuir durante el primer mes de la epidemia y siempre previos a toda sospecha científica de la posible relación causal. Este dato se ha justificado por una o ambas de estas circunstancias: 1) intervención de los industriales aceiteros sobre la concentración de los compuestos químicos mediante la dilución de los mismos con otros aceites no tóxicos; 2) que una única partida de aceite, de

GRÁFICO 5.2: Curva epidémica



Fuente: Datos del registro oficial de casos.

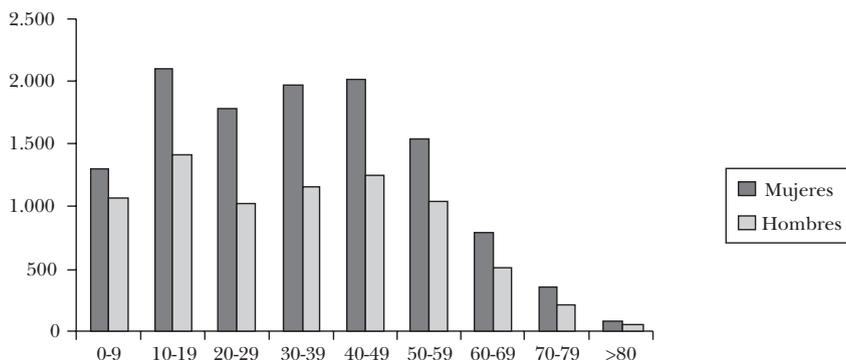
entre todos los aceites desnaturalizados con anilina que entraron en España, era la que realmente llevaba la carga tóxica que provocó la epidemia.

Los datos actuales apuntan a que ambas circunstancias se dieron en los primeros momentos de la epidemia durante el año 1981 y éstas fueron las causas reales de la disminución de casos antes de que se produjera el anuncio oficial mediante el mecanismo de alerta sanitaria (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247).

5.6.2. Población afectada

Las personas afectadas eran por lo general de todas las edades (gráfico 5.3), si bien las edades medias de la vida y sobre todo las mujeres se vieron afectadas en una mayor proporción. El número de casos de menores de un año fue escaso y tampoco las personas de edad avanzada fueron muy afectadas en número ni en gravedad.

GRÁFICO 5.3: Distribución de casos por sexo y edad

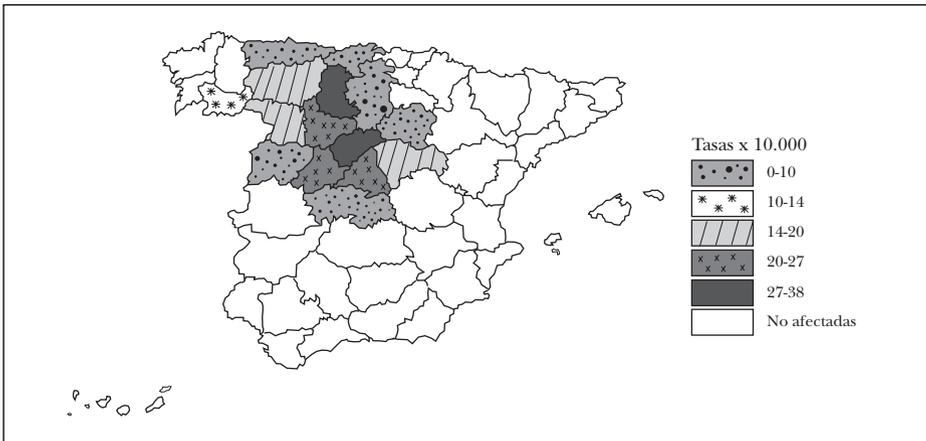


Casi exclusivamente las personas de nivel socioeconómico medio-bajo fueron afectadas por la enfermedad y en su mayor parte eran residentes en zonas periféricas de las grandes ciudades como Madrid o pueblos de zonas rurales donde la venta ambulante era un hecho frecuente en aquella época. Se dieron casos aislados de familias afectadas de un estrato socio-económico alto, pero en estos casos siempre se pudo constatar que el consumo de este tipo de aceite había sido introducido en la casa por medio del personal de servicio que se encargaba de las compras.

5.6.3. Lugar

La distribución geográfica de la epidemia se ajustó a las ciudades y localidades cercanas a la red de carreteras secundarias de la zona centro y noroeste de España (mapa 5.1), sin duda como consecuencia de la forma de distribución de este aceite mediante vendedores ambulantes que se desplazaban por los mercadillos locales en sus propios medios de transporte. Las características del producto transmisor del tóxico, un aceite de venta ambulante con precios más económicos que los de los aceites comestibles autorizados, influyó en que esta epidemia afectara preferentemente a las clases con poder adquisitivo medio y bajo, y tuviera una forma de presentación predominantemente familiar.

MAPA 5.1: Tasas ajustadas de afectación por el SAT



5.7. Aceites implicados. Búsqueda de la etiología del SAT

Durante los primeros meses de la epidemia se llevaron a cabo varios estudios caso-control que pusieron en evidencia una fuerte asociación entre el consumo del aceite de venta ambulante en garrafas de cinco litros, sin registro sanitario, y la enfermedad. Solamente uno de estos estudios fue elaborado previamente a presentarse oficialmente el anuncio público de la asociación entre el aceite y la enfermedad (Posada, Philen y Abaitua, 2001: 23, 2, 231-247). Esta situación hizo que se invocara la influencia potencial del llamado *sesgo del recuerdo*, en las estimaciones del riesgo de los estudios caso-

control realizados con posterioridad. Sin embargo, esta posibilidad parecía poco probable que influyera en algunas experiencias que ocurrieron espontáneamente en algunos conventos de monjas y que se comportaban como un estudio *cuasi-experimental natural* (Díaz *et al.*, 1987: 125 [5], 907-911). Por otra parte, los estudios descriptivos realizados sobre: *a*) casos esporádicos de zonas geográficas alejadas de la franja de influencia de la venta de este aceite tóxico; *b*) series de casos precoces, entendiendo por éstos aquellos enfermos con fechas de comienzo de la enfermedad potencialmente previas a las de distribución de la primera partida de aceite tóxico; *c*) casos tardíos de la enfermedad alejados de todo el brote epidémico entre seis meses o un año, fueron evidencias parciales que no se oponían a una relación causal con el aceite.

Cuatro años después del comienzo de la epidemia se realizó un estudio caso-control que puso en evidencia una relación dosis respuesta entre la cantidad de un compuesto químico derivado de la anilina (oleil-anilida) y el riesgo de contraer la enfermedad (Kilbourne *et al.*, 1988: 127 [6], 1210-1227). Este estudio, limitado a dos localidades de la provincia de Madrid, fue replicado dos años después por otro con el mismo diseño, pero con un ámbito geográfico que comprendía toda el área epidémica (Posada *et al.*, 1994: 5 [4], 404-409). En ambos estudios se demostraba la existencia de otros cerca de 16 derivados de anilidas de ácidos grasos (compuestos de la misma familia de la oleil-anilida).

Los trabajos epidemiológicos llevados a cabo durante los años 80 consiguieron recuperar y organizar las muestras de tejidos, sueros y aceites. Este punto supuso un impulso a la investigación orientada al estudio de la patogenia. También se pudo establecer todo el circuito de las industrias que manejaron este aceite tóxico y separar algunas de las empresas implicadas del resto de empresas fraudulentas, que vendían aceite de venta ambulante y sin registro sanitario pero a las que no se les podía atribuir una relación directa con la enfermedad. Análisis de 10 tipos de envases de aceites procedentes de diferentes compañías demostraron la presencia de un gran mercado fraudulento de aceite de colza no desnaturalizado y, por lo tanto, no tóxico, que se mezclaba con colza desnaturalizada y tóxica. Solamente un tipo de envase atribuido a una única empresa contenía el tipo de aceite que causó este desastre (Posada *et al.*, 1991: 29 [12], 797-803).

Aunque se había descrito una nueva familia de compuestos químicos diferentes a las oleil-anilidas en los primeros años de la epidemia, no fue hasta 1993 (Hill, 1995: 28 [2], 259-264) cuando, en un estudio realizado en colaboración entre el Center for Diseases Control (CDC) y el CISAT, se pudo demostrar que la presencia de esta nueva familia de compuestos químicos derivados del propanodiol podrían tener mucha mayor importancia desde el punto de vista de agente marcador y causal de la epidemia. La existencia de alguno de estos compuestos en los aceites de familias caso suponía un mayor riesgo para contraer la enfermedad que las oleil-anilidas descritas con anterioridad (Posada *et al.*, 1999: 10 [2], 130-134). Además, estos compuestos sólo estaban presentes en el circuito de industrias que manejaron el aceite de colza desnaturalizado con anilina al 2% y que se relacionaron con la presencia de enfermos.

5.8. Patogenia

Los estudios realizados hasta la fecha han demostrado que existe abundante información experimental para poder implicar al sistema inmune en las lesiones del SAT. En la fase aguda, los depósitos de productos tóxicos de los eosinófilos alrededor de las lesiones pulmonares, la implicación de los linfocitos Th2 en las diversas lesiones (Pozo, 1997: 118 [1], 61-70), los factores humorales como la elevada concentración del receptor soluble de la Il-2 en el suero de los pacientes y la presencia del HLA DR2 (Cardaba *et al.*, 2000: 55 [2], 110-117) como factor que predispone a una mala evolución de la enfermedad, entre otros, son los hallazgos más importantes que parecen sugerir que se trata de una enfermedad con un mecanismo inmunológico y con características similares a las enfermedades autoinmunes.

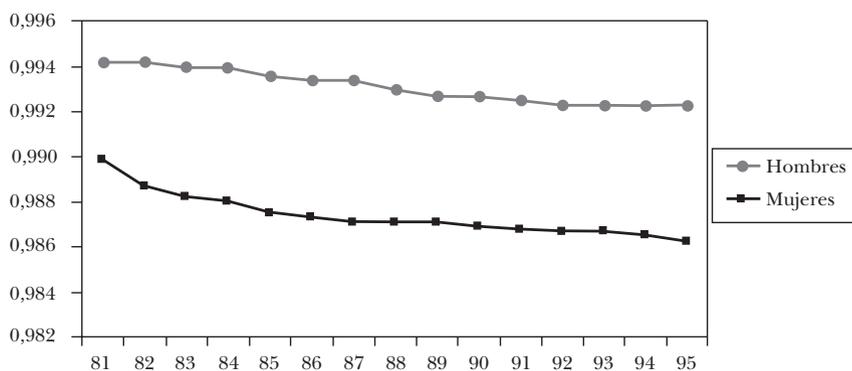
Por otro lado, la presencia de mutaciones en el gen de la N-acetil transferasa-2 (García Ladona, 2001: 109, 369-375), enzima que se encarga de detoxificar xenobióticos mediante el proceso de acetilación, dentro de la que se denomina fase II del metabolismo hepático, pone en evidencia un factor de riesgo añadido para sospechar que en el proceso de desarrollar la enfermedad han influido por desigual factores metabólicos e inmunológicos, lo que explica la varia-

bilidad de afectación de la cohorte de pacientes frente a una misma exposición.

5.9. Evolución de la enfermedad

A lo largo de los años la evolución de la mortalidad en el total de la cohorte pasó de ser muy elevada durante el primer año, a estar por debajo de lo esperado a partir del tercer año de haberse producido el brote epidémico (Abaitua *et al.*, 1998: 27, 1057-1063). Este descenso se producía a expensas de los grupos de edad más avanzada, mientras que en el grupo de mujeres menores de 40 años se observaban cifras de mortalidad más altas de lo esperado debido a una mayor mortalidad por causas relacionadas con el SAT (gráfico 5.4).

GRÁFICO 5.4: Supervivencia de los afectados por el SAT menores de 40 años



El cuadro clínico actual de esta cohorte está caracterizado por una mala percepción del estado de salud, medida a través de cuestionarios específicos (Gómez de la Cámara *et al.*, 1998: 51 [10], 867-873), que se correlacionan bien con el mayor número de manifestaciones crónicas de la enfermedad, especialmente de carácter neurológico.

Trabajos más recientes han podido mostrar que los pacientes actualmente vivos todavía presentan datos objetivos de enfermedad neurológica y éstos se ponen de manifiesto cuando se usan métodos de diagnóstico adecuados (Posada *et al.*, 2003).

5.10. Estado actual de la investigación. Búsqueda de un modelo animal

Durante los últimos años el comité científico para el SAT, que dirige la OMS, ha desarrollado una actividad impulsora de la investigación básica orientada a la identificación del tóxico o tóxicos finalmente implicados en la enfermedad (Gelpi *et al.*, 2002: 110 [5], 457-464). Para ello, comenzó por incrementar el conocimiento de la naturaleza química de los aceites implicados, utilizando la tecnología de HPLC-MS-MS, tras una cuidadosa selección de muestras históricas. Este inmenso trabajo ha producido que en la actualidad se tengan identificadas todas las familias de derivados de la anilina en su reacción con los componentes básicos del aceite, así como su interrelación y su toxico cinética (Calaf, 2001: 73 [16], 3828-3837).

En paralelo se desarrolló una metodología para poder duplicar las condiciones de refinado del aceite original, teniendo como patrón de referencia el único aceite salido de la refinería mayoritariamente implicada en la intoxicación. Finalmente, este esfuerzo dio como resultado la replicación de un aceite de similares características químicas que el original causante de la intoxicación. Dicha reproducción se consiguió tanto en modelos a escala de laboratorio de investigación como a escala industrial (Ruiz-Méndez, 2001: 39/1, 91-96). Este hallazgo facilitó que se pudieran estandarizar las muestras de aceite que se iban a utilizar para los ensayos biológicos, tanto *in vitro* como *in vivo*.

Finalmente, se optó por un proceso de búsqueda sistemática de modelos animales para experimentación, utilizando los estándares de *Buenas Prácticas de Laboratorio Europeos*. Después de muchos ensayos en diferentes especies y cepas de algunas especies en particular, como los ratones, se están empezando a observar hallazgos muy importantes en ciertos animales, que nos están permitiendo progresar en el estudio de la naturaleza intrínseca de las lesiones de esta enfermedad.

5.11. La situación socio-política favorecedora de la crisis

Esta epidemia surgió en un contexto socio-sanitario y político caracterizado por: 1) la vivencia todavía reciente en el año 1981 de un atentado contra la democracia, que hacía suponer un gobierno dé-

bil; 2) la falta de una transformación y modernización adecuada de las instituciones gestoras de la sanidad a los tiempos que se vivían; 3) el todavía insuficiente desarrollo de la capacidad de investigación epidemiológica y de las estructuras de salud pública para responder a estas situaciones de crisis; 4) el rápido desarrollo de los acontecimientos que produjeron un incremento alarmante de situaciones límite, para la sociedad y las familias y que produjeron confusión y miedo en la población, dificultando una recogida organizada de la información; 5) la falta de credibilidad política y administrativa que generaron una escasa aceptación y un rechazo, por parte de los pacientes y sus familias, de las comunicaciones oficiales emanadas de la propia Administración.

Todo este conjunto de hechos propiciaron una gran presión social, que derivó en intervenciones desordenadas y actuaciones encaminadas a investigar el problema de forma anárquica. Este contexto redujo la capacidad de elaborar suficientemente algunas decisiones, que en ocasiones fueron improvisadas, poco fundamentadas, e incluso erróneas. Todas estas circunstancias pusieron a la investigación, que se desarrolló durante los primeros años de la epidemia, en una situación crítica evidenciada por: *a)* falta de confianza en algunos de los datos disponibles, *b)* ciertas pérdidas irre recuperables de información y *c)* algunos errores metodológicos graves.

En esta situación se produjeron a lo largo de los años siguientes a la aparición de la epidemia cuatro iniciativas de los poderes públicos, trascendentales para el futuro de la investigación del SAT en términos generales y, en particular, para el conocimiento en epidemiología de nuestros profesionales: 1) un contrato de colaboración con los *Centers for Diseases Control and Prevention* (CDC y Prevention) para la investigación del SAT, 2) acciones específicas desde las Comunidades Autónomas para aumentar la formación en epidemiología del personal sanitario, 3) una acción desde el Ministerio de Sanidad convocando becas de Formación en Epidemiología en Estados Unidos y 4) un acuerdo de colaboración con la Oficina Regional para Europa de la OMS, que a partir de ese momento asumió el liderazgo y el control de toda la investigación de este problema, pasándolo a considerarse como un problema de salud pública general y no sólo de nuestro país.

Sin duda, estos hechos fueron la causa de que hoy se pueda reconocer al SAT en el contexto internacional como un problema de

salud ambiental importante, bien estudiado, y que ha servido para orientar la investigación etiológica de otras enfermedades ambientales inicialmente de origen desconocido (Kilbourne, 1992: 14, 16-36).

5.12. Aspectos de la epidemia del SAT cuya relevancia se extiende más allá de la propia situación desencadenada por el brote epidémico

5.12.1. La enfermedad

El SAT es una enfermedad única con un carácter sistémico, de evolución desconocida y cuyos mecanismos parecen estar relacionados con respuestas autoinmunes y/o tóxicas tras la exposición del organismo a xenobióticos. Por ello, cualquier avance en esta enfermedad tiene repercusiones científicas más allá del propio conocimiento del SAT para un gran grupo de entidades clínicas estrechamente relacionadas.

5.12.2. Las consecuencias para la población

La presencia de un alto número de afectados con una enfermedad no conocida previamente y que alcanzó proporciones importantes en poco tiempo, acompañada de una alta mortalidad, produjo un Síndrome de Estrés Postraumático en la población afectada y sus familiares, que dificultó el manejo de la crisis. Desde la descripción de este síndrome no se ha tenido la oportunidad de analizar la evolución del mismo a largo plazo y en una cohorte del tamaño de la del SAT.

5.12.3. La seguridad alimentaria

Se trata de una enfermedad única de origen químico/tóxico, que ha sido transmitida por medio de un alimento adulterado de uso muy extendido en la población. Es importante conocer todos los mecanismos que rodean a este tipo de eventos y que éstos se hagan públicos y conocidos por todos, para que las autoridades sanitarias de cualquier país puedan en cada momento contar con experiencias contrastadas que les permitan hacer frente a situaciones similares en cualquier parte del mundo.

5.12.4. La crisis en sí misma

En pocas situaciones se ven mezclados todos los condicionantes para el desarrollo de una crisis, que llegó a tener consecuencias políticas graves. El análisis socio-político de la situación planteada permite aprender de los errores en el manejo de crisis desencadenadas y que tengan ciertas similitudes.

5.12.5. La comunicación del riesgo

Como en todas las crisis, la comunicación del riesgo fue uno de los puntos más débiles de este brote epidémico. El miedo generado en la población a través de las comunicaciones de los medios incrementó la incertidumbre sobre los riesgos y el futuro de los pacientes ya diagnosticados. Trabajar a partir de experiencias como ésta analizando detalladamente todos los problemas asociados a la comunicación entre Administración, científicos y público en general, resulta de gran importancia tanto de cara a la educación de los profesionales relacionados con el mundo de la información sanitaria, como de los profesionales que se dedican a la salud pública.

5.12.6. El desarrollo cooperativo de la investigación

El método utilizado para llevar a cabo la investigación del SAT, absolutamente olvidada y despreciada en ocasiones por ciertos sectores, pero fuertemente apoyada sobre estructuras supranacionales de prestigio y bien reconocidas, como la OMS y el CBS, ha demostrado que para ciertas situaciones el éxito no está ligado sólo a la unión de varios profesionales del sector en pro de un objetivo, sino que es preciso tener un verdadero respaldo institucional y unos mecanismos adecuados, de modo que permitan desarrollar las tareas que realmente son necesarias llevar a cabo en este tipo de situaciones.

5.12.7. El poder judicial

También el SAT supuso toda una experiencia en el ámbito judicial. Se trató de una causa judicial en la que las personas afectadas o fallecidas se contaban por miles, sobre un asunto que tenía componentes de fraude, pero en el que había que demostrar, además de las interrelaciones entre industrias y personas, habituales en este tipo de delitos, la relación causa-efecto entre el aceite, los compo-

nentes químicos y la enfermedad, y todo ello sin que el problema científico estuviera resuelto de una manera definitiva.

La única evidencia en aquellos momentos provenía de los estudios epidemiológicos. Se podría asegurar que se trató de la primera sentencia emitida en España por un delito contra la salud pública, donde sus únicos fundamentos se encontraban en evidencias de tipo epidemiológico.

Además, el caso entrañaba más dificultad, si cabe, por el número de acusados y la naturaleza de la intención de la acción. Sin duda, podemos afirmar que la epidemia del SAT supuso también para el sistema judicial español, y quizás para el internacional, un hecho donde aprender y acumular experiencias de delitos contra fraudes que afectan a la salud pública.

5.12.8. Movimiento asociativo, poderes públicos e investigadores

Precisamente por la situación política que se vivía durante el año 1981, el movimiento asociativo jugó un papel relevante en el desarrollo de los acontecimientos. Estas asociaciones pusieron a los investigadores y a los poderes públicos en situaciones muy críticas y difíciles de manejar. Con el paso de los años, al menos, los investigadores dedicados a estudiar este problema hemos trabajado con más proximidad a estas asociaciones, sus necesidades y problemas, aprendiendo a ver las dificultades y tratando de entender sus puntos de vista para así lograr una mayor cooperación en la integración de estos colectivos y conseguir una rápida transferencia de aquellos resultados de la investigación de más utilidad práctica para ellos. No obstante, ésta es una de las asignaturas pendientes de las crisis de salud pública, de la que queda mucho por aprender todavía.

5.13. Dificultades habituales asociadas a las crisis de salud pública: enseñanzas de la epidemia del SAT

Las dificultades más habituales en este tipo de crisis suelen venir condicionadas por la naturaleza de la propia situación que las desencadena, pero existen algunas que son comunes a muchas de las crisis y, por lo tanto, no están estrechamente ligadas al tipo de problema del que se trate. Algunas de las dificultades más destacables son:

1. Es frecuente que exista directa o indirectamente un grado de responsabilidad administrativa asociado a la situación de crisis, bien por falta de control preventivo, o por la toma de decisiones no siempre justificadas ni acertadas. En descarga de este tipo de situaciones, estos problemas suelen darse ante acontecimientos no fácilmente prevenibles y, por lo tanto, que no han dejado experiencia acumulada que sirva como referente. En otras ocasiones, situaciones semejantes sirven para utilizarlas como excusa de mala gestión, produciendo una huida en otra dirección poco experimentada con antelación.
2. Dichas decisiones administrativas se empiezan a contaminar de una manera sorprendentemente rápida por la presión de tipo político, lo que produce que ambas situaciones, la propia crisis en sí misma y la política, caminen en paralelo acrecentando la crisis. Dicho componente político es algo razonable que se ha de esperar en las democracias, pero cuyo desarrollo debería ir algo posterior al desencadenamiento de la propia crisis. Esta aparente anomalía en el funcionamiento del juego político repercute directamente sobre los sujetos que están sufriendo la crisis, bien como enfermos o expuestos y aumenta la situación conocida como Síndrome del Estrés Postraumático. Alcanzar el equilibrio entre la presión política, que hace que el partido que ostenta el poder acelere la toma de decisiones para resolver la crisis, y que esta presión sea conducida sin que afecte ni a la toma de decisiones técnicas sobre el problema ni a los que lo sufren directamente, es un reto no fácil de conseguir y frente al que existen pocas propuestas eficaces contrastadas.
3. En medio de la crisis, ya convertida en crisis política, la toma de decisiones de carácter técnico, necesaria para la resolución de la misma, se hace más compleja, dificultando el análisis especializado y detallado y la pronta resolución por parte de los que tienen competencias y conocimientos sobre el tema.
4. Afloran las opiniones sobre la mejor forma de solución para la crisis desde todos los frentes y los medios de comunicación se hacen eco de todas estas opiniones, según el puesto que ocupa la persona que lanza dichas opiniones, sin tener en consideración la experiencia de grupos de trabajo existentes con una experiencia más consolidada en el problema. Esto pro-

duce que la opinión pública quede confundida en medio de diferentes argumentos y sin que se pueda alcanzar un criterio de objetividad aparente.

5. La desconfianza de las autoridades hacia todo lo que les rodea crece, y se junta con cierta asiduidad, a la falta de un organismo técnico de referencia encargado de este tipo de situaciones. Para solucionar el tema, se crean comisiones que son controladas desde el más alto nivel político y que a su vez comportan un cierto grado de ineficiencia porque no son las que realmente dan la solución a los problemas.
6. Se pierden datos importantes, a veces necesarios para la resolución de la crisis, que más tarde se reclamarán desde todos los ámbitos (científicos, Administración, jueces, etc.).
7. Los escalones intermedios, responsables reales del trabajo de campo, obedecen instrucciones sin poder llegar a alcanzar el nivel que les pueda permitir acelerar o redireccionar la toma de decisiones, lo que no les permite verter su opinión técnica y termina por hacer muy difícil su trabajo.
8. Finalmente, toda la situación termina pasando a las competencias del poder judicial, lo que impone mayores restricciones a la circulación y extracción de la información adecuada.
9. Las personas que sufren el problema de forma directa suelen encontrarse en medio de informaciones, decisiones, declaraciones e incertidumbres que se acrecientan con el paso del tiempo e incluso se terminan enquistando. La reacción de estas personas puede llegar a ser incluso desproporcionada, pero sobre todo es de incredulidad y desconfianza, lo que hace casi imposible el manejo de lo que modernamente se entiende como participación de todos los estamentos implicados y no sólo de los pacientes (el término anglosajón utilizado es el de *stakeholders*) en la resolución de la crisis.

5.14. Epidemia del SAT y experiencias compartidas con instituciones y sociedades científicas

Pasados los primeros años de esta epidemia aparecieron en España otros brotes epidémicos que también tuvieron su impacto en la so-

ciudad, tales como la epidemia de asma en la ciudad de Barcelona, que fue seguida de otros episodios similares en ciudades con puertos marítimos de la zona del levante español y que se asoció a la descarga de soja sin los correspondientes filtros de protección, y la epidemia originada por los tintes de ropa usados en la empresa Ardystil. Estos episodios provocaron en algunos miembros de la Sociedad Española de Epidemiología (SEE) un interés por la evaluación de los mismos y el análisis de las cosas que podrían mejorarse para afrontar futuros brotes con mayor capacidad y conocimiento. Esta preocupación cundió más entre aquellos que se vieron especialmente implicados o que fueron testigos de excepción de dichos episodios.

En una primera reunión de esta sociedad científica, los expertos directamente implicados en estas epidemias expusieron sus preocupaciones y fue entonces cuando se pudo observar que lo que tenía realmente importancia eran los problemas derivados del manejo de las crisis, posteriormente denominadas en la literatura científica como *crisis en salud pública* (Posada, 1999: II [19], 7-10). La consecuencia directa fue que esta misma sociedad científica desarrolló en sus sucesivas reuniones una intensa actividad orientada al análisis de las crisis en salud pública como tema general y a la comunicación y la percepción del riesgo como un asunto más específico de las crisis.

Estas reuniones marcaron un camino que fue seguido por otras iniciativas llevadas a cabo por otras instituciones. Así, el Ministerio del Interior, preocupado por la respuesta de protección civil en ciertos tipos de crisis donde se mezclaban exposiciones de carácter accidental con riesgos de enfermar, como ocurrió en el caso del incendio sufrido por el petrolero *Mar Egeo* frente a las costas gallegas de A Coruña, organizó una reunión de expertos para tratar estos temas. También, algunas Direcciones Generales de Salud Pública de Comunidades Autónomas han desarrollado actividades específicas para que su personal incrementase los conocimientos sobre el entramado y las dificultades que rodean a este tipo de problemas de salud. La experiencia del SAT fue protagonista en la mayoría de estas actividades, siendo los coorganizadores de dichas reuniones, o bien dirigiendo algunas de estas actividades.

También otras sociedades científicas, como la Sociedad Italiana de Epidemiología, se interesaron por el problema y entraron en

contacto con algunas de las personas implicadas en la epidemia del SAT, para realizar un intercambio de conocimientos. Por su parte la Sociedad Internacional de Epidemiología Ambiental, en la reunión del año 2003 y con ocasión de la entrega de un premio a la labor profesional desarrollada por uno de sus miembros más destacados, ha utilizado el ejemplo del SAT como una experiencia sobre la que aprender en salud ambiental.

La repercusión que en Europa tuvieron los dos últimos episodios de fraude, que han afectado a la salud pública en el marco de la UE y en el que ha quedado demostrado cómo las fronteras no existen en la mayoría de las ocasiones en las que aparecen problemas para la salud pública —como son la aparición de la nueva variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y la adulteración de los piensos de los animales de granja con aceites industriales con un alto contenido en PCB y dioxinas, así como la persistente amenaza de riesgos contra la salud por ataques químicos de origen bioterrorista— están provocando que muchos grupos en Europa, incluyendo la OMS y la propia OTAN, estén desarrollando actividades orientadas a conocer más en detalle el tipo de respuesta más adecuado para este tipo de situaciones. Las conferencias organizadas por la División de Riesgos Químicos y Envenenamientos de Cardiff (Reino Unido) sobre las implicaciones en la salud pública de los riesgos químicos ambientales y la que tuvo lugar en la sede de la OTAN en Bruselas en 2002, contaron con la participación de expertos en el SAT como ejemplo de este tipo de crisis.

También en el ámbito docente ha existido gran preocupación por el problema derivado de las crisis en salud pública y la falta de conocimientos que podían existir entre las personas responsables de esta área. Por todo ello, el CISATER dirigió un curso organizado por la Dirección General de Salud Pública de la Comunidad de Madrid, orientado a los responsables de salud pública de dicha Comunidad Autónoma, cuyos objetivos se centraron en el análisis de los mecanismos que rodean a las crisis y la forma de trabajar en este tipo de situaciones. También se ha colaborado en el Máster de Comunicación organizado desde la Universidad Pompeu Fabra de Barcelona sobre Comunicación y Riesgos, así como en el que organiza la Universidad Complutense de Madrid sobre Métodos de Investigación en Epidemiología Clínica.

5.15. Publicaciones específicas sobre crisis en salud pública

En los últimos años se redactaron tres artículos en lengua española dedicados a tratar el problema, uno de ellos de alcance local, solicitado desde una revista oficial de una Comunidad Autónoma (Posada, 1999: II [19], 7-10), y los otros dos en revistas *peer review* de alcance estatal (Posada, 2001: 15 [6], 477-480 y 2002: 12 [1], 1-6). También se contribuyó a la publicación del libro titulado *Topics in Environmental Epidemiology*, como autor único de uno de sus capítulos titulado «Diet and Food Contaminants» (Posada, 1997: 64-88).

En términos de divulgación científica la propia OMS ha editado dos libros monográficos sobre la investigación del SAT y a finales de 2003 se espera la salida del tercero que actualiza todos los conocimientos alcanzados hasta la fecha (World Health Organization, 1984 y 1992). Finalmente, esta epidemia ha estado presente en la literatura científica internacional con más de 900 artículos publicados en revistas de impacto y su conocimiento está empezando a consolidarse en libros de reconocido prestigio internacional como el titulado *Experimental and Clinical Neurotoxicology* (Portera-Sánchez y Posada 2000: 1193-1196).

5.16. Experiencia en el estudio de otras epidemias

A lo largo de estos años los expertos en el conocimiento del SAT han sido reclamados para compartir sus conocimientos en el estudio de varias epidemias, a veces con consultas breves para temas puntuales, pero en otras ocasiones formando parte de una comisión internacional de expertos. Entre estas últimas figuran la epidemia del síndrome de Eosinofilia Mialgia (Philen y Posada, 1991; World Health Organization, 1993: 23 [2], 104-124), la epidemia de la neuropatía óptica de Cuba, los problemas de salud de la población de la Isla de Vieques, supuestamente originados por las maniobras militares de la Armada de los Estados Unidos en dicha isla y los potenciales problemas de los soldados americanos que actualmente se encuentran destinados en Iraq.

5.17. Extensión de la experiencia del SAT

Todo este esfuerzo, basado en una experiencia muy determinante, como fue el haber tenido que afrontar la epidemia del SAT desde sus primeros momentos desde la vertiente clínica, y más tarde como responsable de la investigación, el CISATER ha sido reconocido por la Oficina Europea de la OMS como *Centro Colaborador de la OMS* para ayudar a esta organización a diseñar los métodos de trabajo más adecuados para el estudio de brotes de enfermedades de origen desconocido, durante el periodo 1998-2002. Dicha designación ha sido recientemente renovada hasta el año 2008 para cooperar en la construcción de la alerta global de respuesta frente a epidemias tóxicas. En la actualidad el nombre del centro colaborador se enmarca bajo la denominación de *Centro Colaborador en Epidemiología de las Enfermedades relacionadas con el Ambiente*.

Sin duda, este tipo de apoyos y cooperaciones externos ponen de manifiesto la capacidad de aprender de nuestras organizaciones y de extender dichas experiencias a otros ámbitos, aunque por desgracia esta capacidad no siempre sea bien reconocida en nuestro propio medio.

Más recientemente, el CISATER ha extendido esta experiencia contraída en el estudio de una enfermedad de origen desconocido, al campo del estudio de las llamadas enfermedades raras, porque todas las enfermedades de baja prevalencia conllevan comportamientos similares a los del SAT. Así, los grupos de personas que rodean a estas patologías, tales como asociaciones de enfermos, investigadores, Administración presentan problemas y reivindicaciones similares a las del SAT.

La experiencia almacenada en el CISATER durante más de veinte años y que va desde la creación de amplias redes de colaboración entre investigadores de disciplinas científicas no siempre afines entre sí, colaboraciones con organismos internacionales, las asociaciones de enfermos, familiares, grupos sociales y el propio poder judicial, puede ahora transmitirse no sólo al campo de las enfermedades ambientales de origen químico, sino también al de las enfermedades cuyo origen no es conocido y cuya perspectiva de estudio requiere la confluencia de muchos intereses.

Bibliografía

- ABAITUA BORDA I. y M. POSADA DE LA PAZ (1992): «Toxic Oil Syndrome. Current Knowledge and Future Perspectives», Clinical Findings, World Health Organization (ed.), Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, págs. 27-38.
- *et al.* (1998): «Toxic Oil Syndrome mortality: the first 13 years», *Int J Epidemiol*, 27, págs. 1057-1063.
- CALAF, R. E. *et al.* (2001): «Determination of aniline derivatives in oils related to the toxic oil syndrome by atmospheric pressure ionization-tandem mass spectrometry», *Anal Chem*, 15 de agosto, 73 (16), págs. 3828-3837.
- CARDABA, B. *et al.* (2000): «DR2 antigens are associated with severity of disease in Toxic Oil Syndrome (TOS) HLA Class II antigens in Toxic Oil Syndrome», *Tissue Antigens*, 55 (2), págs. 110-117.
- DÍAZ DE ROJAS, F. *et al.* (1987): «The association of oil ingestion with toxic oil syndrome in two convents», *Am J Epidemiol*, 125 (5), págs. 907-911.
- DOLL, R. (1985): «The aetiology of the Spanish Toxic Syndrome: Interpretation of the epidemiological evidence», World Health Organization (ed.), Copenhagen, Report nr SPA/CEH 502, 1 pág.
- GARCÍA LADONA, M. (2001): «Pharmacogenetic Profile of Xenobiotic Enzyme Metabolism in Survivors of the Spanish Toxic Oil Syndrome», *Environ Health Perspect*, marzo, 109, págs. 369-375.
- GELPI, E. (WHO/CISAT Scientific Committee for the Toxic Oil Syndrome) (2002): «The Spanish Toxic Oil Syndrome: epidemiological, immunological and toxicological knowledge twenty years after its occurrence», *Environ Health Perspect*, 110 (5), págs. 457-464.
- GÓMEZ DE LA CÁMARA, A. *et al.* (1998): «Health status measurement in toxic oil syndrome», *J Clin Epidemiol*, 51 (10), págs. 867-873.
- GRANDJEAN, P. y S. TARKOWSKY (1984): «Toxic Oil Syndrome: Mass food poisoning in Spain», *Review of investigations and finding*, 1.ª ed., World Health Organization (ed.), Copenhagen, World Health Organization Regional Office for Europe, págs. 3-16.
- HILL, R. H. *et al.* (1995): «Possible etiologic agents for toxic oil syndrome: fatty acid esters of 3-(N-phenylamino)-1,2-propanediol», *Arch Environ Contam Toxicol*, 28 (2), págs. 259-264.
- KILBOURNE, E. M. (1992): «Eosinophilia Myalgia Syndrome: coming to grips with a new illness», *Epidemiol Rev*, 14, págs. 16-36.
- *et al.* (1983): «Clinical epidemiology of toxic-oil syndrome. Manifestations of a New Illness», *N Engl J Med*, 309 (23), págs. 1408-1414.
- *et al.* (1988): «Chemical correlates of pathogenicity of oils related to the toxic oil syndrome epidemic in Spain», *Am J Epidemiol*, 127 (6), págs. 1210-1227.
- KURATSUNE, M., T. YOSHIMURA y J. MATSUZAKA (1972): «Epidemiologic study on Yusho, a poisoning caused by ingestion of rice oil contaminated with a commercial brand of polychlorinated biphenyls», *Environ Health Perspect*, 1, págs. 119-128.
- LAREBEKE, N. VAN (2001): «The Belgian PCB and Dioxin Incident of January-June 1999: Exposure data and Potential Impact on Health», *Environ Health Perspect*, 109(3), págs. 265-273.
- MARTÍNEZ TELLO, F. J. *et al.* (1982): «Pathology of a new toxic syndrome caused by ingestion of adulterated oil in Spain», *Virchows Arch*, 397 (3), págs. 261-285.
- PHILEN R. M. y M. POSADA DE LA PAZ (1993): «Toxic oil syndrome and eosinophilia-myalgia syndrome: May 8-10, 1991», Informe de la reunión de la Organización Mundial de la Salud (OMS), *Semin Arthritis Rheum*, 23 (2), págs. 104-124.

- PORTERA-SÁNCHEZ, A. y M. POSADA DE LA PAZ (2000): «Toxic oil», en P. S. Spencer y H. H. Schaumburg (eds.), *Experimental and Clinical Neurotoxicology*, 2.ª ed., Nueva York, Oxford University Press, págs. 1193-1196.
- POSADA DE LA PAZ, M. (1997): «Diet and food contaminants», en K. Steenland y D. A. Savitz (eds.): *Topics in environmental epidemiology*, 1.ª ed., Oxford, Oxford University Press, págs. 64-88.
- (1999): «Enfrentarse a una crisis en Salud Pública», *Apuntes de Salud Pública*, II (19), págs. 7-10.
- (2001): «Bioterrorismo y salud pública», *Gaceta Sanitaria*, 15 (6), págs. 477-480.
- (2002): «¿Cómo enfrentarse a una crisis en Salud Pública?», *MEDIEAM*, 12 (1), págs. 1-6.
- *et al.* (1991): «Manufacturing processes at two French rapeseed oil companies: possible relationships to toxic oil syndrome in Spain», *Food chem Toxicol*, 29 (12), págs. 797-803.
- *et al.* (1994): «Factors associated with pathogenicity of oils related to the toxic oil syndrome epidemic in Spain», *Epidemiology*, 5 (4), págs. 404-409.
- *et al.* (1999): «Epidemiologic evidence for a new class of compounds associated with toxic oil syndrome», *Epidemiology*, 10 (2), págs. 130-134.
- *et al.* (2001): «Toxic oil syndrome: the perspective after twenty years», *Epidemiologic Reviews*, 23, 2, págs. 231-247.
- *et al.* (2003): «Neurologic outcomes of toxic oil syndrome patients 18 years after the epidemic», *Environ Health Perspect*, 111 (10), págs. 1326-1334.
- POZO, V. del *et al.* (1997): «Cytokine mRNA expression in lung tissue from toxic oil syndrome patients: a TH2 immunological mechanism», *Toxicology*, 118 (1), págs. 61-70.
- RICOY, J. R. *et al.* (1983): «Neuropathological studies on the toxic syndrome related to adulterated rapeseed oil in Spain», *Brain*, 106 (Pt 4), págs. 817-835.
- RUIZ-MÉNDEZ, M. V. *et al.* (2001): «Storage time and deodorization temperature influence the formation of aniline-derived compounds in denatured rapeseed oils», *Food and Chemical Toxicology*, marzo, 39/1, págs. 91-96.
- SMITH, H. V. y J. M. K. SPALDING (1959): «Outbreak of paralysis in Morocco due to orthocresyl phosphate poisoning», *Lancet*, 5 de diciembre, págs. 1019-1021.
- TABUENCA OLIVIER, J. M. (1981): «Toxic-allergic syndrome caused by ingestion of rapeseed oil denatured with aniline», *Lancet*, 2 (8246), págs. 567-568.
- (1984): «Toxic oil syndrome: mass food poisoning in Spain». Discovery of toxic oil as the cause of the epidemic, World Health Organization Regional Office for Europe (ed.), 1.ª ed., Copenhagen, págs. 39-46.

6. La catástrofe del buque *Prestige*

Emilio Lora-Tamayo d'Ocón

Presidente del Comité Científico Asesor para el *Prestige*

Presidente del CSIC

6.1. Introducción

El hundimiento del buque *Prestige* y las consecuencias del vertido de su carga, accidente cuyos ecos perduran y sus consecuencias están todavía presentes, es sin duda un caso paradigmático de emergencia y catástrofe, en el que la intervención y la respuesta científicas resultaron imprescindibles, tanto para analizar el problema como para plantear actuaciones y explicar a la sociedad la situación, desde el conocimiento y el método científico. Estos aspectos deben estar muy presentes también en el análisis de las causas directas y remotas e impregnar las políticas dirigidas a eliminar los riesgos de que se repitan esas mismas catástrofes.

Este capítulo detalla el papel del Comité Científico Asesor para el *Prestige*, creado a las tres semanas del hundimiento. El Comité tuvo, entre otras misiones, la de coordinar y proponer iniciativas y actuaciones científicas, que se materializaron desde el momento del hundimiento, a cargo de investigadores de los Centros Públicos de Investigación (Universidades y OPI).

No entraremos en las causas del accidente ni en la gestión de sus efectos y consecuencias, en la que posiblemente se pueden identificar ahora aciertos y errores. En la historia de la catástrofe hay sin duda muchas facetas y esta contribución pretende centrarse en algunas de ellas, las que aporten información para la inevitable reflexión que planteamos y que fundamentalmente corresponden a los papeles del Comité Científico Asesor y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que estuvieron íntimamente ligados. Por supuesto que este último no fue el único Organismo que se

aproximó científicamente a la catástrofe, pero es de justicia reconocer que jugó un papel muy importante durante los primeros meses del problema.

Los dos papeles han pretendido responder a cuestiones que en aquellas circunstancias críticas estaban sin resolver. En algún caso, todavía hoy se sigue trabajando para resolver algunas de las cuestiones inicialmente planteadas. Entre ellas podemos citar las siguientes: ¿cuánto está vertiendo el *Prestige*?; ¿cuánto tiempo va a durar ese vertido?; ¿qué se puede hacer para evitarlo?; ¿qué daños ha causado en la zona próxima al hundimiento?; ¿qué daños ha causado y causará a la pesca del banco de Galicia y zonas próximas?; ¿qué pérdidas ha causado en el marisqueo y pesca litoral de las zonas afectadas?; ¿cuánto tiempo tardará en recuperarse la biodiversidad y las poblaciones de especies comerciales?; ¿se puede acelerar esa recuperación por medio de la repoblación o de la biorremediación?; ¿durante cuánto tiempo no se podrán consumir los productos de la zona?; ¿cuáles son los criterios de seguridad alimentaria que hay que adoptar?

6.2. El papel del Comité Científico Asesor en la catástrofe del *Prestige*

6.2.1. El problema

El petrolero *Prestige*, de 243,5 m de eslora, se construyó en 1976 con arreglo a la regulación anterior al convenio internacional MARPOL 73/78 (Prevention of Marine Pollution from ships) y con un solo casco. Sus más de 25 años de vida, en la que se alternaron los periodos de navegación con los de mantenimiento, terminaron un 19 de noviembre del año 2003 a más de 100 millas al oeste de la costa gallega, afectando trágicamente al entorno medioambiental inmediato y lejano.

El buque había zarpado el 7 de noviembre del puerto letón de Ventpils en dirección sur, con una carga máxima de 76.973 t de fuel pesado del tipo M-100 ¹. A las 14.15 del 13 de noviembre de 2002, emitió una señal sos de peligro indefinido, desde una posición si-

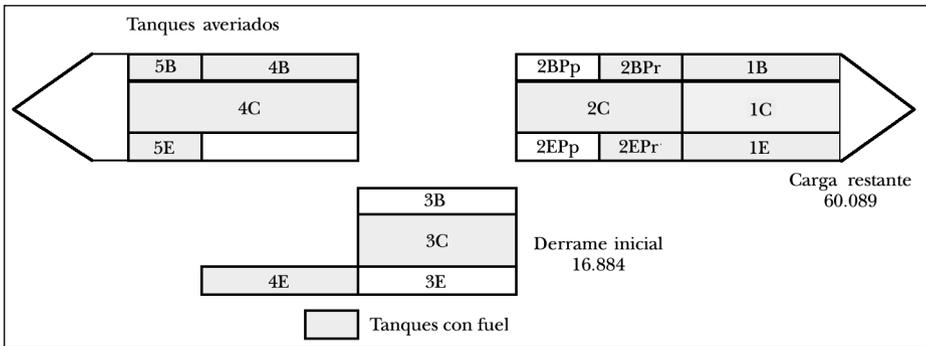
¹ M-100 en terminología rusa, equivalente al número 6 en terminología anglosajona o al número 2 en terminología francesa.

tuada a unas 30 millas del cabo Finisterre que, en ese momento, soportaba olas de 8 m de altura. A los dos minutos, emitió un *mayday* en el que se pedía el rescate de la tripulación porque, según quedó registrado, «... el barco está muy escorado y tiene riesgo de hundimiento...». Con este incidente comienza la catástrofe. Al parecer una fisura en el costado de estribor provocaba la pérdida de fuel, que ya ese mismo día podía advertirse en inspecciones aéreas.

Finalmente, tras varias jornadas de remolque, el buque se partió en dos a las 7.00 del día 19 de noviembre de 2002. Casi cuatro horas más tarde, a las 10.45, se hundió la popa a los 42° 12,6' N y 012° 03,0' W y el mar se tragó la proa a las 15.18, a los 42° 10,8 N y 012° 03,6' W.

La rotura del buque afectó aparentemente a cuatro tanques (3B, 3E, 3C y 4E) de los que en principio solamente dos contenían fuel (3C y 4E), tal y como presenta el esquema siguiente.

ESQUEMA 6.1: Posición de los tanques del *Prestige* y de su estado de carga declarado



Nota: La parte central *desgajada* es la que se perdió en el momento del hundimiento.

Al iniciarse el hundimiento, las zonas de la rotura, tanto de la parte de proa como de la parte de popa, quedaron mirando hacia el fondo marino, adoptando ambas una posición casi vertical porque estaban vacíos los espacios de lastre, piques de proa y popa, y por el gran volumen de la cámara de máquinas. En su proceso de descenso estos espacios se fueron inundando de agua, lo que sin duda cambió la posición de los centros de gravedad de ambas partes, que giraron sobre sí mismas, apuntando al fondo con la zona de proa y la de popa, respectivamente. Ello hizo que ambas zonas sufrieran un impacto de fuerte intensidad con el fondo, perdiéndose

el timón, dañándose la zona del codaste, deformándose la proa y originándose una onda de presión, ayudada por los efectos inerciales de la maquinaria, que pudo romper algún mamparo de separación de los tanques y provocar desde el fondo marino un nuevo vertido masivo, directamente desde algún tanque dañado o indirectamente por inundación de la cámara de máquinas con el fuel de los tanques de la parte de popa.

Este pecio tocó fondo a 3.565 m de profundidad después de haber resbalado por una pendiente del 30% en las estribaciones del banco de Galicia; por su parte, el de proa yace a 3.830 m en una superficie mucho menos inclinada. Las variaciones de localización son pequeñas con respecto al punto del hundimiento: 42° 10,6' N y 12° 03,8' W la popa y 42° 12,37' N y 12° 02,93' W la proa. En esas profundidades las condiciones son peculiares: la temperatura es de 2,6°C, la presión es de 365-393 atm, la concentración de oxígeno es de 5,4 ml/l y la presión parcial de CO₂ es (CCA Prestige, 2003) de 0,1 atm.

Debido a que la sismicidad de la zona es moderada, al buen asentamiento de ambas partes del buque en el fondo marino y al encontrarse la estructura equilibrada en cuanto a cargas se refiere, muy inferiores a las cargas de diseño de la estructura, los dos pecios se encuentran en una situación estable con baja probabilidad de alteración a medio plazo (CCA Prestige, 2003).

6.2.2. El producto

La carga que llevaba el *Prestige* era fuel pesado de tipo M-100, un derivado del petróleo obtenido como fase residual en su proceso de destilación, con una densidad a 15°C de 992,1 Kg/m³ y a 2,6°C de 1.012 Kg/m³ (nótese que la densidad del agua del mar a 3°C es de 1.045 Kg/m³). Su composición era C, 85,8%; H, 11%; S, 2,28% (22% hidrocarburos saturados, 50% hidrocarburos aromáticos, 28% resinas/asfaltenos) ². Se trata, pues de un residuo de destilación tipo naften-aromático, que emulsiona fácilmente en el mar con contenidos de 45-50% de agua y se calcula que tiene unas pérdidas por evaporación y disolución en dos meses, inferiores

² <http://csicprestige.iim.csic.es>.

al 5%. Como muchos otros factores, la biodegradabilidad no era conocida en ese momento, aunque se estimó inferior al 10% en los primeros meses. Otro dato de primera importancia para valorar la capacidad del fluir del fuel es la viscosidad ³ (dinámica y cinemática):

TABLA 6.1: Viscosidad del fuel del *Prestige* según la temperatura

T (°C)	mPa·s	ν (m ² /s)
0	1.400.000	1,38
3,12	500.000	$4,94 \times 10^1$
5,25	300.000	$2,96 \times 10^1$
10,25	160.000	$1,58 \times 10^1$
15,25	45.000	$4,45 \times 10^2$
20,12	19.500	$1,93 \times 10^2$
50	850	$8,40 \times 10^4$

6.2.3. La reacción. Primeros pasos

Ante la catástrofe, la reacción en el plano científico se produjo en tres fases consecutivas. En primer lugar se puede hablar de una reacción *científica sin coordinar*. Esto es, debido al interés que al investigador le produce cualquier situación fuera de lo normal, así como a la responsabilidad social de la que es consciente, hubo grupos más o menos institucionalizados que se pusieron a trabajar, recogiendo muestras, analizando los restos de fuel y haciendo acopio de información. Se pueden citar, como reconocimiento a su trabajo, los esfuerzos de investigadores de Le CEDRE (Francia) con el Instituto de Química Ambiental (IQAB-Barcelona) del CSIC, los investigadores del Instituto de Investigaciones Marinas (IIM-Vigo), también del CSIC y varios profesores de universidades gallegas. Es preciso resaltar que algunas de sus actuaciones llevan fecha de 19 de noviembre (recogida y análisis de muestras, valoración puntual de daños en aves y organismos marinos...). En conclusión, los científicos trabajaron desde el primer momento, si bien hay que reconocer que en algunos casos de forma no suficientemente

³ <http://www.ciemat.es>, obtenida del <http://www.le-cedre.fr>.

coordinada con las Administraciones implicadas in situ en la zona afectada.

En segundo lugar, para coordinar todas las actuaciones (y no sólo las que afectan al plano científico), el Gobierno constituyó una Comisión Interministerial para el *Prestige*, presidida por su Vicepresidente Primero y Ministro de la Presidencia. Uno de sus primeros cometidos fue el de encargar a instituciones científicas españolas, en concreto al CSIC y al IEO, el estudio de ciertos aspectos parciales, entre otros los daños en las poblaciones demersales de seres vivos y las trayectorias de la marea negra.

En tercer lugar, se organizó una reacción *científica coordinada*. En efecto, el 9 de diciembre de 2002, a iniciativa de la Comisión, se constituyó el Comité Científico Asesor (CCA). El CCA informaba y estaba en contacto con la Comisión Interministerial, en concreto con su presidente, y logísticamente estaba amparado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, más concretamente por la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica.

Informar y estar en contacto no quiere decir ser un órgano portavoz. En efecto, desde el primer momento se establecieron y aceptaron tres condiciones o premisas sin las cuales el CCA estimó que no podría trabajar y que rigieron durante todo el periodo su actuación. Así, quedó claro que los miembros del CCA serían incorporados en razón de su *competencia* en los temas tratados, ya fuera en su condición de permanentes o invitados. Por otro lado, el CCA sería *independiente* para trabajar sin ninguna indicación u orientación más que las que se derivaran de la aproximación científica a los temas que rodeaban el problema. Por último, se estableció el criterio de *transparencia* en las informaciones y conclusiones a las que llegara el CCA, con la única salvedad de informar de las mismas en primer lugar a la Comisión Interministerial, para a continuación dar a conocer esa información por los canales más adecuados (habitualmente prensa y publicación en la web ⁴ que se creó con ese fin).

La condiciones fueron aceptadas sin discusión y no hubo el menor problema en mantenerlas durante el tiempo en que el CCA fue operativo, de tal manera que la única presión que en todo caso experimentó el Comité, y que no fue pequeña, fue la asociada a la gra-

⁴ <http://www.ccaprestige.es>.

vedad de la situación y la responsabilidad y trascendencia de sus decisiones y recomendaciones. Así las cosas, el análisis y estudio de los pecios para detener el vertido fue el objeto principal sobre el que se concentró inicialmente la atención del CCA, y se convirtió en objetivo secundario la intervención científica en su control, seguimiento, efectos y consecuencias. Debe tenerse presente que nunca el hombre había realizado trabajos de reparación/mantenimiento a la profundidad en que estaban los pecios y que por ello se trataba de un desafío científico y técnico sin precedentes.

En el CCA, como miembros permanentes participaron 7 investigadores del CSIC (biólogos, químicos y físicos), 4 profesores de Escuela Superior de Ingenieros Navales (Universidades de A Coruña y Madrid), 2 directivos de la empresa IZAR (dirección de reparaciones y de innovación), 1 investigador de IFREMER (Instituto Francés para la Investigación Marina) y otro de Le CEDRE (instituciones francesas), 1 investigador del IST (Instituto Superior Técnico de Lisboa), 1 investigador del NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration de Estados Unidos), 1 investigador del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales) y 1 investigador del IEO. Además colaboraron de forma puntual 2 investigadores del Instituto de Investigación en Química Ambiental de Barcelona (IIQAB) del CSIC, uno de ellos destacado desde el CCA en el grupo de estudio y seguimiento epidemiológico de los efectos sobre la salud a raíz del vertido del *Prestige*, creado en el Ministerio de Sanidad y otro comisionado desde el CCA en Estados Unidos para analizar el estado de la tecnología americana en recuperación y tratamiento de vertidos, aceptando así una oferta de colaboración americana.

Es importante destacar la gran dedicación de todos los miembros del CCA, que durante los dos meses largos que duró su tarea tuvieron disponibilidad total de su tiempo y dejaron aparcadas otras obligaciones profesionales y personales.

El primer paso que dio el CCA fue valorar la situación porque ya existían algunos datos fidedignos. La Comisión Interministerial para el *Prestige* había aceptado el ofrecimiento de inspeccionar la zona de los pecios utilizando el *Nautile* y su buque nodriza, el *Atalante*, que la sociedad GENAVIR, del IFREMER, había realizado a los pocos días del hundimiento. El *Nautile* es un batiscafo tripulado (hasta tres personas), capaz de descender a profundidades máxi-

mas de 6.000 m, provisto de un pequeño ROV⁵ y con capacidad de manipular muestras, utilizando dos brazos robotizados. El día 1 de diciembre zarpó de Vigo en dirección a la zona del hundimiento, llevando ya a bordo algunos investigadores, dos de los cuales formaron parte posteriormente del CCA. El 2 de diciembre de 2002 fue localizada la proa del barco y el día 7 la popa, que estaba a 2 millas de la proa. Concluido el trabajo, volvieron a Vigo.

El 10 de diciembre, el recién creado CCA pudo analizar los datos aportados por esta campaña de localización de los pecios. Con los pocos datos de la misma se estimó que había 14 fugas de distinta naturaleza (9 en proa y 5 en popa), por las que se perdía un *caudal del orden de 125 t diarias*. Inmediatamente y a través de los cauces establecidos (Comisión Interministerial), el CCA recomendó que el *Nautilus*, en primer lugar, volviera a sumergirse para *medir la temperatura* de salida del fuel y, en segundo lugar, *ensayara la obturación experimental*, siquiera provisional, de una de las fugas detectadas, con objeto de valorar la viabilidad de disminuir las pérdidas. Aunque el estado del mar no fue muy favorable para las inmersiones del batiscafo, entre el 11 y el 16 de diciembre el *Nautilus* pudo bajar al pecio en dos ocasiones, recoger muestras de las fugas, tomar la temperatura en una de ellas (10,5°C⁶ el 12 de diciembre de 2002) y ensayar con éxito la obturación de la núm. 3, correspondiente a la bita de proa-estribor, utilizando un disco de aluminio lastrado con granalla de acero.

6.2.4. Primera fase de neutralización: obturación de fugas

La vuelta a puerto del *Atalante-Nautilus* con esos resultados dejó claro que si bien la pérdida de temperatura asociada a la termalización del pecio iba a favor de un aumento de la viscosidad y por ello de una eventual reducción de los caudales de fugas, su volumen y número hacía prioritario y urgente, antes de pensar en soluciones de neutralización definitivas, obturar siquiera provisionalmente todas las que se pudiera, con la máxima eficiencia posible, lo cual se había demostrado realizable gracias al *experimento* realizado por el

⁵ *Remotely Operated Vehicle*. Véase *web* de IFREMER-GENAVIR: <http://www.ifremer.fr/genavir>.

⁶ Es habitual que los petroleros transporten la carga de productos muy densos/viscosos a temperaturas del orden de 50°C para facilitar su carga/descarga. El que en salida de una fuga se midan 10°C de temperatura al cabo de más de veinte días de estar la carga rodeada de agua a 2,6°C, da una idea de la baja conductividad calorífica del fuel de los tanques.

Nautile. La valoración de las fugas y la solución teórica de obturación provisional que se proyectó para cada una de ellas permitió fijar como objetivo que quedara una pérdida residual máxima (popa y proa conjuntamente) *inferior a 10-12 t por día*.

Se planteó entonces *el dilema*: comisionar al *Nautile* (vehículo de observación con cierta capacidad experimental y dificultades asociadas al clima) para esa tarea, o bien confiar en las propuestas que estaba recibiendo el CCA por parte de compañías *off-shore*, para emplear en esa tarea un ROV industrial de trabajo, como los utilizados en prospecciones petrolíferas en el mar o en el tendido de cables submarinos. Cada una de las alternativas tenía sus ventajas e inconvenientes. El *Nautile*, por ejemplo, ofrecía experiencia probada de observación a profundidades mayores de 4.000 m, disponibilidad inmediata (estaba fondeado en el puerto de Vigo), conocimiento del pecio y había tenido éxito en la obturación experimental. Sin embargo, adolecía de algunos inconvenientes: si las olas eran superiores a 3 m, no podía operar y su capacidad de trabajo no sobrepasaba los límites de lo experimental. Por otro lado, el ROV se podía emplear 24 horas del día con cualquier situación del mar. Además, estaba acostumbrado a operar en el fondo marino. Su experiencia se veía garantizada por tratarse de empresas auxiliares de potentes petroleras y, en fin, se comprometían a estar sobre el pecio en tres semanas.

En ese momento no se sabía que no había ninguna experiencia en trabajos de ROV a más de 3.000 m y posteriormente, a lo largo del mes de enero, durante el análisis de las soluciones de neutralización definitiva, el CCA constató que por problemas técnicos no había ningún ROV capaz de trabajar a la profundidad de 4.000 m que se requería ⁷ (lo había sin embargo para tareas de observación). Por ello la decisión que tomó el CCA el 18 de diciembre de encomendar el trabajo al *Nautile* se reveló crucial para concluir con éxito las tareas de obturación provisional, hasta dejar una *fuga residual inferior a 2 t diarias*, el 13 de febrero de 2003.

El día 19 de diciembre el *Nautile* comenzó a trabajar en popa y al día siguiente en proa con un fin: eliminar estachas y restos que im-

⁷ De hecho, la mayor dificultad radica en un rediseño del *umbilical* que une el ROV al barco nodriza. Ese problema y otros menores han sido finalmente resueltos por la industria, aunque no ha sido sino hasta la primavera de 2003.

pedían el libre acceso al pecio. Durante esa tarea se detectaron otras seis fugas nuevas, lo que, además de constituir una mala noticia, suponía que el *caudal de fuga debía sin duda ser superior a las 125 t diarias estimadas en un principio*.

A pesar de haber programado que el submarino tomara muestras y leyera la temperatura en varias fugas a lo largo de las campañas, la presión de las circunstancias hizo que desde el CCA se diera prioridad absoluta a la obturación de fugas. A ello se dedicó en las 7 campañas de su actuación que totalizaron 46 días de trabajo hasta el 15 de febrero de 2003, durante las que se efectuaron 106 horas de inmersión (la media de cada inmersión era de 4 horas). Además, el rendimiento de uso del *Nautilo* (días de trabajo posibilitado por el clima) fue del 56% (43% si se incluyen los días de avituallamiento en Vigo). Las técnicas de obturación seguidas fueron distintas, según el tipo de fuga:

- *Tapas de escotilla*: cierre completo de la tapa girando el volante de cierre.
- *Escotillones con tapa de bisagra*: recolocación de la tapa y afirmado con sacos de granalla de acero.
- *Grietas en cubierta*: colocación de sacos impermeabilizados, lastrados con granalla/barita⁸.
- *Registros abiertos*: tapa de acero con brazos articulados ajustables.
- *Bitas en proa*: campana lastrada con sacos de granalla de acero.
- *Válvula de regulación de gas inerte en proa*: saco de lona especial ajustado por la parte inferior.

En todas las campañas participaron investigadores y técnicos españoles, en concreto a bordo del *Atalante* y en contacto directo con el CCA, 9 personas del CSIC (del Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo y de la Unidad de Tecnología Marina con sede en Barcelona), 1 del IEO, 2 de la Universidad de Vigo, 1 de la Universidad de A Coruña (El Ferrol) y 3 de IZAR. Algunas de ellas eran miembros del CCA, que además se sumergieron en el *Nautilo* en calidad de observadores, sobre todo durante los últimos días de operación (1.ª quincena de febrero) con objeto de validar, desde el CCA, el estado final de cada fuga.

⁸ Sulfato de Bario.

6.2.5. Estructuración de las tareas del Comité Científico Asesor

Las actuaciones del CCA pueden dividirse en dos bloques: las que le fueron encomendadas que denominamos *reactivas* y las que el CCA propuso realizar que podemos calificar de *proactivas*. Serían, por mejor decir, los *encargos recibidos* y las *recomendaciones e iniciativas propuestas*. Las actuaciones reactivas se centran en torno a un mandato único: neutralizar el vertido del *Prestige*, tarea que a su vez se dividió en dos fases, la primera dirigida a contener las fugas para dar tiempo a la consideración, el diseño y el desarrollo de la segunda: estudio del pecio y propuesta de la metodología que habría de seguirse para neutralizar definitivamente los pecios y conjurar el peligro de un vertido del fuel que quedaba en los tanques.

Por su parte, las *proactivas* fueron surgiendo a medida que los análisis y las valoraciones del CCA lo encontraron pertinente y, a grandes rasgos, fueron:

- Creación de un *Grupo de Oceanografía Operacional* para el seguimiento y predicción de las trayectorias de los vertidos.
- Constitución de un *operativo de seguimiento analítico* de las manchas de fuel.
- Análisis de la acumulación de fuel a media profundidad y en fondos marinos.
- Estudio de sismicidad y calidad de los fondos en la zona de los pecios.
- Estudio de la corrosión de los restos hundidos.
- Modelo térmico de los tanques con su carga de fuel.
- Análisis primario de la posibilidad de emplear métodos de biorremediación para la eliminación del fuel.
- Informes sobre limpieza de zonas rocosas.
- Diseño de un Programa de Intervención Científica (PIC) sobre la catástrofe.

6.2.6. Neutralización de los pecios. Fase II

Iniciada la dinámica de neutralización de los pecios en su fase I, correspondiente a la obturación provisional del máximo número de fugas, el trabajo de carácter reactivo del CCA relativo a la neutralización inició su segunda fase, centrándose en el análisis de las posibles soluciones del problema que tuvieran un carácter más defini-

tivo. A pesar de que el carácter provisional de las obturaciones que se estaban realizando en la fase I permitía no sólo un estudio del problema en condiciones de mayor sosiego, sino tener unas perspectivas de durabilidad razonables, la sola consideración de alguno de los problemas o complicaciones potenciales que el devenir del tiempo podía producir (como la corrosión del casco o la existencia de un riesgo de sismicidad moderada), hacía necesario plantear el estudio de soluciones de carácter definitivo. Sin embargo, el CCA fue pronto consciente de la dificultad del problema derivado de las condiciones extremas de situación de los pecios: nunca se había abordado una situación de esa naturaleza a tal profundidad. Por lo tanto se estaba ante un auténtico desafío al estado del conocimiento y la técnica y traía consigo un evidente y altísimo riesgo de fracaso, derivado precisamente de esa naturaleza. Se necesitaban soluciones sencillas y contrastadas con otras experiencias anteriores (que no existían en esas condiciones) o extrapoladas a partir de ellas; que pudieran acometerse en el menor plazo posible; que redujeran al máximo, durante su puesta en marcha, los riesgos de contaminación a corto y largo plazo; y se veía necesaria también, en la fase operativa, una gestión empresarial con capacidad y experiencia en integración de tecnologías, ya que no había ninguna de ellas capaz por sí sola de resolver el problema. En todos los estudios de soluciones no se tuvo en cuenta el factor económico, porque se consideró que en ese momento era secundario y hay que decir que el CCA nunca recibió la menor indicación, mucho menos presión, para tenerlo en cuenta.

En principio se analizaron tres líneas de actuación distintas:

- Dejar el fuel en el lugar del hundimiento.
 - No realizar ninguna actuación sobre el pecio: confiar en la máxima durabilidad de la fase I de neutralización (obtención provisional de las fugas).
 - Confinar los pecios en sarcófagos, cofres, o recintos capaces de contener potenciales escapes.
 - Neutralizar el fuel por desnaturalización.
- Extraer el fuel.
 - Reflotar las dos partes del pecio.

- Extraer la carga sin control y recogerla en superficie.
- Extraer la carga de forma controlada.
 - Procesamiento continuo (exige la instalación de un *riser*)⁹.
 - Procesamiento *Batch* (o por lotes), que no necesita *riser*.
 - Reflotar las dos.

La consideración obvia de que la carga de fuel extraída no daría nunca problemas mientras que una carga confinada o enterrada podía suponer a la larga un problema de contaminación estuvo presente en todas las deliberaciones y fue un factor crítico a la hora de explorar con una mayor intensidad las posibilidades de extracción definitiva.

El reflotamiento o extracción del buque entero tenía antecedentes de éxito. El cuadro 6.1 resume algunos casos:

CUADRO 6.1: Algunos casos de reflotamiento/extracción de pecios

Año	Barco	Profundidad	Actuación realizada	Localización
1928	<i>Vasa</i>	30 m	Reflotado (por cable) en 1960 y llevado a 15 m de profundidad donde se restauró	Archipiélago de Estocolmo
1968	<i>K-129</i> , submarino ruso de clase Golf	5.000 m	Sin confirmación oficial: en 1974 el <i>Hughes Glomar Explorer</i> , desde superficie, recuperó 11 m de la proa	Hawai
2000	<i>Kursk</i> , submarino nuclear ruso	108 m	El submarino fue izado a una posición debajo de la barcaza <i>Giant 4</i> y transportado a dique, en octubre de 2001	A 90 millas de la base de Murmansk
2001	<i>Ehime Maru</i> , BIO Japonés	600 m	Hundido tras colisionar con submarino de EE. UU. emergiendo. Reflotado hasta 30 m para recuperar los cadáveres	Hawai

⁹ El *riser* es la estructura de canalizaciones que, verticalmente, debe unir el punto de operación en una prospección petrolífera en el fondo del mar, con la superficie donde están los buques de control y carga.

En todos ellos la profundidad era menor que en el caso del *Prestige*. Además en nuestro caso los daños estructurales no permitían confiar en la integridad del pecio durante la operación de reflotamiento, con el consiguiente peligro de contaminación masiva.

El reflotamiento puede plantearse mediante distintas técnicas¹⁰, tales como flotadores, izado por cables, barcazas, etc. Existía el antecedente inmediato del *Kursk*, sacado el año 2000 desde 108 m de profundidad. Ahora bien, para que un reflotamiento tenga éxito, se requiere que la estructura sea resistente; que previamente se haya liberado el máximo de la carga de sus depósitos y, en el otro lado de la balanza, el riesgo de contaminación es muy elevado.

La extracción no controlada requiere el desarrollo de una tecnología de voladura controlada bajo presiones de 400 atm. Eso, unido al riesgo de dispersar el fuel hacen ese método muy poco aconsejable.

La extracción controlada tiene algunos antecedentes inmediatos, aunque a profundidades mucho menores, cómodamente accesibles:

- *Ievoli Sun*: en abril-mayo de 2001 se recuperaron por bombeo 4.000 t de estireno y fuel del buque hundido en el Canal de La Mancha a 95 m. Se usaron rovs y tecnología de *hot tapping*¹¹.
- *Erika*: extraídas 11.000 t de fuel por bombeo en el verano de 2000, del pecio hundido a 125 m (costa de Bretaña francesa). Por sus características es el modelo más parecido al caso del *Prestige* (salvando el problema de profundidad).

En general el análisis de cada solución se hizo teniendo en cuenta variables de peso: los antecedentes a esas profundidades y la experiencia probada; las tecnologías implicadas; el plazo de ejecución estimado y los riesgos potenciales inherentes a la operación.

¹⁰ Hay que tener en cuenta de cualquier forma que el *peso en rosca, en seco* de la estructura es del orden de 7.000 t la popa y 6.000 t la proa, al que hay que añadir el de la carga de fuel remanente.

¹¹ Perforación de un depósito (natural o artificial) que contiene crudo, para instalar una válvula que permita la extracción bajo condiciones controladas.

La reflexión sobre el *confinamiento* arrojó una serie de datos definitivos. En primer lugar se necesitaban rovers capaces de operar a semejantes profundidades, lo que requería el desarrollo y validación de nuevas capacidades sobre esos equipos. El enterramiento con arcilla o grava (técnica conocida como *cubrimiento*) necesitaría del orden de 2,5 millones de m³ para cubrir ambos pecios. El cubrimiento con clatrato (NaCl-CO₂-H₂O) a partir de una inyección de CO₂ parecía una solución sólida y estable¹² en las condiciones ambientales del lugar donde se encuentra el pecio (temperatura de 2,6°C, salinidad del agua de 3,49% y una presión de 360 atm), aunque se trataba de un método aún muy experimental, probado a pequeña escala y del que no se tenía certeza de sus resultados a la larga, ya que no ha sido posible demostrar en ningún caso, ni siquiera en los experimentos que ha realizado el Monterey Bay Research Institute (MBARI) de California (Estados Unidos), de que el compuesto clatrato a esas profundidades pueda formar una red tridimensional relativamente rígida y adherida al pecio, sin que se disperse sobre el fondo oceánico.

En cuanto al *sarcófago* es posible pensar en un *cofre* de hormigón, de acero, de resina *epoxy* o de otro material más o menos hermético, aunque siempre capaz de contener eventuales vertidos que por su flotabilidad tienden a subir. No hay duda de que existe experiencia española en la fabricación de grandes estructuras de estos materiales, así como en su transporte y colocación precisa. La técnica del *hormigón proyectado* también se analizó, pero no había precedentes para ese tamaño y a esa profundidad. La *desnaturalización* o neutralización del fuel por procesos químicos o bioquímicos se podría efectuar por medio de la *polimerización*, esto es, la fabricación de materiales poliméricos a partir de monómeros olefínicos, pero no era posible porque se necesitan catalizadores (AlCl₃-TiCl₃, metalocenos) que no operan en el agua y, además, necesitan altas temperaturas. La *incineración* (por combustión), que podía ser otro procedimiento de desnaturalización, requiere enormes cantidades de aire y combustible (gas) para calentar hasta el punto de ignición (160°C) y, para más dificultad, los productos resultantes son altamente con-

¹² Véase: <http://www.acri.fr/co2/diox-1.htm>.

taminantes (SO₂). Por otro lado, la *biodegradación* es capaz de eliminar cantidades pequeñas de fuel, pero necesita nutrientes y es relativamente lenta. No obstante, existe la experiencia de su uso en la fase final de la catástrofe del *Erika*, para eliminar el fuel remanente, una vez concluida la extracción por bombeo del volumen mas importante ¹³.

Con respecto a la extracción controlada se pueden considerar dos tipos de métodos. El primero es el de extracción *on line* como proceso continuo de bombeo o de conducción del fuel desde el depósito (tanques del buque) hasta el destino (buque de almacenamiento en superficie). Requiere de un *riser* y en ocasiones, para rebajar la viscosidad, utilizar algún diluyente como el *éster metilo de colza*. La experiencia inmediata es la del *Erika*. El segundo método es el de extracción *batch* o por lotes: se trata un proceso de extracción, almacenamiento submarino y de descarga por lotes, bien usando campanas, paraguas, globos, bolsas, o dispositivos semejantes. Con esta técnica en principio no sería necesario usar el *riser*. El método tiene un pequeño inconveniente para asumir la responsabilidad de ponerlo en marcha: nunca se ha ejecutado, por lo tanto, no existen antecedentes probados ¹⁴.

Por lo demás en ambas situaciones se necesita utilizar la técnica *hot tapping* de perforación, extender la capacidad de trabajo de los rovs hasta 4.000 m y validarla, así como que el fuel pueda fluir a lo largo de algunos metros hasta un mezclador de diluyente (problema de viscosidad/adherencia).

El cuadro 6.2 resume las opciones barajadas.

¹³ Se sembraron colonias de bacterias con nutrientes, para facilitar la eliminación de los restos a largo plazo.

¹⁴ La compañía OIL STOP LCC, de Estados Unidos, tiene al parecer una patente sobre los *sub sea oil collector*, que no ha sido comprobada a las profundidades y en las condiciones del *Prestige* (<http://www.oilstop.com>).

CUADRO 6.2: Opciones barajadas para la neutralización definitiva del pecio del *Prestige*

	Método	Viabilidad primaria	Referencias	Riesgo medioamb.	Plazo estimado	Coste estimado
Confinamiento	Cubrimiento	Sí	<i>Pallas</i> 1998 (pocos m)	Medio	<i>Pallas</i> : 1 año	<i>Pallas</i> : 18 M DM
	Clatrato de CO ₂	No				
	Cofre de hormigón	Sí	Ninguna	Pequeño. Necesitado de revisiones	2 años	130 M€
	Cofre Metálico	Sí	Ninguna	Medio. Necesitado de revisiones	10 meses	100 M€
Desnaturalización	Polimerizac.	No (fondo marino)				
	Incineración	No (fondo marino)				
	Biodegrad.	No (sólo al final)	<i>Erika</i>			
Reflotamiento	Barcazas	Probado a poca profundidad	<i>Kursk</i>	Alto, con los tanques llenos		
	Flotadores	No probado	Con pecio intacto	Alto, con los tanques llenos		
Extracción	Salida incontrolada	No		Enorme		
	Extracción por bombeo controlado	Sí	<i>Bohlem</i> , <i>Tanio</i> , <i>Yiul 1</i> , <i>Osung 3</i> , <i>Erika</i>	Poco	8 meses	200 M€

6.2.7. El fuel que queda en los pecios

La pérdida total de la carga contenida en los tanques 4E y 3C se produjo entre el instante del accidente y el hundimiento e impacto final con el lecho marino de las dos partes en que quedó dividido el buque, seguido del deslizamiento de la porción de popa sobre el fondo marino. La estructura del tanque 3C desapareció prácticamente en los procesos de rotura y hundimiento, por lo que desde la avería inicial hasta que tocó fondo se vertieron al mar *al menos* unas 16.884 t que corresponden a la capacidad de los tanques 3C y 4E.

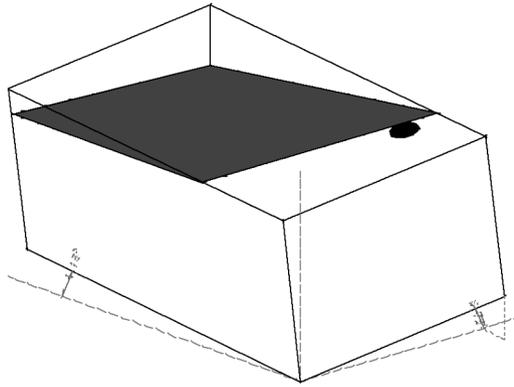
Tras el hundimiento y una vez detectadas las 20 fugas existentes en ambos pecios, para evaluar el caudal de fuel vertido se procedió al análisis de las estimaciones de velocidad de salida del fuel y sección de las fugas, obtenida de las imágenes de vídeo tomadas en las inmersiones y de los valores de temperatura del fuel obtenidos también por el submarino. Como quiera que entre el día del hundimiento (19 de noviembre) y el del primer avistamiento del pecio (2 y 7 de diciembre para la proa y la popa, respectivamente) transcurrieron aproximadamente dos semanas, la cantidad de fuel que se pudo perder por las fugas identificadas se estimó a partir de una ley exponencial que aproxima el caudal en función de la temperatura ¹⁵. Para que dicha aproximación diera valores que respondieran a lo que posteriormente se observó, hubo que considerar un comportamiento no newtoniano del flujo.

Uno de los datos más significativos del cálculo de fugas reside en el hecho de que las aberturas para la máquina de limpieza (*butterworth*) de los tanques 4C y 4B fueron sondadas mecánicamente por el *Nautile*, el día 26 de enero. El cable de sonda lastrado que se introdujo, de una longitud aproximada de un metro, salió limpio de fuel, lo que permitió asegurar que el nivel de fuel en ese tanque era sensiblemente inferior al supuesto en los cálculos anteriores. Esto hizo que se reconsiderara lo que se creía que quedaba de fuel, corrigiéndose las estimaciones que se tenían hasta esa fecha para la parte de popa del pecio. No podía haber más fuel del que físicamente se puede alojar a popa de dichas tapas abiertas, considerando la escora y el trimado con el que quedó esta parte del pecio tras el hundimiento.

La situación de la parte de popa del pecio sobre el lecho marino es la que se refleja esquemáticamente en la figura 6.1. Se encuentra asentada de proa aproximadamente 15° en el sentido popa proa, y entre 12° y 15° en el sentido babor-estribor. Con estos datos es posible evaluar la cantidad máxima de fuel que puede quedar retenida en este tanque, en unas 2.400 t. Análogamente en el tanque 4B han sido detectados otros registros *butterworth* sin fuga aparente, lo que permite suponer una situación similar de pérdida parcial de la carga, con una cantidad máxima remanente en el tanque de unas 200 t.

¹⁵ Es obvio que en el momento del impacto con el fondo marino (debido precisamente a ello) y durante esas dos semanas pudo producirse una fuga masiva que no se corresponde con el *estado estacionario* posterior, en el que se estiman los caudales de flujo.

FIGURA 6.1: Inclinación del pecio de popa, la superficie de fuel en un tanque y un registro *butterworth*



En virtud de los caudales de fuga estimados, es muy posible que la pérdida de gran parte de fuel en ambos tanques de popa se produjera durante el hundimiento y más concretamente en el impacto contra el fondo marino y posterior deslizamiento de esta parte del pecio, hasta alcanzar la posición de equilibrio que ahora ocupa, ya que el proceso debió suponer un gran deterioro de la estructura, que resultó con grandes deformaciones y roturas. Como consecuencia de ello cabe pensar que los tanques almacén, de sedimentación y de servicio diario de fuel propio, contenidos en la cámara de máquinas y en contacto con el mamparo de proa de la cámara de bombas, también resultaron dañados, con un posible vertido de su contenido, que se estima en 1.200 t.

Con los datos que el CCA ha tenido a su disposición hasta febrero de 2003, no es posible afirmar si el fuel perdido fue derramado al mar, o si aún se encuentra ocupando otros espacios más a popa, como son la cámara de máquinas y sus aledaños. Por consiguiente, tampoco se puede aseverar si las cantidades remanentes evaluadas con los datos parciales conocidos en esas fechas reflejan de modo cierto el estado actual de los tanques de la parte de popa del pecio, por lo que el informe final del CCA consideraba necesario que en las primeras fases de la solución definitiva de neutralización se debería realizar un sondado de todos los tanques, utilizando los correspondientes ROV de trabajo.

Como resumen de todo lo anterior, en el informe de neutralización de los pecios que finalmente emitió el CCA a mediados de febre-

ro de 2003, se estimó que quedaban dentro del pecio un máximo de 37.517 t, aproximadamente la mitad de lo que al parecer transportaba el *Prestige*. Asimismo, dada la poca fiabilidad de los indicios y la falta de medidas precisas, se recomendaba que durante la siguiente fase de neutralización se tomaran las medidas necesarias para validar esas conclusiones, lo cual se llevó a cabo en el verano de 2003, una vez puestos a punto los ROV capaces de operar a esas profundidades¹⁶. Las mediciones rebajaron las estimaciones: en *popa quedaban 700 t y en proa 13.000 t*.

6.2.8. El Informe del Comité Científico Asesor

Finalmente el 14 de febrero de 2003 y de forma simultánea, finalizó la fase I de eliminación provisional de fugas (quedó una fuga remanente inferior a 2 t diarias, lo que significa menos del 1,6% de la estimada inicialmente) y se presentó a la Prensa y se publicó en la *web* del CCA el *Informe del CCA para la fase II*, completando así una colección de informes que habían ido apareciendo desde el 10 de diciembre de 2002. El día anterior a este Informe se había presentado al Vicepresidente del Gobierno, presidente de la Comisión Interministerial.

El *Informe* recomendaba como primera opción la extracción del fuel y como segunda, el sarcófago. Además, recomendaba el estudio de viabilidad de ROV a 4.000 m, así como el de fluencia del fuel. En tercer lugar, recomendaba que la fase operativa, incluyendo los estudios de viabilidad apuntados, la gestionara una empresa o grupo de empresas¹⁷. La cuarta recomendación proponía el sondado de los tanques para lograr una valoración veraz del fuel que quedaba en los pecios; instaba a que se tomaran todas las medidas posibles y con la máxima celeridad para intentar la extracción en el verano de 2003 y, finalmente, recomendaba la vigilancia e inspección continua o periódica del pecio, para saber qué estaba ocurriendo en el fondo del mar.

¹⁶ Desde el *Prince Polar*, buque noruego fletado por Repsol YPF que midió el contenido de los tanques usando una técnica de *neutrones térmicos*, derivada de la empleada para la evaluación de contenidos de bolsas de petróleo.

¹⁷ Al día siguiente la Comisión Interministerial encargó la implementación de la fase operacional a la empresa Repsol YPF.

6.2.9. Actuaciones proactivas del cca

El cca respondió a algunas consultas puntuales, realizadas desde distintos departamentos que estaban desarrollando iniciativas y actuaciones en relación con el tema del *Prestige* (limpieza de rocas, biorremediación). El grueso del trabajo corresponde sin embargo a las actuaciones que, con carácter proactivo, fue recomendando el cca en paralelo con los trabajos e informes correspondientes a las fases I y II de neutralización. Estas tareas se pusieron en marcha de tal manera que quedaron realizadas o habían adquirido autonomía propia cuando el cca quedó disuelto a finales del mes de febrero de 2003 y una vez encomendada la fase operativa de la neutralización definitiva a la empresa Repsol YPF, toda vez que el cca no las ejecutaba, sino que recomendaba su ejecución, orientaba su línea de trabajo y en su caso, indicaba quien, a su juicio, podía desarrollarlas.

6.2.9.1. Grupo de Oceanografía Operacional

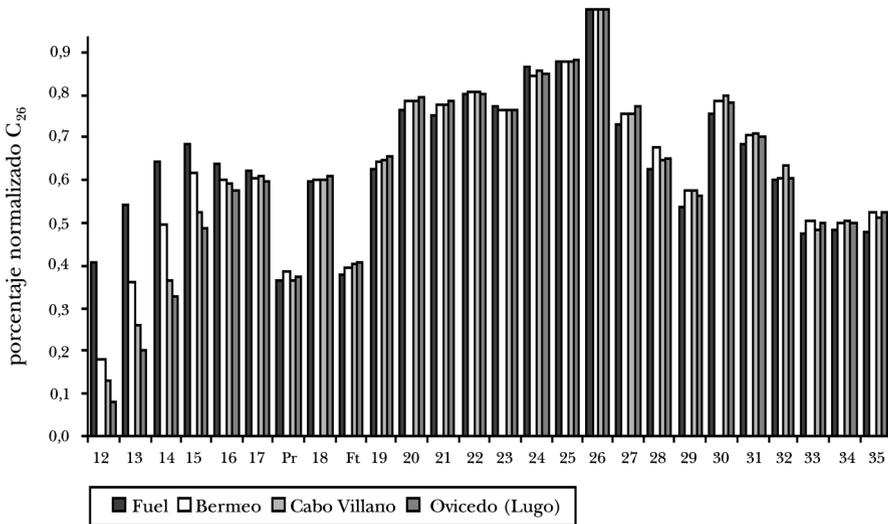
Por recomendación del cca (12 de diciembre de 2002), se encomienda al CSIC (IMEDEA) la organización y puesta en marcha de un grupo de trabajo para determinar y predecir las trayectorias de las manchas de fuel asociadas al vertido del *Prestige*. El grupo se organizó con la colaboración de investigadores del CSIC (IMEDEA, ICM e IIM), INTA, Universidad de Harvard, NOAA y Saclant Undersea Research Centre (Estados Unidos), Organismo Puertos del Estado, SASEMAR, Instituto Superior Técnico (IST) e Instituto Hidrográfico (Portugal), Universidades de Vigo, Cantabria y Santiago de Compostela e Instituto Español de Oceanografía (IEO). El grupo planteó un trabajo basado en la obtención de datos (por medio de las informaciones remitidas por buques, mediante lanzamiento de boyas de deriva, observaciones de aviones y satélites...), seguido del desarrollo de modelos de predicción (zonas de integración, condiciones meteorológicas). De esta manera la asimilación de datos y la simulación de las trayectorias del vertido permitieron mantener, desde mediados de enero, una información en la *web*, que además se comunicaba puntualmente a SASEMAR para tenerla en cuenta en la gestión de las medidas contra la contaminación.

6.2.9.2. Seguimiento analítico de manchas de fuel

Por recomendación del cca, a partir del 9 de enero de 2003 y a la vista de la llegada de una segunda oleada de fuel, el IIQAB del CSIC

montó una estructura para el seguimiento analítico de manchas avistadas o recibidas en las playas. La metodología establecida necesitó el desarrollo de protocolos de toma de muestras y la puesta a punto de los métodos de análisis. A través de ellos se puede identificar no sólo *la huella* de un vertido para conocer si corresponde al fuel del *Prestige*, sino también el tiempo aproximado de exposición al ambiente, lo que permite distinguir si se trata de un vertido que corresponde al original de noviembre de 2002, a un nuevo vertido, o a restos antiguos aflorados o redepositados por el oleaje. De esta manera y hasta el verano de 2003 se ha podido comprobar que los restos de fuel recogidos en las playas corresponden al primer vertido ¹⁸, encontrándose también que empiezan a aparecer restos de fuel que no corresponden a la composición del que transportaba el *Prestige* y que sin duda responden a vertidos de carácter fraudulento provenientes de otros petroleros. En julio de 2003 el

GRÁFICO 6.1: Distribuciones relativas de n-alcanos en el fuel del *Prestige* y en muestras recogidas en la costa al cabo de un mes (Bermeo) y dos meses del vertido (Cabo Villano y Ovicedo)



Nota: Pr-Pristano, Ft-Fitano.

¹⁸ O lo que es lo mismo, no hay evidencia de que esté llegando a las playas fuel vertido con posterioridad a los primeros días del hundimiento.

porcentaje de muestras que no corresponden a fuel del *Prestige* alcanzó valores del 30%.

6.2.9.3. Acumulación de fuel en el fondo marino

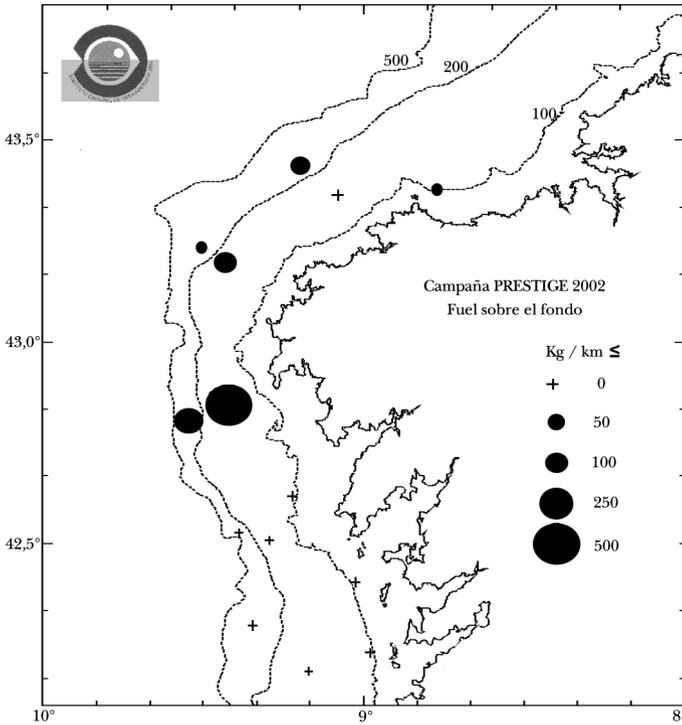
La tarea de estudiar la acumulación de fuel a media profundidad y en fondos fue desarrollada por investigadores del Instituto Español de Oceanografía (IEO). A mediados de diciembre se inició la primera de una serie de campañas destinadas a analizar el contenido de hidrocarburos en el sedimento y en la columna de agua, así como la afectación de comunidades demersales de seres vivos. En segundo lugar, se empezó a usar dragas *box corer* y a tomar muestras de agua en botellas *go flow*. Se llegó a interesantes conclusiones para la gestión del problema ambiental: las concentraciones de hidrocarburos aromáticos policíclicos en el agua eran, en general, bastante bajas; los valores más elevados se encontraban en las cercanías del fondo y en las proximidades de la costa, especialmente en la zona comprendida entre Finisterre y Carnota y, por último, en una primera aproximación, la distribución y abundancia de las principales especies comerciales no parecía haber sido afectada en gran medida por los vertidos del *Prestige*. El cuadro 6.3 y el mapa 6.1 corresponden a los resultados de una de las campañas.

CUADRO 6.3: Índices de cantidades de fuel por estratos de profundidad
(yst está expresado en g / 15 minutos arrastre y se es el error estándar)

Estrato	Yst	SE
70-120m	31,00	0,00
121-200m	547,17	441,98
201-500m	232,67	155,57
Total	270,28	156,19

Fuente: IEO.

MAPA 6.1: Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos poliaromáticos totales en sedimento, en la plataforma de Galicia



Fuente: IEO, 21 de diciembre de 2002.

6.2.9.4. Estudio de sismicidad

Por sugerencia del CCA se encomendó al CSIC (concretamente a la Unidad de Tecnología Marina) otra de las actuaciones proactivas, que consistió en el estudio de la sismicidad y calidad de los fondos en la zona de los pecios. Con vistas a valorar la viabilidad primaria de un encofrado, era necesario conocer la sismicidad y la calidad/estabilidad de fondos en esa zona. Este estudio debía extenderse y profundizarse durante el desarrollo de los trabajos de la fase II operacional. Para ello se hizo acopio de datos de localizaciones de eventos terremotos proporcionados por la red internacional IRIS, y por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), así como de información de sísmica de reflexión vertical que aporta imágenes de las estructuras en profundidad y que permite definir los rasgos estructurales más sobresalientes de la zona de

estudio. Se concluyó de forma preliminar que la zona suroeste del banco de Galicia, donde están los pecios, presenta una menor sismicidad que la zona norte, si bien es una zona con cierto riesgo, dada la posición geodinámica de la estructura y zona, en el límite entre las cortezas oceánica y continental. En la superficie del fondo marino se detecta una zona de bloques basculados que denotan actividad tectónica. Por ello se decidió que el estudio debería ampliarse con una campaña ad hoc, incluyendo la utilización de microsismógrafos en la zona del pecio. La campaña se ha desarrollado en verano-otoño de 2003 y están analizándose los datos obtenidos ¹⁹.

6.2.9.5. Estudio de corrosión

La tarea de evaluar el riesgo de corrosión de los pecios se encomendó al CSIC (CENIM, Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas), junto con la Universidad de Vigo (Departamento de Mecánica Aplicada y Construcción). El CCA pidió que se hiciera un estudio sobre el alcance de los fenómenos de corrosión en las planchas metálicas del pecio, para cuantificar en lo posible la velocidad del proceso y valorar los riesgos de desintegración de la estructura a largo plazo. A partir de datos de corrosión en aguas y profundidades semejantes, obtenidos en el Laboratorio de Ingeniería Civil Naval de Port Hueneme (Estados Unidos), se dedujo que el efecto de CO₂ es despreciable y que la concentración de oxígeno en el agua de mar era la variable ambiental más importante en el proceso, y en menor medida la temperatura, según el modelo siguiente:

$$\text{Corrosión (mm/año)} = 21,3 + 24,5 [\text{O}_2] + 0,356 t$$

Por otro lado, teniendo en cuenta los espesores originales de las planchas de mamparos, costados y cubierta del *Prestige* (10, 15,5 y 20 mm, respectivamente) y la velocidad de corrosión puntual, los tiempos requeridos para producir perforaciones en cubierta serían de 54 años, mientras que en mamparos y costados estas perforaciones se producirían a los 23 y 40 años, respectivamente. Esta corrosión localizada no supondría en principio la pérdida de la resistencia estructural del conjunto, que se corroería a un ritmo cinco veces más lento, aunque parece evidente que se podrían producir fugas masi-

¹⁹ En el marco temporal de la campaña MARCONI, realizada por investigadores del ICM del CSIC en agosto y septiembre de 2003, a bordo del BIO *Hespérides*.

vas. Podría concluirse que por más que en un momento dado se sellaran totalmente las fugas, el deterioro estructural local a partir de los 23/40 años desde el hundimiento sería suficiente para no poder evitar que el fuel saliera definitivamente de todos los tanques ²⁰.

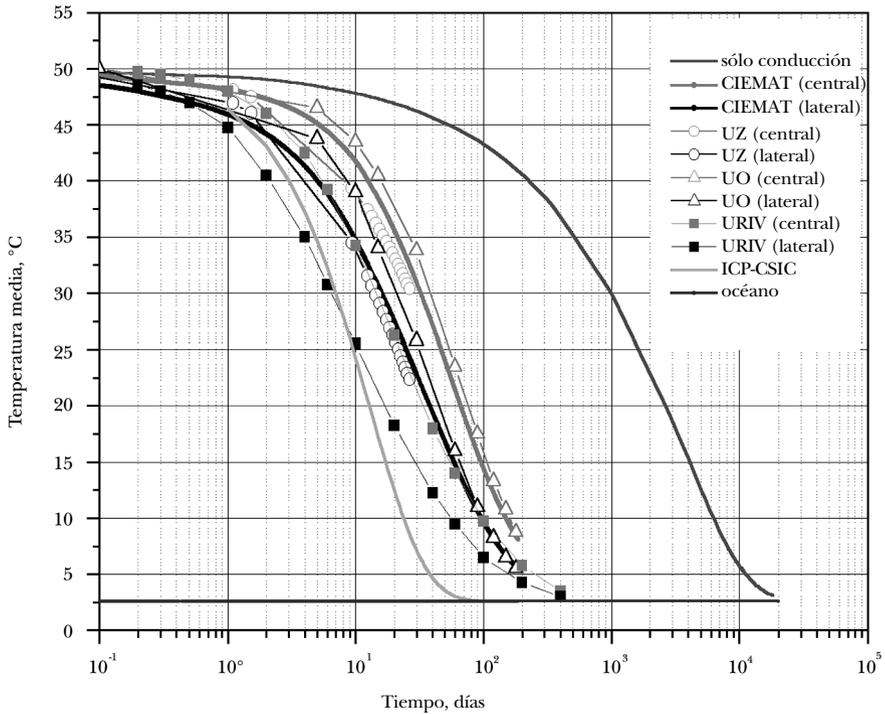
6.2.9.6. Modelo térmico de enfriamiento del fuel

La tarea de desarrollar un modelo térmico que permitiera estimar la dinámica de enfriamiento del fuel fue considerada por el CCA de primera importancia, toda vez que a partir de sus resultados, de la viscosidad y adherencia del fuel y su variación con la temperatura, se puede valorar la probabilidad de que el fuel pueda fluir durante una operación de extracción o eventualmente se quede en los tanques, si no en estado sólido, sí en condiciones que aseguren su inmovilización en los pecios.

El trabajo fue encomendado al Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales (CIEMAT), que lo desarrolló contando con la colaboración de investigadores de la EETSI Aeronáuticos (UPM), la Universidad Nacional de Educación a Distancia, la Universidad de Zaragoza, la Universidad de Oviedo, la Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, la Universidad de Santiago de Compostela, la ETSI Industriales y la ETSI de Minas (UPM), el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC, la Universidad Técnica de Delft (Holanda) y el Centro de Investigaciones de TOTALFINAELF de Francia.

El problema es extraordinariamente complejo por la especial y distinta geometría tridimensional de cada tanque, con distintas condiciones de contorno, que en muchos casos son variables. Se integraron en el estudio los pocos valores experimentales obtenidos con gran dificultad por el *Nautilo* en la medida de temperatura y se llegó a una primera conclusión: el fenómeno que prevalece y que hace que el fuel se enfríe más rápidamente es el de convección. Los resultados de los distintos grupos de trabajo dan una horquilla de resultados que permiten prever el régimen de enfriamiento: en promedio la temperatura del fuel en el caso de un tanque ideal (sin geometrías especiales tipo cuadernas y mamparos de refuerzo) baja a 10°C en dos meses y tarda del orden de un año en estabilizarse a la temperatura del medio marino que lo rodea. El gráfico 6.2 presenta algunos de estos resultados.

²⁰ Siempre que las condiciones de viscosidad y adherencia lo permitieran.

GRÁFICO 6.2: Resultados de simulación del enfriamiento del fuel en un tanque del *Prestige*

Fuente: CIEMAT (distintos equipos de investigación).

6.2.9.7. Programa de Intervención Científica

El 2 de diciembre de 2002, la Secretaría General de Política Científica del MCYT encargó al CSIC la elaboración de un documento que estableciese el *Programa de Intervención Científica del MCYT (PIC)* a medio y largo plazo, en relación con el buque *Prestige*, integrando las capacidades y conocimientos del CSIC, el IGM y el IEO. Por recomendación posterior del CCA, el MCYT confirmó esta tarea de redacción y coordinación inicial al CSIC, extendiendo su marco de implicación al conjunto de los Centros Públicos de I + D (Universidades y los OPI).

Tras realizar varios borradores, el Programa entró en su fase de confección final a partir de una reunión celebrada a finales del mes de enero en el Ministerio de Ciencia y Tecnología, a la que asistieron más de 80 expertos de 15 Universidades, 4 Organismos Públicos de Investigación, SASEMAR y Puertos del Estado.

El PIC del MCYT se encuadra en el marco de la *acción estratégica* que el Gobierno diseñó para paliar y remediar los efectos del vertido. El PIC está coordinado por la Comisión de Coordinación Científica de la Acción Estratégica, comisión en la que participan tanto miembros del CSIC como de otros OPI y Universidades y que empezó a trabajar el 21 de febrero de 2003. La coordinación con otros Ministerios y actividades es responsabilidad de la Comisión Ejecutiva dirigida por el Comisionado del Gobierno para las actuaciones derivadas del vertido del buque *Prestige*.

Las investigaciones del PIC de especial urgencia se encuadraron en el marco de nueve acciones especiales del Plan Nacional de I + D + I. Estas investigaciones²¹ se iniciaron en abril y finalizaron en noviembre de 2003. Las investigaciones del PIC a medio plazo se han encuadrado en el marco de una convocatoria pública de proyectos de investigación financiada por el Plan Nacional de I + D + I que se publicó en el *BOE* el 21 de marzo de 2003 y que inició su ejecución durante el mes de octubre de 2003.

Las líneas que en principio cubre el PIC son las siguientes:

- Estudio del pecio, desde la perspectiva de la estructura del buque y de las características y comportamiento de su contenido.
- Seguimiento y modelización de las trayectorias que corresponden a los vertidos de fuel desde la zona del hundimiento, su evaluación oceanográfica y su incidencia en las medidas de lucha contra el vertido en puertos, rías y costa en general.
- Estudio del comportamiento ambiental del fuel derramado para analizar su distribución y persistencia en el medio.
- Estudio del impacto sobre el medio biológico, desde el punto de vista de su valor ecológico y comercial.
- Impacto socioeconómico del accidente y propuestas de prevención de riesgos (protocolos y planes de contingencia).
- Coordinación general y tareas horizontales para asegurar el perfeccionamiento y cooperación de todo el esfuerzo investigador y una adecuada transferencia de los resultados a la sociedad.

²¹ Puede obtenerse más información en <http://otvm.uvigo.es/invesprestige.html>.

Algunas de las tareas de estas líneas fueron iniciadas a través de las actuaciones proactivas del CCA, y otras fueron cubiertas a través de las *acciones especiales urgentes*, puestas en marcha después de la disolución del CCA.

6.3. El papel del CSIC

El 19 de noviembre de 2002 se hundió el petrolero *Prestige*, tras varios días de zozobras que apuntaban esa posibilidad.

El *lunes 18 de noviembre*, es decir, un día antes del hundimiento, el CSIC realizó el primer informe sobre sus propias capacidades de acción en el tema del vertido. Tenía dos páginas y en él se advertía que existirían tres fases de impactos medioambientales: en la primera, el impacto mecánico y químico serían altamente tóxicos; en la segunda, habría un impacto ecológico y ecotóxico y en la tercera, destacaría la repercusión netamente ecológica. Ante la certeza de que la situación que se avecinaba no era muy halagüeña, se propusieron varias actuaciones:

- *Seguir la trayectoria del vertido, estudiando su impacto y preparando una evaluación oceanográfica* (las trayectorias del crudo, sedimentos, columna de agua...).
- *Estudiar el impacto y realizar una evaluación biológica* (analizando la abundancia y el estado de salud de larvas de peces, de moluscos bivalvos y crustáceos de interés comercial en los lugares afectados por la marea negra, porque son indicadores biológicos de la calidad del medio ambiente marino).
- *Preparar los medios para la biorremediación* del medio ambiente afectado por el vertido, con bacterias proteolíticas que degraden los hidrocarburos.

Finalmente en este primer informe se indicaban los Institutos o Centros del CSIC capaces de realizar estudios y contribuciones sobre las iniciativas propuestas: IQAB, IIM-Vigo, IIM-Cádiz, EBD, CEAB, IMEDEA.

El CSIC no se dio por satisfecho y continuó sus trabajos. El *miércoles 20 de noviembre* entregó al Ministerio de Fomento un segundo informe

sobre las capacidades del CSIC ante el vertido del *Prestige*, que profundizaba y detallaba algunos extremos del primero. El *jueves 21 de noviembre*, el vicepresidente de Investigación Científica y Técnica (VICYT) y el coordinador de Recursos Naturales asistieron a una reunión en el Ministerio de Fomento en la que el Subsecretario informó que se iba a encomendar al CSIC la coordinación de los trabajos científicos lo que, según anunciaba, se ratificaría en la reunión del Consejo de Ministros del viernes 22 de noviembre. Asimismo, se encargaron algunas tareas específicas al IEO. El *lunes 25 de noviembre* se informó al Comité Científico Asesor del CSIC de la situación y de los informes realizados y el *jueves 27 de noviembre* se hizo lo mismo a la Junta de Gobierno del CSIC. Mientras tanto se avanzaba en la línea solicitada por Fomento aunque trabajando de forma no coordinada y, a la espera de la confirmación de la encomienda, el CSIC constituyó un Comité CSIC-*Prestige*, formado por el Presidente, los dos vicepresidentes (de Investigación Científica y Técnica y de Organización y Relaciones Institucionales) además del director del Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo, los coordinadores y ex coordinadores de las Áreas de Química y de Recursos Naturales.

El *viernes 29 de noviembre* se recibió en el CSIC la anunciada encomienda del Ministerio de Fomento. En efecto, la *Comisión Interministerial Prestige* pedía al CSIC informes sobre los siguientes temas específicos:

- Determinación de la concentración de hidrocarburos en el agua y en los organismos a distintas profundidades, tanto en la zona de hundimiento como en el litoral.
- Comportamiento de las posibles salidas de fuel en el fondo marino.
- Seguimiento y predicción de las trayectorias que podían tomar los vertidos de fuel en la zona del hundimiento.

De esta manera se iniciaron los trabajos en distintos Institutos del CSIC bajo la coordinación de la Vicepresidencia de Investigación Científica y Técnica y el apoyo de los coordinadores de las Áreas de Recursos Naturales y de Química. Ese mismo día 29 se recibieron informaciones (a través de investigadores del CSIC) según las cuales el buque francés *Atalante* con el batiscafo *Nautile* realizaría una misión de observación en la zona *Prestige*, entre el 1 y el 9 de diciembre. Por

esa razón el *sábado 30 de noviembre*, desde la Presidencia del CSIC y tras varias gestiones con IFREMER (institución propietaria del *Atalante-Nautile*) y con SASEMAR, que era *el armador* de la operación, se consiguió que se aceptara a bordo del *Atalante* a un investigador y un técnico del IIM-CSIC de Vigo.

El *lunes 2 de diciembre* se entrega el segundo informe del CSIC al secretario general de Política Científica del MCYT. El informe plantea el conjunto de iniciativas que deberían ser realizadas por investigadores de distinta afiliación. En la misma reunión el IEO hace entrega asimismo de un documento sectorial que plantea las tareas que sus investigadores podrían realizar. El CSIC queda encargado formalmente de elaborar, en el plazo de una semana, un primer borrador del programa de intervención científica en el desastre del *Prestige* que recoja su documento inicial y el del IEO. El 2 de diciembre tras una reunión con representantes del IEO, CIEMAT e IGN, se diseñaron las tareas de ese programa y se redactó un texto preliminar introductorio del informe correspondiente. El borrador quedó completado al día siguiente, *3 de diciembre*, y se envió al subsecretario del MCYT (a la sazón, representante del MCYT en la Comisión Interministerial del *Prestige*), que a su vez presumiblemente lo presentó en la reunión de la Comisión del mismo día. También el *3 de diciembre* comenzaron los contactos formales con el organismo Puertos del Estado para preparar la estrategia que se seguiría en relación con el *programa de trabajo de trayectorias*, que dio lugar al grupo de trabajo del CCA en Oceanografía Operacional.

Al día siguiente, *4 de diciembre*, llegan las primeras noticias de los observadores del CSIC embarcados en el *Atalante*: la proa ha sido localizada y las pérdidas de fuel se estiman en unas 20 t por día²². Ante esas noticias, el CSIC envía al subsecretario del MCYT una nota-informe en la que sostiene la necesidad de:

- Continuar las observaciones del *Atalante-Nautilus* hasta que se pueda cuantificar el número y caudal de las fugas de proa y localizar la popa para hacer lo mismo (extremo que fue acordado en la Interministerial sin necesidad de utilizar el Informe).

²² Evidentemente, no se habían localizado todas las fugas.

- Instar a la Armada a hacer un reconocimiento detallado de la zona marcada como de hundimiento de la popa.
- Preparar una campaña conjunta CSIC/MCYT-IFREMER para principios de enero de 2003, con el *Atalante-Nautilus*, para confirmar puntos de fuga y sus caudales, así como realizar estudios de oceanografía y de sedimentos. Posteriormente y en ese sentido, el 5 de diciembre un investigador de IFREMER con el que existía relación científica anterior desde el IMEDEA (Dr. Bruno Barnouin), contactó con el coordinador de Recursos Naturales del CSIC para negociar aspectos técnicos ante una posible prolongación de la misión de observación.

Los días 6 y 7 de diciembre, el Dr. Bruno Barnouin informa al coordinador de Recursos Naturales del CSIC que se prolongaría la campaña de observación y que el IFREMER está de acuerdo en la realización de la campaña en enero de 2003. El 7 de diciembre aparecen noticias de prensa y en TVE según las cuales el IEO inicia a bordo del buque oceanográfico *Cornide de Saavedra* una campaña de estudio del impacto sobre las pesquerías. Éste era el tema específicamente encargado por la Comisión Interministerial al IEO.

El 9 de diciembre, por encargo de la Interministerial y del Vicepresidente del Gobierno se constituye, a través de la Secretaría de Estado de Política Científica y Tecnológica, el Comité Científico Asesor (CCA), designando al VICYT del CSIC, Dr. Emilio Lora-Tamayo, como su presidente. El 10 de diciembre tiene lugar en la sala de reuniones de esa Secretaría de Estado la primera reunión del CCA, presidida por quien escribe estas líneas.

Después de esta fecha, las actuaciones del CSIC se realizaron en el marco de las que coordinó el CCA, por lo que ya han sido expuestas en otras secciones de este documento.

6.4. Conclusiones

En la catástrofe del *Prestige* se pueden distinguir tres etapas bien diferenciadas:

1. El problema del petrolero desde su sos hasta el hundimiento (13 al 19 de noviembre de 2002).

2. El hundimiento, el vertido, la limpieza de *mareas de fuel* y el tratamiento de las fugas hasta su obturación máxima (19 de noviembre de 2002 al 14 de febrero de 2003).
3. A partir del 14 de febrero de 2003, la neutralización definitiva del pecio, la evaluación de daños y la remediación.

Es bien conocido que la intervención científica se ha producido (y se está produciendo) en las etapas segunda y tercera y ha estado ausente en la primera. La crítica, ineludible en una aproximación científica, nos obliga a reconocer que la intervención tanto del *CSIC* como de la comunidad científica fue algo descoordinada en los primeros momentos, fruto entre otras cosas de la especial naturaleza del problema y de la ausencia de datos y valoraciones claras. También hay que decir que las formas de actuación del *CSIC* y de otros Centros Públicos de Investigación demuestran la sensibilidad, voluntad y disponibilidad de su personal para los problemas que afectan directamente a la sociedad de la que forman parte y a la que se deben.

Por *primer momento* entendemos desde la catástrofe, esto es, el hundimiento y sus secuelas. A los investigadores, antes, ni se les consultó, ni tuvieron ninguna iniciativa de carácter más o menos corporativo, y es cierto que su intervención como científicos no estaba contemplada en las etapas operativas de esa primera fase. También hay que reconocer que la información disponible no permitía presagiar la magnitud y alcance de la catástrofe.

El problema, la catástrofe, es especial en sí mismo, como lo son todas las catástrofes, porque todas tienen algunos rasgos que las diferencian de las conocidas. Por ello, bueno es tener presente que esta del *Prestige*:

- No se trata de una catástrofe puntual que tiene lugar en un espacio muy corto de tiempo y que origina efectos y daños acotados sobre los que se puede trabajar, sino de una situación activa, dinámica y sostenida en el tiempo.
- Este mismo matiz presta al problema unas características de presión mediática y política que complican todavía más la actuación seria, fría y rigurosa que debe corresponder al medio científico.

- El problema es multidisciplinar y multisectorial: comprende aspectos científicos, técnicos y de gestión operativa, estos últimos fuera del alcance del mundo científico (salvamento, gestión de puertos o de costas, etc.).

Parece claro que había competencias y capacidades científicas aplicables al problema en distintos Centros Públicos de Investigación (CSIC, IEO, CIEMAT, Universidades). Parece claro también que en este nivel, la descoordinación fue todavía mayor que la existente dentro de un mismo centro, incluso a pesar de recibir indicaciones y encargos de la Comisión Interministerial, seguramente emanados de un análisis teórico del problema, desde una mesa de reuniones, sin poder considerar la necesidad de entregar la coordinación científica a un único órgano. Adviértase que esto se hizo, con sensatez, cuando se creó el CCA el 9 de diciembre. A partir de ese momento, los papeles quedaron claros y se puede decir que el *aparato científico* funcionó, integrando las energías y capacidades de todos los centros públicos de investigación, sin partidismos, localismos, ni protagonismos ajenos al papel científico, siempre bajo los principios de

- excelencia (calidad, rigor científico);
- independencia (respecto a cualquier presión política/mediática, incluida naturalmente la de la propia Interministerial, a la que se informaba en primicia);
- transparencia (publicidad de resultados en ruedas de prensa/entrevistas centralizadas y coordinadas y en web). Esto es especialmente importante.

Sin embargo, para que la experiencia pueda servir de cara al futuro, las lagunas principales detectadas, sobre las que habrá que trabajar para corregir intervenciones defectuosas y para mejorar capacidades frente a otras emergencias, desde el CSIC y en general desde el mundo científico, son:

- la identificación de recursos humanos competentes según su excelencia investigadora y no otra;
- la identificación/designación/asunción de liderazgos y capacidades de coordinación centralizadas: la voz de la comunidad

científica debe ser única, excelente y rigurosa, aunque la elaboración del discurso sea plural;

- la disponibilidad de recursos económicos que faciliten movilizaciones.

Por tanto, una conclusión importante es la necesidad de clarificar papeles, competencias y capacidades siquiera entre los Centros Públicos de Investigación dependientes del MCYT (OPPI). El papel y las tareas de los distintos actores científicos en el problema fue sin duda importante hasta el 9 de diciembre, pero algo desorganizado y caótico a pesar de las indicaciones recibidas desde la Interministerial. Delegar la actuación científica en un solo órgano, el CCA, sirvió sin duda para aunar esfuerzos y extraer sinergias.

Igualmente, a partir de la actuación del CSIC en el problema del *Prestige*, o también a partir de su participación en la corrección de los efectos de la catástrofe de Aznalcóllar se puede sustanciar la necesidad de disponer de recursos económicos para atender a las necesidades de intervención urgente, siquiera en los primeros estadios. Porque, a día de hoy, de lo que no se puede dudar es de la preparación y experiencia del CSIC en la corrección de estas situaciones.

De la misma manera parece oportuna la existencia de un *grupo permanente de emergencias* del CSIC de pequeño tamaño (5-8 personas), coordinado desde su Presidencia, con capacidad operativa inmediata, capaz de hacer un análisis primario de cualquier emergencia/catástrofe donde sea pertinente la intervención científica, capaz de identificar, evaluar y dirigir la constitución de un comité de amplio espectro de competencias y procedencia de sus miembros, que sea útil para tratar problemas originados por catástrofes en los que resulte indicada la intervención científica.

Bibliografía

- CCA *PRESTIGE* (2002): *Informe preliminar sobre la sismicidad en la zona del SW de Galicia. Nota sobre la estabilidad del pecio*, Madrid, diciembre, <http://www.ccaprestige.es>.
 — (2003): *Informe preliminar sobre la corrosión del casco*, Madrid, enero, <http://www.ccaprestige.es>.

7. La crisis de las *vacas locas* en Gran Bretaña y la Unión Europea

Juan José Badiola Díez

Catedrático de Sanidad Animal
Director del Centro Nacional de Referencia
de las Encefalopatías Espongiformes Transmisibles
Universidad de Zaragoza

MERECE la pena que se realice una reflexión sobre las características de la crisis provocada en la Unión Europea a causa de la aparición de la encefalopatía espongiforme bovina (EEB), sus implicaciones sociales, el papel desempeñado por los medios de comunicación en la percepción de la enfermedad por los consumidores, las respuestas políticas y sociales y el papel de los científicos en esta crisis.

La crisis provocada por la aparición de la encefalopatía espongiforme bovina en el Reino Unido en 1986, y sucesivamente en la mayor parte de los países de la Unión Europea, incluida España, ha sido una de las emergencias alimentarias de más hondo calado y duración de las últimas décadas y el catalizador definitivo que ha desencadenado una preocupación de las autoridades europeas y de los Estados miembros afectados por la seguridad alimentaria. De tal manera que en esta materia se puede hablar de un antes y un después de la EEB. Aunque es verdad que esta crisis fue precedida y sucedida por otras.

Sin duda, la importancia de esta crisis alimentaria debe atribuirse a las singulares características de la enfermedad, como son los largos periodos de incubación que caracterizan el desarrollo de la enfermedad bovina, y a su correspondiente humana, y a la dificultad de su diagnóstico, a la novedad biológica que suponen los agentes causales responsables de estas enfermedades y al conocimiento incompleto de su biología y transmisión, así como al hecho de provocar enfermedades neurológicas de tipo degenerativo e incurables.

Pocas crisis alimentarias han merecido una atención tan especial y duradera de los medios de comunicación como la dedicada a la crisis de la EEB y sus consecuencias. Y esto ha sido una constante en todos los países de la UE donde la enfermedad fue detectada. Es in-

dudable que esa atención ha tenido una influencia en la propia crisis, que llegó a adquirir una dimensión social y política sin parangón en la historia reciente de la sanidad animal y de la salud pública.

Las crisis sociales que la EEB ha provocado en todos los países en los que ha aparecido han puesto también de manifiesto la necesidad de contar con un asesoramiento científico que se hacía imprescindible para poder poner en marcha sistemas de vigilancia y control y para poder explicar a la ciudadanía el alcance de los riesgos de su transmisión a los seres humanos.

Estas crisis también han puesto de manifiesto la necesidad de constituir comités científicos integrados por investigadores que aporten conocimiento fiable que pueda ayudar a los responsables políticos a adoptar las decisiones adecuadas en cada momento, lo cual supone para ellos un elemento de seguridad y para la sociedad, una garantía.

De hecho, en el Reino Unido, desde el comienzo de la aparición de los primeros casos de la enfermedad y ante la sospecha puesta de manifiesto por algunos investigadores de que se trataba de una nueva enfermedad que podría suponer un riesgo de transmisión al hombre, el gobierno británico constituyó en 1988 un grupo de trabajo pluridisciplinar de científicos, dirigido por el profesor Southwood, que recibieron el encargo de estudiar la situación y tratar de conocer por qué se había producido la EEB, cuáles eran sus mecanismos de transmisión, qué medidas urgentes había que tomar para evitar su difusión en la ganadería bovina y, sobre todo, cuáles debían adoptarse para impedir la eventual transmisión a la especie humana.

El referido grupo elaboró un Informe que llegó a las primeras conclusiones fundamentales, entre las que destacan el hecho de que la enfermedad se habría gestado en los años 1980-1981 como consecuencia de los cambios llevados a cabo en las plantas industriales de tratamiento de los restos de matadero y que obtenían como productos finales harinas de carne y hueso para la fabricación de piensos y grasas para diversos destinos. Fueron precisamente las primeras las que fueron consideradas las causantes de la gestación de la nueva enfermedad. Por ello, siguiendo la recomendación del grupo de científicos, se adoptó la medida que ha resultado clave para el control de la enfermedad, que fue la prohibición del uso de las referidas harinas de carne y hueso de origen bovino y ovino para la alimentación de dichas especies. Esta medida se lleva a cabo en el Rei-

no Unido en junio de 1988, gracias a la cual cinco años más tarde se observó un descenso progresivo del número de casos en la población bovina británica.

Otra conclusión clave del grupo de trabajo, convertida en recomendación a las autoridades, fue considerar que la infectividad se concentraba en ciertos tejidos del animal afectado, que fueron denominados «materiales específicos de riesgo» (MER). Estos tejidos fueron considerados peligrosos para el consumo humano, por el riesgo que supondrían para la transmisión del agente, por lo que se recomendó la prohibición de su uso para la alimentación humana, lo cual se llevó definitivamente a cabo en noviembre de 1989. No cabe duda de que ésta ha sido la medida fundamental que ha logrado evitar una contaminación de mayores proporciones de la que ha tenido lugar.

Por ello, hay que destacar el papel fundamental que el referido grupo de científicos tuvo a la hora de aclarar aspectos claves de la enfermedad y en la adopción, por parte de las autoridades británicas, de las medidas fundamentales para el control de la difusión de la enfermedad en la población bovina británica y en evitar una transmisión masiva del agente a la población humana.

En 1998 un nuevo grupo de trabajo nombrado por el gobierno británico, constituido por Lord Phillips, Mrs. Bridgeman y M. Ferguson-Smith, elabora un largo y detallado informe de 16 volúmenes, denominado *The BSE Inquiry: the report* sobre el origen y evolución de la EEB y de la variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (vCJD) en el Reino Unido y sus consecuencias, que ha servido de resumen y guía esencial para el manejo de las EET animales y humanas en dicho país.

La EEB también puso de manifiesto las limitaciones del conocimiento científico y por esa razón fue preciso aplicar el principio de precaución en algunas de las medidas adoptadas para cubrir áreas en las que no se disponía de suficientes conocimientos.

Desde el comienzo de la enfermedad en el Reino Unido, se suscitó una gran preocupación entre las autoridades de la UE. También en la Comisión Europea se recurrió inmediatamente a los comités científicos previamente existentes, el Comité Científico en Sanidad Animal y el Comité Científico de Salud Pública, que analizaron cuidadosamente, por medio de grupos de trabajo nom-

brados ad hoc, la situación creada en Gran Bretaña y las consecuencias que podrían derivarse para los restantes países de la Unión Europea.

De la propia Comisión, y fruto de las recomendaciones proporcionadas por esos comités científicos, que elaboraron informes que fueron discutidos cuidadosamente y adoptados al final por el Comité Científico Director, entonces dependiente de la Dirección General VI, se recomendó a los países de la Unión la adopción de medidas encaminadas a la detección de la presencia de posibles de casos de la enfermedad bovina y también de la humana, a través del establecimiento de planes específicos de vigilancia y control de las EET, así como de prohibiciones del uso de las harinas de carne y hueso para la alimentación animal y la retirada de los MER de la cadena alimentaria humana.

Esas medidas permitieron la detección de casos bovinos en la mayoría de los países de la Unión, y también de algunos casos humanos en Francia, Irlanda e Italia. Asimismo, se ha logrado controlar la EEB en varios Estados y probablemente prevenir la aparición de casos humanos en otros países.

Es preciso señalar que han existido fallos importantes en la gestión de la EEB y sus consecuencias, pero buena parte de ellos se han debido a que algunos países o sectores económicos hicieron caso omiso de las recomendaciones de los científicos y de las normas que las autoridades de la Comisión Europea pusieron en marcha, basadas en las recomendaciones científicas, cuando no permitieron abiertamente prácticas que habían sido consideradas de riesgo.

La evolución de la incidencia de la enfermedad bovina en diversos países europeos y la evidencia de su transmisión a la especie humana y a otras especies animales (felinos y otras especies de ungulados) así como la constatación de la deficiente gestión llevada a cabo en el manejo de la EEB, provocó la intervención del Parlamento Europeo, que encargó a un grupo de diputados la elaboración de un Informe al respecto. De nuevo éstos contaron con la colaboración de varios científicos que contribuyeron a la elaboración del Informe que finalmente sirvió de base para la adopción de las resoluciones adoptadas en pleno.

Las conclusiones a las que llegó el Parlamento Europeo contenían un conjunto de preguntas y duras críticas dirigidas a la Comi-

sión Europea, en ese momento dirigida por el presidente Santer. A partir de ese momento se estableció un proceso que acabó con la dimisión de la Comisión y del propio presidente, hecho absolutamente insólito hasta ese momento. De hecho, nunca se había provocado una crisis política de esa magnitud en el seno de la Unión Europea, que acabara con la propia Comisión.

En cada país en que la enfermedad bovina aparecía se producía un crisis alimentaria, de mayor o menor intensidad, caracterizada por una gran repercusión mediática y social. Los medios de comunicación y la propia ciudadanía recababan la opinión de científicos expertos, que pudieran prestar asesoramiento y explicar la enfermedad y sus posibles consecuencias.

Mención especial merece referir lo ocurrido al final del año 2000, en que se reproduce una agudización de la crisis provocada por la EEB en cuatro países europeos, Francia, Alemania, Italia y España. En Francia, la aplicación de un plan de vigilancia activa pone de manifiesto un incremento muy notable de la aparición de nuevos casos y la constatación de que la vigilancia y el control de la enfermedad, presente en el país desde el principio de la década de los noventa, habían sido mal gestionados. La preocupación ciudadana es de tal calado que da lugar a un debate en la Asamblea Nacional, que de nuevo, contando con la ayuda de científicos expertos, elabora un informe que pone de manifiesto las deficiencias producidas. En paralelo se produce un duro debate público entre el Primer Ministro, Lionel Jospin y el Presidente de la República, Jacques Chirac. Este último, convenientemente asesorado por expertos científicos, advierte a la población francesa que el número de casos de EEB va a experimentar un considerable aumento y lo que es peor: que van a producirse casos de la enfermedad humana, convencido de que a causa de una mala gestión de la política de salud pública se ha producido una transmisión del agente causal de la enfermedad bovina a la especie humana.

Los acontecimientos de Francia alcanzan un eco extraordinario en toda la Unión Europea, pero particularmente en Italia, Alemania y España. En los dos primeros países se observa ya en ese año 2000 un aumento de la incidencia de la EEB, y en España en el otoño del mismo año se detectan los dos primeros casos en dos vacas de origen gallego. En los tres países europeos, de indudable peso polí-

tico y económico en el seno de la Unión, se producen crisis alimentarias de gran calado. Las acciones de sus gobiernos se ven sometidas a duras críticas por parte de la ciudadanía y de la prensa, que llegan a provocar la dimisión de ministros responsables de los departamentos de Agricultura o Sanidad, como es el caso de Alemania.

También la Comisión Europea, por medio del comisario responsable de la protección de los consumidores, Sr. Byrne, realizó duras críticas a los países referidos y en particular a Alemania y España, que sistemáticamente habían mostrado su oposición a la implantación generalizada en la Unión Europea de una política de salud pública basada en la retirada de los materiales específicos de riesgo (MER), particularmente del cerebro y la médula espinal de todos los vacunos, en aplicación del principio de precaución, que también había sido una de las recomendaciones claves formuladas por los expertos científicos a la Comisión. La oposición de esos países se fundamentaba en el hecho de la baja o nula incidencia de la EEB en sus territorios, hecho que el tiempo se encargó de desmentir.

Fruto de todos esos acontecimientos en diciembre de 2000, la Unión Europea, a través de la Comisión y el Consejo acuerda adoptar un paquete de medidas que, en definitiva, resumen el conjunto de recomendaciones del Comité Científico Director de la Comisión. Éstas se refieren al establecimiento generalizado en todos los países de la Unión Europea de un plan de vigilancia y control de las encefalopatías espongiformes transmisibles animales y humanas, que en el caso de la EEB se fundamenta en la aplicación de un sistema conjunto de vigilancia pasiva y activa aplicable a todos los bovinos, en la prohibición del uso de las harinas de carne y hueso para la alimentación de los animales destinados al consumo humano, en la obligatoriedad de su estricto cumplimiento y en un plan de retirada sistemática de los MER en todos los mataderos europeos así como el control, recogida y eliminación de todos los cadáveres de las especies animales involucradas. Este plan se pone en marcha en enero de 2001 y sus resultados positivos han sido claramente relevantes, para un eficaz y real control del conjunto de estas enfermedades.

Mención particular merece el caso español en lo que se refiere a las medidas adoptadas, al comportamiento de las Administraciones, a la reacción mediática y social, y al papel de los científicos.

En el año 1995 hay que destacar la iniciativa de los entonces responsables del Ministerio de Agricultura de constituir un pequeño grupo de expertos asesor en estas materias, entre los que yo me contaba, dada mi entonces pertenencia al Comité Científico Veterinario en Sanidad Animal de la Comisión Europea y a los subcomités que desde el comienzo de la aparición de la EEB en el Reino Unido se constituyeron con la intención de realizar un seguimiento de la enfermedad en dicho país y las eventuales consecuencias en el resto de los países de la entonces Comunidad Europea.

En 1996, el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación establece un Programa de vigilancia y control de las EET basado en un sistema de vigilancia pasiva. Los responsables del Ministerio crean el Centro Nacional de Referencia de estas enfermedades animales, que se confía a la Universidad de Zaragoza, a través de un convenio de colaboración, entendiendo que es en esta institución donde se hallan los recursos humanos más cualificados y fiables para participar en el programa. Desde ese momento los responsables del programa del ministerio han contado con el asesoramiento y las técnicas necesarios para abordar un problema sanitario difícil.

La detección de los dos primeros casos de EEB en España en otoño de 2000, la crisis alimentaria provocada y la aplicación de la nueva normativa europea han constituido una dura prueba para las autoridades del gobierno español y de las Comunidades Autónomas. Uno de los instrumentos que dichas autoridades han puesto en marcha, conscientes de su utilidad, ha sido la creación de comités científicos específicos asesores. Éste es el caso de los creados por los ministerios de Agricultura, Pesca y Alimentación, Sanidad y Consumo y Ciencia y Tecnología. Comités parecidos se constituyeron asimismo en varias Comunidades Autónomas.

No obstante ha de destacarse, por su elevado rango político y por la importancia que en la práctica tuvieron sus decisiones, la creación en el Ministerio de la Presidencia del Gobierno, entonces bajo la responsabilidad del Sr. Rajoy, del Comité Especial para las encefalopatías espongiformes transmisibles. Este comité mixto que, presidido por el ministro de la Presidencia y su subsecretaria, incluyó a los subsecretarios de los ministerios de Agricultura, Sanidad y Medio Ambiente, así como a los directores generales de esos departamentos directamente responsables del problema, junto a 3

expertos científicos, 2 médicos y 1 veterinario. Este comité ha mantenido cerca de cincuenta reuniones a lo largo de tres años (2001-2003), ha elaborado varios informes y, sobre todo, ha llevado a cabo un seguimiento detallado, a veces semanal, de la evolución de estas enfermedades en nuestro país y en el resto de Europa. Creo que ha sido un buen ejemplo, al margen de las personas implicadas, entre las que me he contado, de cómo la interacción responsables políticos-investigadores proporciona siempre resultados positivos para el manejo de una crisis alimentaria. Para mí fue además una experiencia personal muy grata, pues realmente pude comprobar que los criterios científicos eran tenidos muy en cuenta, asumiendo siempre con el máximo respeto que las decisiones finales corresponden a los gestores políticos, pues ésa es su responsabilidad y competencia.

Los medios de comunicación, como es bien sabido, juegan un papel esencial en el desarrollo de las crisis alimentarias. Éstos requieren información fiable y disponible en cada momento y valoran muy positivamente que ésta, además de ser proporcionada por las autoridades responsables, lo sea también por expertos científicos solventes. Creo que en España han contado con ella, lo cual considero que ha ayudado a transmitir una información objetiva y no alarmista del problema.

En nuestro país, aunque se reaccionó más tarde de lo que hubiera sido aconsejable, y no por falta de asesoramiento, el Programa de vigilancia y control está proporcionando resultados satisfactorios en la lucha frente a estas enfermedades. Es evidente que ha supuesto un gran esfuerzo económico y organizativo para el país, pero la impresión que la población española tiene creo que es globalmente favorable, y por ello ha recuperado una buena parte de la confianza en la cadena alimentaria, valorando positivamente el papel de los científicos y la conveniencia de que sus puntos de vista sean tenidos en cuenta a la hora de abordar crisis futuras como la provocada por la EEB.

7.1. Características generales de este grupo de enfermedades

La encefalopatía espongiforme transmisibile (EEB), popularmente conocida como *enfermedad de las vacas locas*, es una patología neurodegenerativa que pertenece a un grupo de enfermedades

transmisibles denominadas encefalopatías espongiformes transmisibles (EET) o enfermedades priónicas, según se refiera a sus características clínico-patológicas o a la naturaleza de sus agentes causales. Esta enfermedad bovina se ha transmitido a los humanos, produciendo la llamada variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob. Todo este grupo de enfermedades es producido por similares agentes causales (Chesebro, 1999; Farquhar, Somerville y Bruce, 1998), que afectan tanto a la especie humana como a diversas especies animales (Collinge, 2001).

Todas las enfermedades de este grupo poseen una serie de características comunes tales como el largo periodo de incubación, que transcurre desde la entrada del agente causal hasta la aparición de las primeras manifestaciones clínicas, el curso progresivo y crónico que ineludiblemente conduce a un desenlace fatal, la ausencia de respuesta inmunitaria por parte del hospedador y unas características clínicas y anatomopatológicas definidas y muy similares entre sí en las distintas especies, que tienen en común la afección del sistema nervioso central (Heim y Kihm, 1999).

El agente que produce la variante humana es el mismo que el que produce la bovina. No se sabe cómo se ha producido la transmisión en los 145 casos registrados, pero se supone que la alimentación ha sido la vía principal del contagio, aunque probablemente no la única.

Estas dos enfermedades forman parte del grupo de las llamadas encefalopatías espongiformes transmisibles, procesos patológicos que afectan al sistema nervioso central, que producen una degeneración consistente en la aparición de vacuolas (cavidades) en ciertos centros del cerebro y que pueden transmitirse de un individuo a otro.

Algunas de ellas son conocidas desde hace mucho tiempo, otras desde hace poco, tanto las que afectan a seres humanos como a animales.

Las encefalopatías espongiformes descritas en la especie humana (Turner y Ironside, 1998) son las siguientes:

- el kuru;
- la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (CJD);
- la variante de la CJD (vCJD);
- el síndrome de Gertsmann-Sträussler-Scheinker;
- el insomnio familiar letal.

El kuru es una enfermedad histórica y que presenta un gran interés. Se describe a principios de los años cincuenta, y es estudiada con detalle por el neuropediatra americano Gadjusek, por lo que le fue concedido el premio Nobel de Medicina. Este investigador tuvo conocimiento de que en la isla de Nueva Guinea existían unas tribus en las que se registraba una enfermedad neurológica que afectaba al 30-40% de la población. Gadjusek se trasladó allí con la intención de estudiar la enfermedad y constató que se registraba con una alta incidencia en mujeres y adolescentes, y muy baja en hombres. Pronto la relacionó con los hábitos alimentarios. Estas tribus eran caníbales y consumían los cadáveres de los familiares así como los fallecidos de los enemigos muertos en combate en ritos funerarios. Las mujeres y los niños consumían el cerebro; los hombres comían la musculatura. Los que enfermaban eran las mujeres y los niños. La enfermedad se manifestaba unos años más tarde tras la ingestión. Cuando se prohibió por las autoridades estas prácticas de canibalismo, la incidencia de la enfermedad decreció de forma sustancial, hallándose desde entontes en franca remisión. El kuru es, por tanto, el primer ejemplo de una enfermedad relacionada con un hábito alimentario.

Otra patología del grupo es la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (CJD), descrita en 1920, de distribución mundial, con una incidencia de 1-2 casos por millón de habitantes/año. En España la incidencia es todavía menor (0,69/año). Casos especiales son algunas familias de judíos libios que han llegado a registrar 25 casos por millón de habitantes/año. Esta enfermedad aparece entre los 55 y los 75 años con síntomas clínicos tales como comportamiento anormal, confusión, alteraciones del sueño, de la ingestión y de la visión, espasmos musculares, ataxia, demencia, produciéndose finalmente un gran deterioro de las funciones cerebrales y cerebelosas. La mayoría de los pacientes mueren antes del año del comienzo de los primeros síntomas.

La forma de presentación normalmente es esporádica, no tiene ninguna relación con la alimentación, con una especial incidencia de casos de origen familiar (15%). Hasta hace un cierto tiempo, un 5% de los casos era de origen iatrogénico, es decir, se transmitía con instrumental contaminado (electrodos), trasplantes de córnea, o de duramadre o incluso por el uso de hormonas del crecimiento procedentes de cadáveres que se hallaban infectados con CJD. En la actualidad estos casos han dejado de registrarse.

La variante de *cjd* (*vcjd*) es una enfermedad reciente descrita en 1996. La edad habitual de presentación es desde la adolescencia hasta los 40 años, el desarrollo de la enfermedad puede prolongarse hasta los 2 años aproximadamente, lo cual la distingue respecto al *cjd* clásica, en que los pacientes mueren antes del año. La sintomatología clínica y las lesiones son distintas al *cjd*. Los pacientes de la *vcjd* presentan inicialmente un cuadro psiquiátrico con manifestaciones de depresión, alucinaciones, miedo; posteriormente se presenta un síndrome cerebeloso progresivo, ataxia, movimientos involuntarios, alteraciones de la conciencia y de tipo cognitivo, que evoluciona hacia déficit neurológicos, demencia, mutismo acinético en las últimas fases y, finalmente, muerte. Es una enfermedad progresiva como muchas otras enfermedades neurodegenerativas que producen una situación de decrepitud orgánica y finalmente la muerte. Los enfermos con esta variante presentan electroencefalogramas distintos a la *cjd* clásica, ya que no se observan los complejos periódicos de ondas agudas que se observan en esta última. En cuanto a las lesiones, se observan placas de amiloide floridas y vacuolización. En definitiva, las lesiones y los síntomas son más parecidos al primitivo Kuru que a la enfermedad de *cjd* clásica. Se han descrito hasta ahora 133 casos: 125 en Gran Bretaña, 6 en Francia, 1 en Irlanda y 1 en Italia.

Parece indudable que la transmisión del agente de la EEB se ha producido por el salto del prión bovino a las personas. El periodo máximo de exposición en el Reino Unido habría estado comprendido entre 1984 y finales de 1989, año en que se adopta la medida de retirar los tejidos de riesgo de la cadena alimentaria humana. De tal manera que ese sería el periodo más peligroso en que parece que miles de vacas contaminadas habrían pasado a la cadena alimentaria y no se adoptaron las medidas de protección de salud pública adecuadas.

Ese periodo de máxima exposición unido al empleo, parece ser, de cerebros y otros materiales de origen nervioso para la elaboración de algunos productos alimentarios, así como ciertos hábitos culinarios de los consumidores británicos, habrían determinado o habrían sido los responsables por lo menos de algunos de los casos. No se pueden descartar otras vías, como el uso de ciertos cosméticos, vacunas y fármacos elaborados a partir de tejidos bovinos. Actualmente,

aunque no podemos asegurar cómo se ha producido la transmisión, no cabe duda de que la vía alimentaria ha jugado un papel destacado.

El número de casos de nueva variante creció de forma ininterrumpida en el Reino Unido, durante varios años, aunque últimamente la cifra de nuevos casos se ha estabilizado. Por ello, para hacer una previsión del alcance de la epidemia humana habrá que esperar algún tiempo. Los casos que ahora están apareciendo serían los genéticamente más susceptibles, que suponen un 25-30% de la población humana de Europa occidental, y que consisten en una variante en homocigosis del aminoácido metionina en el codón 129. Éstos son los humanos más sensibles a estas enfermedades. La combinación metionina-valina, otro aminoácido distinto, supondría una mayor resistencia y la combinación valina-valina sería la que implicaría mayor resistencia. En esta enfermedad, hasta ahora, todos los casos han sido metionina-metionina en homocigosis; en el futuro no sabemos si aparecerán casos en las otras variantes genéticas. Un factor genético, un factor infeccioso, y sin duda, unas prácticas y un nivel de exposición determinados, serían los responsables del problema. Los datos son todavía provisionales y no permiten saber cómo va a evolucionar la epidemia en el Reino Unido y lo que va a ocurrir en otros países. Sí podemos decir que si el periodo de incubación no fuera muy largo (entre quince y veinte años) habrían pasado diecisiete años desde las primeras contaminaciones. De momento, el número de casos es bajo. En un principio, los epidemiólogos británicos formularon la hipótesis de que centenares de miles de personas se verían afectadas.

7.2. Las encefalopatías espongiformes transmisibles en los animales

Se han descrito en varias especies animales, entre las que figuran de manera destacada la vaca (EEB) y la oveja y la cabra (scrapie) (Wells *et al.*, 1987) visones (encefalopatía espongiforme del visón) (Marsh y Hadlow, 1992), ciervos y alces (enfermedad caquetizante crónica) (Williams y Young, 1992), gatos y felinos salvajes (encefalopatía espongiforme felina) (Pearson *et al.*, 1991) y otras.

El scrapie ovino y caprino se conoce desde el siglo XVIII. Afecta a ovejas y cabras y produce unos síntomas consistentes en prurito per-

sistente, temblores, hipermetría, ataxia e incoordinación, y ha permitido aprender mucho sobre este grupo de enfermedades. Aunque todavía está en discusión, parece ser que el scrapie habría sido la causa de la enfermedad bovina. En lo que respecta a la posible transmisión a los humanos, hasta ahora en más de doscientos cincuenta años de historia no se ha podido demostrar nunca que a partir del scrapie ovino haya existido transmisión a las personas.

La encefalopatía espongiiforme del visón se ha descrito en criaderos de animales de esta especie de peletería en los que se propaga con gran rapidez, a causa de la agresividad de estos animales. La Encefalopatía caquetizante crónica, una enfermedad que aparece en ciervos y alces de los Estados norteamericanos de Wyoming, Idaho y Montana, constituye en la actualidad un motivo de preocupación para las autoridades de Estados Unidos por el eventual riesgo de transmisión a la especie humana.

Tras la aparición de la encefalopatía espongiiforme bovina se ha descrito también una encefalopatía espongiiforme felina, que afectó a gatos y otros felinos salvajes (panteras, leones, tigres u ocelotes) de parques zoológicos británicos. Parece, efectivamente, que los felinos son muy receptivos a los agentes causales de estas enfermedades, sobre todo al príon bovino. Asimismo, se describieron enfermedades similares en varias especies de ungulados de origen asiático, africano y americano, así como también en algunas especies de monos que vivían en zoos británicos.

Por el contrario, no se han descrito hasta ahora encefalopatías espongiiformes transmisibles en grupos de especies animales tales como los suidos, équidos, cánidos, lagomorfos, aves y peces.

Para la reproducción experimental, se emplean ratones y hamsters normales o modificados genéticamente.

7.3. Los priones: agentes causales nuevos

Aunque la naturaleza de los agentes responsables de este grupo de enfermedades ha sido muy debatida, la hipótesis más aceptada hasta este momento es la que los identifica como priones (PrP^{Sc}) (Chesebro, 1999; Farquhar, Somerville y Bruce, 1998).

Anteriormente se han barajado varias hipótesis para explicar la naturaleza de los agentes causales de este grupo de enfermedades.

Así, se pensó que pudieran tratarse de virus lentos, también virinos, viriones o viroides. En la actualidad, la comunidad científica internacional ha aceptado la tesis planteada por Stanley Prusiner, que afirma que se trata de un nuevo agente causal, al que denomina prión. Por este descubrimiento, Prusiner recibió el premio Nobel de Medicina en el año 1997. No obstante y a pesar de ello, algunos investigadores, sin descartar la *hipótesis prión*, todavía piensan que algún otro agente causal acompañante debe intervenir complementariamente en la génesis de estas enfermedades.

La proteína PrP^{sc}, también denominada proteína PrP patológica, proviene de un cambio conformacional post-translacional que sufre la proteína PrP celular (PrP^c), una proteína normal codificada por el propio hospedador presente fundamentalmente en sistema nervioso y en menor medida en tejido extraneural. Dicho cambio le confiere el carácter proteinasa resistente y la infectividad.

El agente causal es extraordinariamente resistente a la acción de la mayoría de los agentes desinfectantes. Así, resiste la acción de agentes físicos como el calor (600°C), rayos ultravioletas, radiaciones ionizantes, la desecación, la refrigeración o la congelación. Asimismo, no se inactiva con el formol y otros desinfectantes químicos. No obstante, es sensible a la actuación combinada de calor, humedad y presión, de suerte que es inactivado a 133°C, durante veinte minutos y a 3 bares de presión y en ambiente húmedo. También se inactiva tras el tratamiento con hipoclorito sódico, sosa cáustica y ácido fórmico.

No se conoce la existencia de ácidos nucleicos en estos agentes causales; sin embargo, se sabe que son capaces de replicarse. Está demostrado que en condiciones idóneas, cuando la proteína PrP^{sc} toma contacto con la PrP^c, esta última acaba transformándose en PrP^{sc}.

El proceso de transformación entraña notables dificultades moleculares y, por otra parte, se sabe que está influido por varios factores.

7.4. Aspectos patogénicos

En el desarrollo de estas enfermedades es relevante considerar los distintos factores que influyen en la progresión de las mismas en los organismos que son colonizados por los agentes respectivos. Entre estos

factores se consideran: la dosis total de agente causal (PrP^{Sc}) que ha penetrado en el organismo, la vía de acceso al mismo (la más eficaz es la intracraneal, pero también se incluyen la intraperitoneal, la intracutánea, intravenosa y la digestiva, que aunque se considera la menos eficaz, es muy relevante, particularmente en el caso de la EEB), la disponibilidad en el tejido de suficiente cantidad de PrP celular (PrP^C), la configuración genética del individuo afectado (perteneciente a un genotipo sensible o resistente) y, por último, la barrera de especie. Todos estos factores condicionan un mayor o menor enriquecimiento del agente causal en el organismo involucrado y, en definitiva, que finalmente la infección tenga éxito y desemboque en la aparición de una encefalopatía espongiiforme transmisible

En la forma natural de la EEB, se asume que la vía de acceso del agente causal es la digestiva, por consumo de alimentos (piensos o lactorreemplazantes) y que el agente causal es incorporado al organismo en el intestino a nivel de la placa de Peyer. En el mecanismo de incorporación juegan un papel importante las células M, y en el procesado del agente en el tejido linfoide las células dendríticas foliculares. La vía de acceso más probable del agente al encéfalo es la neural, aunque no se descartan otras. Cuando el agente se halla en el intestino, la concentración es habitualmente muy baja, pero ésta comienza a incrementarse de forma muy notable en el encéfalo entre cinco y seis meses antes de la aparición de los primeros síntomas clínicos en el animal.

7.5. Origen de la encefalopatía espongiiforme bovina (EEB)

En 1985, se diagnostica en el Reino Unido una nueva enfermedad neurodegenerativa que afectaba a animales bovinos adultos de producción lechera. Todos ellos presentaban síntomas nerviosos (aprehensión, hipersensibilidad, comportamiento agresivo, ataxia, incoordinación motora, hipermetría y caídas al suelo) (Wells *et al.*, 1987) y características neuropatológicas similares a las ya descritas para la enfermedad de scrapie, demostrándose posteriormente que ambas enfermedades estaban producidas por similares agentes causales (Hope *et al.*, 1988).

Existen diferentes teorías que han tratado de explicar el origen de la enfermedad, siendo la más aceptada la que responsabiliza al consumo por parte de la población bovina de alimentos contaminados por el agente causal de la enfermedad de scrapie (Wilesmith *et al.*, 1988; Wilesmith, Ryan y Atkinson, 1991; Morgan, 1988). Se asume que el origen de la enfermedad se produjo como consecuencia de una modificación llevada a cabo durante la década de los ochenta en los procesos de transformación de las harinas de carne y hueso, utilizadas para la suplementación de los piensos destinados a la alimentación de animales de producción (Wilesmith *et al.*, 1988). Dicha modificación se produjo a principios de la década, en la que los sistemas de producción térmicos utilizados en las plantas transformadoras, que hasta entonces eran sistemas continuos, fueron sustituidos por sistemas discontinuos o en fases. Del mismo modo se suprimió el uso de solventes orgánicos hidrocarbonados para la separación más eficiente de la materia grasa de las harinas de carne y hueso. Asimismo, se llevaron a cabo cambios en el tratamiento térmico que muy probablemente impidieron la completa inactivación del agente causal de la enfermedad de scrapie en dichos productos, manteniéndose así una elevada carga infectiva (Wilesmith, Ryan y Atkinson, 1991). Otras hipótesis apuntan la posibilidad de que pudiera también tomarse en consideración la idea de que una fuente alternativa de los agentes causales fueran priones de procedencia bovina.

Como consecuencia del comienzo de la epidemia en Reino Unido, se instaura en 1988 la prohibición de utilizar proteínas derivadas de ruminantes en la alimentación de estos mismos animales. Tras la instauración de dicha medida, y teniendo en cuenta el periodo de incubación medio de la EEB, el número de casos comienza a disminuir desde 1993 en una proporción del 40% cada año (Anderson, 1996), lo que ha llevado a considerar que fue ésta la medida clave para el control de la enfermedad.

7.6. Métodos de diagnóstico utilizados para detectar la enfermedad

7.6.1. Cuadro clínico de la enfermedad

La EEB se presenta clínicamente en animales adultos, de ambos sexos, principalmente de producción lechera, aunque también puede observarse en el vacuno de carne. El periodo de incubación es

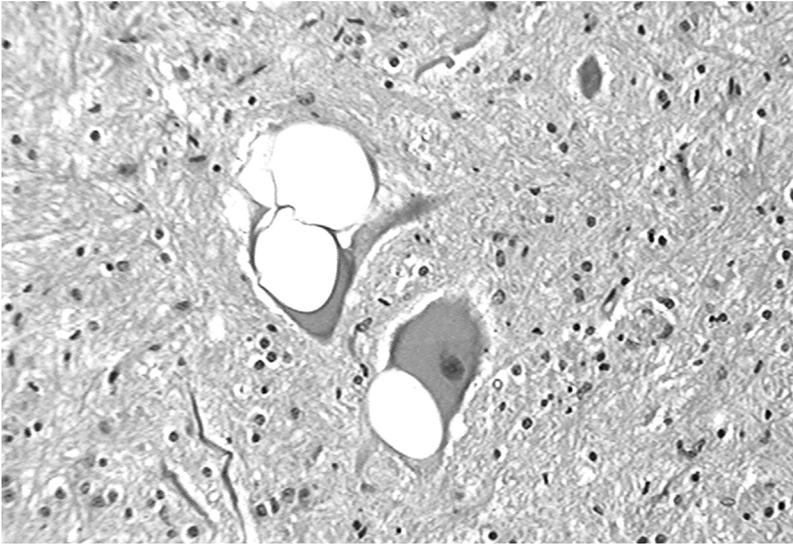
largo, considerándose por término medio en torno a cinco años. El curso clínico puede ser progresivo y prolongado (hasta catorce meses), aunque se considera como término medio de uno a dos meses, conduciendo siempre a un desenlace fatal.

Los síntomas de la EEB (Wells *et al.*, 1987; Wilesmith *et al.*, 1988; Kimberlin, 1992) incluyen cambios en el comportamiento, sensoriales, locomotores y cambios generales. Entre los cambios del comportamiento se citan el estado de nerviosismo que presenta el animal, desconfianza, hiperestesia, que se manifiesta bajo la forma de respuestas exageradas a estímulos auditivos y táctiles, aprensión, comportamiento agresivo, rechinar de dientes, lameteos frecuentes, movimientos circulares y rápidos de los ojos y reticencia a sortear obstáculos. En cuanto a los cambios sensoriales y locomotores se describen temblores, mioclonias, posturas anormales de la cabeza, movimientos anormales de los pabellones auditivos, hipermetría, incoordinación de movimientos, ataxia, dificultades para mantenerse en la posición habitual, caídas al suelo frecuentes e injustificadas, dificultad para incorporarse y finalmente un estado de gran deterioro neurológico que conduce a un estado de postración permanente y a la muerte del animal. El prurito, que es una manifestación común en el scrapie ovino, no lo es tanto en el bovino. Los signos generales se caracterizan por una pérdida rápida de la condición corporal, a pesar de mantener el apetito y una disminución progresiva de la producción láctea.

7.6.2. Cuadro lesional

El perfil lesional microscópico resulta muy similar en todos los casos, no observándose alteraciones macroscópicas en ninguno de los afectados (Wells y Wilesmith, 1989). Se caracteriza por la presencia de cambios degenerativos bilaterales y simétricos particularmente específicos en la región del tronco del encéfalo, consistentes en la vacuolización del pericarion neuronal (figura 7.1) y del neuropilo de la sustancia gris en determinadas áreas de la médula oblongada, acompañándose en ocasiones de una leve gliosis (Wells *et al.*, 1987). Las lesiones se observan de forma predominante en determinados núcleos como el núcleo dorsal del nervio vago, tracto solitario, tracto espinal y núcleo del nervio trigémino, núcleos vestibulares y formación reticular (Wells *et al.*, Wells y Wilesmith, 1989).

FIGURA 7.1: Vacuolización del pericarion neuronal en núcleos vestibulares de una vaca afectada de encefalopatía espongiforme bovina



Además de estas lesiones características, otras alteraciones histológicas han sido asociadas con la enfermedad, como la degeneración y muerte neuronal, astrocitosis y amiloidosis (Van Kleulen *et al.*, 1995).

7.6.3. Métodos laboratoriales

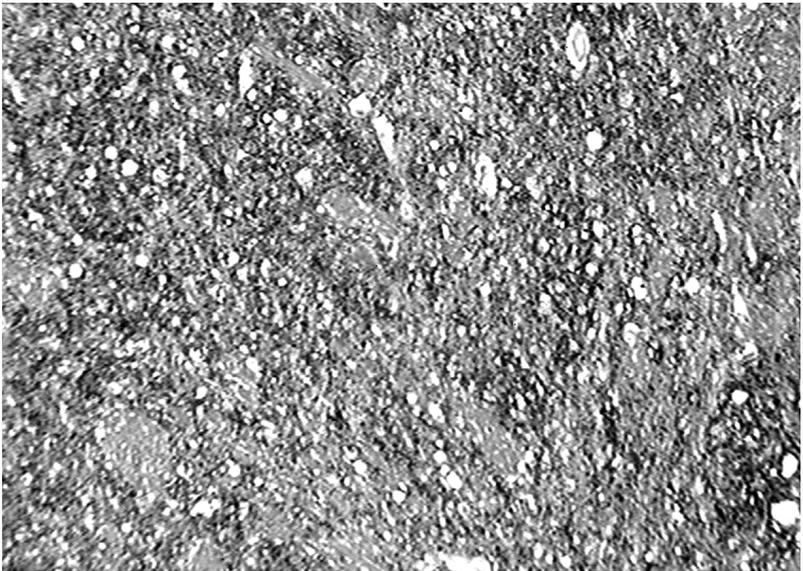
El diagnóstico de la enfermedad está basado en el diagnóstico laboratorial confirmatorio de todo animal clínicamente sospechoso o perteneciente a una población de riesgo. Este diagnóstico debe ser realizado mediante el estudio histopatológico e inmunohistoquímico de secciones de médula oblongada, considerándose ambas técnicas de referencia en el Manual de la Oficina Internacional de Epizootias (OIE, www.oie.int/eng/info/esesb). Por tanto, el diagnóstico se basa tanto en la observación de las lesiones características de este grupo de enfermedades, ya descritas, como en la detección del agente causal (proteína PrP^{Sc}) bien mediante técnicas inmunohistoquímicas (Farquhar, Somerville y Ritchie, 1989; Scientific Veterinary Commitee, 1994) o mediante otras como el *immunoblotting* o la técnica de ELISA (Scientific Veterinary Commitee, 1999).

La demostración de la proteína PrP^{Sc} mediante la utilización de las dos últimas técnicas citadas, ha supuesto un avance importante en la

metodología diagnóstica de la enfermedad y ha permitido acelerar el diagnóstico de los casos positivos de la enfermedad así como el procesamiento y análisis de un importante volumen de animales (sistemas de vigilancia activa), lo que resulta de todo punto necesario para el conocimiento de la prevalencia real de la enfermedad en un país. Estos test, tras ser sometidos a un proceso de validación por parte de la Comisión Europea, han demostrado ser muy sensibles y específicos y, por lo tanto, fiables (Scientific Veterinary Commitee, 1999).

No obstante, las técnicas de referencia de la enfermedad, de acuerdo con el criterio expresado por la OIE y la propia Comisión Europea, siguen siendo la confirmación del perfil lesional y la demostración de la PrP^{Sc} con el método de la inmunocitoquímica (figura 7.2), que se considera altamente específico y sensible.

FIGURA 7.2: Demostración de PrP^{Sc} en tejido nervioso mediante inmunohistoquímica



La enfermedad puede ser confirmada también mediante su inoculación experimental en animales de laboratorio (ratones o hamsters), particularmente en los transformados genéticamente, aunque requiere un periodo de tiempo mucho más prolongado debido a la larga duración de la fase de incubación.

Del mismo modo, resulta obligada la realización de un diagnóstico diferencial con otras enfermedades que también cursan con sintomatología nerviosa, como la hipomagnesemia, listeriosis, cetosis metabólica, necrosis cerebrocortical, encefalopatías hepatógenas, entre otras (Barlow, 1989).

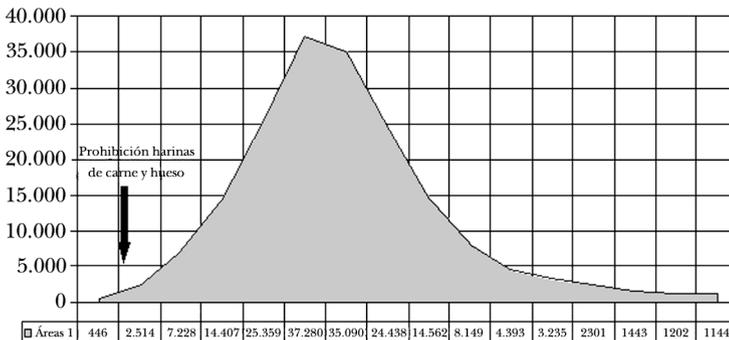
En la actualidad, se están realizando esfuerzos para disponer de test que permitan el diagnóstico de la enfermedad *in vivo* y en estadios más tempranos, lo que supondría un significativo avance para el control y la erradicación de la enfermedad.

7.7. Programas de vigilancia y control y epidemiología de las EET animales

El país en el que la enfermedad ha alcanzado una dimensión más relevante es el Reino Unido, en el que, desde su aparición en 1985, se han registrado 183.781 casos, alcanzando la epizootia un punto máximo en 1992, en que se llegaron a registrar 37.280 casos (gráfico 7.1). Desde entonces, y fruto del conjunto de medidas de control adoptadas, entre las que ocupa un lugar predominante la prohibición del uso de harinas de carne y hueso de rumiantes para la alimentación de este tipo de animales, la enfermedad ha seguido un curso claramente decreciente.

La EEB ha sido también diagnosticada desde el comienzo de la década de los noventa, en otros países como Irlanda, donde se han

GRÁFICO 7.1: Distribución de los casos de EEB en el Reino Unido



descrito 1295 casos; Francia, con 849, Portugal, con 823, y Suiza, con 448 casos (IOE, www.oie.int/eng/info/esesb).

Otros países de la UE donde se ha registrado la enfermedad, pero en los que se produjo una incidencia menor, son: España (325), Alemania (273), Bélgica (114), Italia (88), Holanda (63), Dinamarca (13), Luxemburgo (2), Austria (1), Finlandia (1) y Grecia (1). Suecia es el único país comunitario donde no se han registrado casos de EEB.

Otros países europeos en los que se han registrado casos de la enfermedad son Eslovaquia (12), Polonia (8), República Checa (5), Eslovenia (3) y Liechtenstein (OIE, www.oie.int/eng/info/esesb).

Cuando se relacionan los casos positivos de EEB con el censo bovino mayor de veinticuatro meses, se comprueba que Reino Unido, Portugal, Irlanda, España y Francia ocupan los puestos de cabeza.

Fuera de nuestro continente, y debido a la importación de animales portadores asintomáticos infectados por el agente causal, se describieron casos en Canadá (1), Islas Malvinas (1) y el Sultanato de Omán (2). Recientemente se han descrito también casos en Japón (6), Israel (1) y en Canadá, donde no hace mucho se ha descrito un caso en un animal nacido en el país. Hasta este momento no se tiene conocimiento de la existencia de la enfermedad en otros países o continentes, además de los referidos (OIE, www.oie.int/eng/info/esesb).

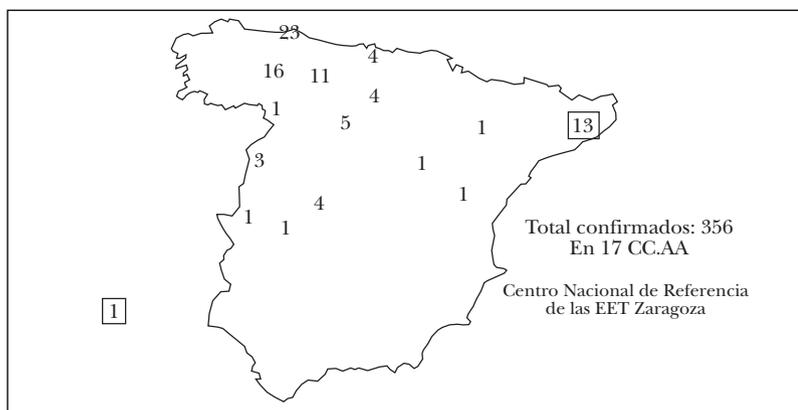
7.8. Epidemiología de la EEB en España

Desde la aparición de los primeros dos casos de Galicia en noviembre del año 2000, en España se han confirmado 325. En el año 2001 se diagnosticaron 82, 124 en 2002 y 114 en 2003 hasta finales de octubre.

Desde el 1 de enero de 2001 se ha analizado un importante número de animales (en torno a 1.300.000). La ratio de animales positivos en relación con el número de análisis realizados es de 0,56 positivo por 1.000 animales analizados. Todos los casos fueron confirmados por nuestro Laboratorio Nacional de Referencia de Encefalopatías Espongiformes Transmisibles de Zaragoza.

Del total de casos detectados en España, 110 corresponden a Galicia, 88 a Castilla y León, 32 a Cataluña, 24 al Principado de Asturias, 13 a la Comunidad Foral de Navarra, 12 a Illes Balears, 13 a Extremadura, 11 a Cantabria, 6 a Andalucía, 6 a Aragón, 6 a Castilla-La Mancha, 3 a la Comunidad de Madrid, 2 al País Vasco, 1 a la Comunidad Valenciana, 1 a La Rioja, 1 a la Región de Murcia y 1 a Canarias. Así, la enfermedad ha sido descrita en las 17 Comunidades Autónomas españolas. La distribución por provincias queda reflejada en el mapa que se adjunta (mapa 7.1).

MAPA 7.1: Distribución geográfica de los casos de EEB en España



Es evidente que la mayoría de los casos han aparecido en el cuadrante noroccidental del país, coincidiendo con la zona de España que posee un mayor censo bovino de 24 meses de edad. Parece existir también un porcentaje de casos menor en la parte del país donde predomina el régimen extensivo y naturalmente en las áreas de España en las que el tipo de explotación vacuna fundamental es la de engorde intensivo.

De hecho, el 14,78% de los casos positivos tenían 4 años; el 26,52%, 5; el 26,96%, 6 y 16,52%, 7. Se registraron, no obstante, 2, 1 y 3 animales que tenían 12, 13 y 14 años de edad, respectivamente, y 5 menores de 4. La gran mayoría de los animales había nacido entre los años 1995 y 1997.

Los animales corresponden a razas mayoritariamente de producción lechera, particularmente frisonas, aunque en algún caso concreto eran de aptitud mixta o de producción de carne. Así, se ha de

tectado el 62,17% en vacas de raza frisona, 23,04% en cruces y el resto en razas productoras de carne.

Respecto a las subpoblaciones bovinas del programa de vigilancia en las que se han hallado los casos positivos, éstos se han producido fundamentalmente en el grupo de los animales muertos en granja con un total del 44,78%, y entre los animales de más de veinticuatro meses sacrificados en los mataderos con destino a la cadena alimentaria, que han supuesto un porcentaje del 33,48%. Llama la atención el bajo número de ejemplares detectados en la subpoblación de los animales que habrían evidenciado síntomas clínicos sospechosos en vivo.

7.9. Origen de la variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob (vcjd). Riesgo de transmisión a la especie humana

En 1996 se identifican en Reino Unido diez nuevos casos de Creutzfeldt-Jakob que presentaban unas características neuropatológicas diferentes a las normalmente descritas para la enfermedad (Will *et al.*, 1996). En 1997 se presentan las primeras evidencias de una nueva variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob y de su posible relación con la EEB al confirmarse que sus agentes causales presentaban características similares (Collinge, 1999). Esta enfermedad parece ser consecuencia directa del consumo de tejidos contaminados por el agente causal de la EEB (Ironsides, 1998).

Con el fin de conocer el poder infectante de los distintos tejidos bovinos, se han llevado a cabo estudios en animales de experimentación receptivos al agente de la EEB (Fraser, 1992) (Middleton y Barlow, 1993). La infectividad reside en los animales afectados fundamentalmente en encéfalo, médula espinal y ganglios del trigémino y de las raíces dorsales, no habiéndose detectado nunca en otros tejidos como el músculo o la leche (Scientific Steering Committee, 1999). El origen de esta enfermedad se atribuye a tejidos potencialmente contaminados que podrían haber pasado a la cadena alimentaria. Aunque la utilización de determinadas vísceras de animales bovinos para la alimentación humana fue prohibida en Reino Uni-

do en 1989, se estima que para esa fecha aproximadamente 450.000 animales bovinos infectados podrían haber alcanzado la cadena alimentaria (Anderson, 1996).

Todos los estudios realizados para determinar la infectividad de los diferentes tejidos animales durante las diferentes fases de la enfermedad han sido la base para definir los denominados materiales específicos de riesgo (MER) para este grupo de enfermedades, que han permitido el establecimiento de una normativa para la protección del consumidor. En la actualidad, en España se consideran MER el cráneo, incluidos el encéfalo y los ojos, la columna vertebral y la médula espinal de todos los vacunos de más de un año de edad y el intestino en todos sus tramos, el mesenterio y las tonsilas de los vacunos de cualquier edad. Asimismo, se consideran MER los animales muertos en las granjas por cualquier causa.

Bibliografía

- ANDERSON, R. M. *et al.* (1996): «Transmission dynamics and epidemiology of BSE in British cattle», *Nature*, 382 (6594), págs. 779-788.
- BARLOW, R. (1989): «Differential diagnosis of bovine neurological disorders», en *Practice*, 11 (2).
- COLLINGE, J. (1999): «Variant Creutzfeldt-Jakob disease», *Lancet*, 354, págs. 317-323.
- (2001): «Prion diseases of humans and animals: Their causes and molecular basis», *Annu. Rev. Neurosci.*, 24, págs. 519-550.
- CHESEBRO, B. (1999): «Prion protein and the Transmissible Spongiform Encephalopathy Diseases», *Neuron*, vol. 24, págs. 503-506.
- FARQUHAR, C. F., R. A. SOMERVILLE y M. E. BRUCE (1998): «Straining the prion hypothesis», *Nature*, vol. 391.
- R. A. SOMERVILLE y L. A. RITCHIE (1989): «Post mortem immunodiagnosis of Scrapie and bovine spongiform encephalopathy», *J. Virology Methods*, 24, págs. 215-222.
- FRASER, H. *et al.* (1992): «Transmission of Bovine Spongiform Encephalopathy and Scrapie to Mice», *Journal of General Virology*, 73, págs. 1.891-1.897.
- HEIM, D. y U. KIHM (1999): «Bovine spongiform encephalopathy in Switzerland—the past and the present», *Rev. Sci. Tech. Off. int. Epiz.*, 18 (1), págs. 135-144.
- HOPE, J. *et al.* (1988): «Fibrils from brains of cows with new cattle disease contain scrapie-associated protein», *Nature*, 336 (6197), págs. 390-392.
- IRONSIDE, J. W. (1998): «Neuropathological findings in new variant CJD and experimental transmission of BSE», *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 21, págs. 91-95.
- KIMBERLIN, R. H. (1992): «Bovine spongiform encephalopathy», *Rev. Sci. Tech.*, OIE, 11, págs. 441-489.
- MARSH, R. F. y W. J. HADLOW (1992): «Transmissible mink encephalopathy», *Rev. Sci. Tech.*, 11 (2), págs. 539-550.

- MIDDLETON, D. y R. BARLOW (1993): «Failure to transmit Bovine Spongiform Encephalopathy to Mice by feeding them with extraneural tissues of affected cattle», *Veterinary Record*, 132, págs. 545-547.
- MORGAN, K. L. (1988): «Bovine spongiform encephalopathy: time to take scrapie seriously», *Veterinary Record*, 122, págs. 445-446.
- OIE [OFICINA INTERNACIONAL DE EPIZOOTIAS], www.oie.int/eng/info/esesb.
- PEARSON, G. R. *et al.* (1991): «Feline spongiform encephalopathy», *Veterinary Record*, 128 (22), pág. 532.
- SCIENTIFIC STEERING COMMITTEE (1999): «Opinion on human exposure», diciembre.
- SCIENTIFIC VETERINARY COMMITTEE (1994): «Protocols for the Laboratory Confirmation of Bovine Spongiform Encephalopathy and Scrapie», *A report from the Scientific Veterinary Committee, European Commission, Directorate Legislation and Zootechnics*, Bruselas.
- (1999) «The Evaluation of Tests for Diagnosis of Transmissible Spongiform Encephalopathy in Bovines», *A preliminary report from the Scientific Veterinary Committee, European Commission, Directorate General XXIV, Consumer Policy and consumer health protection*, Bruselas (1999).
- TURNER, M. L. y J. W. IRONSIDE (1998): «New-Variant Creutzfeldt-Jakob disease: the risk of transmission by blood transfusion», *Blood Reviews*, 12, págs. 255-268.
- VAN KLEULEN, L. J. M. *et al.* (1995): *Veterinary Record*, págs. 125, 521.
- WELLS, G. A. H. *et al.* (1987): «A novel progressive spongiform encephalopathy in cattle», *The Veterinary Record*, 121, págs. 419-420.
- y WILESMITH (1989): «The distribution pattern of neuronal vacuolation in bovine spongiform encephalopathy (bse) is constant», *Neuropath. Appl. Neurobiol.*, 15, pág. 591.
- *et al.* (1989): «Bovine spongiform encephalopathy: diagnostic significance of vacuolar changes in selected nuclei of the medulla oblongata», *Veterinary Record*, 125, págs. 521-524.
- WILESMITH, J. M. *et al.* (1988): «Bovine spongiform encephalopathy: epidemiological studies», *Veterinary Record*, 123, págs. 638-644.
- WILESMITH, J. W., J. B. RYAN y M. J. ATKINSON (1991): «Bovine spongiform encephalopathy: epidemiological studies on the origin», *Veterinary Record*, 128 (9), págs. 199-203.
- WILL, R. G. *et al.* (1996): «A new variant of Creutzfeldt-Jakob disease in the UK», *Lancet*, 347, págs. 921-925.
- WILLIAMS, E. S. y S. YOUNG (1992): «Spongiform encephalopathies in cervidae», *Rev. Sci. Tech.*, 11 (2), págs. 551-567.

8. Building the confidence in science of citizens and politicians: the European reference system for measurements

Alejandro Herrero Molina and Jean Pauwels
Institute for Reference Materials and Measurements

8.1. Introduction

Past crises have resulted in the European public losing confidence both in the scientific advisors supporting public policy decisions and on the decision-makers themselves. This paper aims to describe some approaches followed by EU Member States and EU institutions to restore citizens', and policy-makers' confidence in science.

In a first section, we analyse the context in which science-based decisions are taken in modern society; scientific and technological advances provide new opportunities, but they also bring about new risks. This dual characteristic is often reflected in the emergence of conflicting scientific opinions, which result from the confrontation of diverging interests, for and against innovative change. Inevitably, these controversies, strongly fuelled by the media and the Internet, are generated by the debate between business interests pushing in support of their new products and markets, and a risk averse population avid to find knowledge relevant to its concerns. Policy-makers find themselves in the middle of these controversies, and are under strong social pressure to take decisions; usually, without sufficient scientific information to back up their choices. To restore public confidence, the European Union has pioneered and strongly supports the application of the Precautionary Principle; a subject which is not free from controversy and criticism from our trade competitors.

The principles governing the use of ad hoc Scientific Committees, necessary to arbitrate public controversy and raise policy-makers' confidence in science, will also be analysed. However, there are

situations in which scientific advice alone is not enough to support difficult decisions; providing confidence in these cases calls for a more robust system able to provide *scientific and technical references*. In particular, when policy options and choices are based on the results of specialised measurements, there is a need to resort to undisputed excellence; the ability to perform such measurements at the highest possible level of quality and reliability. This is the role of the *European technical infrastructure for measurement, quality assurance and standardisation*, which we also describe. Within this infrastructure, the use of common references —so as to speak a single *measurements language*, is necessary. Such common reference are the Certified Reference Materials (CRMS). In the closing sections, we describe the use of these CRMS along with a discussion of several cases in which this infrastructure has contributed to restoring public confidence: the Belgian crisis created by the dioxin contaminated meat, the *mad cow* crisis labelling of genetically modified foods, and the harmonisation of clinical diagnostics.

8.2. The challenge for policy makers: deciding under conditions of uncertainty

Improving the quality of life, ensuring sustainability and energy conservation, fostering industrial competitiveness, employment and economic growth in a knowledge society, protecting consumers and the environment, or improving the safety of food, industrial chemicals and nuclear industry will all remain key policy objectives for which new, or reinforced, regulatory frameworks need to be developed in the years to come, both in Europe and elsewhere. Progress in science and technology increasingly affects societal change, influencing every aspect of our life; the way we work, what we eat, how we communicate and how we learn. There are clear societal benefits to tap from this progress, but there can also be drawbacks. Citizens and, on their behalf, their elected politicians must make choices which involve a careful evaluation of the risks and benefits brought about by different technological opportunities. The examples given below illustrate how such evaluations require a significant scientific and technical input; even under high uncertainty and without sufficient knowledge politicians must take action in decision-making.

For instance, while a new industrial chemical may allow for the use in textiles of an advantageous new polymer product, that same new chemical can also create hazards to directly exposed users, or indirectly, by affecting the environment and the safety of our food. Should we ban or authorise the product? Do the economic advantages compensate the risks?

The presently popular *organic* food, in some countries also called bio-food, is produced without making use of chemicals, and can therefore safeguard consumers from exposure to e.g. residual pesticides. But this *all natural* farming practice is not free of risks since it may allow the growth of fungi, which will contaminate the food material with mycotoxins; a diversity of organic compounds recognised among the most toxic natural products. So the question is: is the risk of eating food with residual pesticides higher, equal to or lower than that of being exposed to natural toxins?

A *Third Generation* of genetically modified organisms will unquestionably offer more nutritious and superior food products, but their long-term effects on health and environment remain uncertain and controversial.

New combustion and fuel technologies are providing the means for more efficient transportation, with net benefits in terms of energy conservation, but there are strong warnings about the carcinogenic effects of the very fine particulate matter emitted by these new motors. Efficient renewable energies and safe nuclear technologies seem to be important options for tackling the threats posed by global climatic change, but experts raise doubts about the limits of the former, while citizens are very concerned about the safety and security of the latter.

The use of water and marine resources allows many industrial activities. However, the increasing scarcity of clean and safe water, and its excessive pollution and use—a dominant trend in our society—is already posing cross-border/transnational environmental security problems, as exemplified by recent oil spills, or by the 1999 heavy-metal pollution events in the Doñana ecological reserve and in the Rumanian gold mine of Baia Mare. How can we regulate to protect water resources without damaging legitimate business interests, employment and industrial competitiveness?

Excessive reliance on modern information technologies, though they provide immense advantages to our modern way of living, can

also make our businesses, communication systems, our travel or even the entire economy vulnerable to the action of a single *hacker*. How can regulation enhance the security of the system?

8.2.1. A difficult balance involving many factors

Policy-makers need to make difficult choices balancing the risks and benefits of new technologies; an exercise that *in all cases will require a strong input of scientific and technical knowledge*. That knowledge, however, might not be always available in the desired amount and quality.

Besides bringing new opportunities and risks for consumers, technological progress also creates new *business interests*. Global trade and liberal industrial competition allow an ever-increasing number of new products into the EU Internal Market. But as these products are designed and produced under sometimes mutually incompatible, *distant*, regulatory frameworks, an additional challenge for policy makers arises: i.e. how to manage the conflict and strike a balance between legitimate business interests and the interests of other local, national or international stakeholders, while, at the same time, ensuring progress and safeguarding individual rights, as well as the security and stability of society as a whole.

8.3. Science and citizens in the knowledge society

8.3.1. Public controversies between conflicting parties

European citizens are becoming increasingly aware of their rights and ever more informed about the risks posed by technological progress. There is a strong flow of scientific information, for example, dealing with the health or environmental implications of new technologies, which permeates society in a non organised, even chaotic way. Public controversies are flourishing in the public domain via the media and the Internet. This debate is steered on the one side by non-state actors, including non-governmental organisations and consumer pressure groups and, on the other side, by industry and business interests, the so-called *lobbies*. As a result, democratic regulators are compelled to take into account the available scientific knowledge on which they base their decisions. They must also clearly explain to their constituencies the scientific or technical

basis for the choices they make as well as the risks incurred. This is, however, a difficult endeavour because frequently there are many pending questions. For example: Is the available scientific information *sufficient* and *reliable*? Does the whole *scientific community share the same opinion*? And if not, who is right? Are the risks sufficiently well defined? Can they be assessed with an acceptable level of confidence? What is the scientific basis for banning a particular product from the market? Does available knowledge allow for a clear-cut yes/no choice? And, if the product is banned, what are the consequences for industrial competitiveness, for local employment and for international trade?

Very often there are no simple answers to these questions and almost always there is insufficient reliable information. As a consequence, policy-makers must take important regulatory decisions, relying more on publicly accepted societal values than on factual scientific knowledge. Moreover, as decisions sometimes need to be taken under the pressure of *emergency situations*, they are frequently based on incomplete, uncertain or non-conclusive scientific/technical evidence, if not taken amidst a heated debate among fully contradictory scientific opinions; the scientific community is not always of a homogenous opinion on a particular point and every side in a controversial issue can find an expert with a supportive opinion. So the questions remain: How to develop consensus? Who is right? Where can the policy-maker turn to for credible, acceptable and accountable scientific and technical opinions?

8.3.2. Citizens' will and right to know

Crises and events such as those lived through in the EU (mad cow disease, *dioxin crisis*, outbreaks of microbial food-poisoning...), in combination with the extensive media coverage given to those events, have promoted a *determined will to know more* on the part of EU citizens, who are also eager to fully benefit from their *right to know*. Access to many sources of information within the knowledge society has heightened popular interest in scientific knowledge, as an enabler for making intelligent choices between promised benefits and the potential health or environmental hazards induced by technological progress. In this context, scientific knowledge appears as the

best protection against market pressures, and the best means to make an informed choice. The key question remains, however, *whose science citizens choose to believe in?*

8.3.3. Conflicting interests generate contradictory opinions

European citizens make use of their available knowledge to judge the decisions taken by public authorities. However, understanding the basic concepts of science is often elusive to the average citizen. Moreover, the issues are usually analysed by experts who are partisan in the debate, (e.g., political or industrial lobbies, or consumer associations). The picture is further blurred by the fact that the official scientific community appears sometimes divided and often doubtful or excessively cautious when clear positions on issues of concern for citizens have to be taken.

As the Harvard University professor S. Jasanoff states (1990):

[...] looking at the substance and context of scientific disputes [...] it is plausible to conclude that they had relatively little to do with the competence or incompetence of agency officials and a great deal to do with social construction, boundary work, and the politics of scientific knowledge. The central tenet of social constructivism, after all, is that perceptions of scientific *reality* are always coloured by such contextual features as the scientist's professional, institutional, political, and cultural affiliations. If one accepts this view, disagreements between adversarially situated scientists—for example, a consultant and the expert panels appointed to criticise his work—seem altogether predictable, even inevitable. Put differently, in a politicised environment such as the U.S. regulatory process, the deconstruction of scientific *facts* into conflicting, socially constrained interpretations seems more likely to be the norm than the exception.

This statement clearly reflects the difficulties encountered in the USA in ensuring the independence of the experts advising authorities by means of a range of committee processes. Written over a decade ago, it remains of the utmost actuality. And it clearly signals that, on occasions, building the confidence of society in scientific

opinions need to *go beyond what a committee process can provide*, i.e. more than just scientific advice may be necessary.

8.3.4. Debate within a multicultural environment

To a large extent, the prevailing public mistrust in *official science* is due to the fact that relevant scientific concepts may escape the comprehension of the average citizen. But the diversity of cultural backgrounds and traditions within the EU also plays a major role in modulating the perception of citizens on conflictual issues such as genetic engineering, electronic commerce or environmental problems. Confronted with differing scientific opinions, unequipped with the necessary basic knowledge and fearing for their own safety, normal citizens may opt to compare the available scientific answers with their own references on cultural, ideological or religious beliefs. This may lead to a *subjectivisation* of the positions of individuals, who find no solid scientific or technical basis on which to rely. For this reason, and given that divergent scientific opinions may appear aligned with the interest of specific stakeholders, which can be quite different from the *official* scientific advice, doubt and mistrust in *official science* builds up in the consciousness of citizens.

8.4. Building the confidence of citizens: the precautionary principle

The essence of the precautionary principle is captured in common sense aphorisms such as *look before you leap*, *mieux vaut prévenir que guérir* or *better safe than sorry*. In contrast, public policy in Europe and the US has until recently been guided by different principles, perhaps best reflected by other aphorisms such as *nothing ventured, nothing gained*. Both positions can however be reconciled by the commonplace sentence *if you go on a car trip, fasten your seat belt*.

The Precautionary Principle builds public confidence because it requires that, if there is not sufficient knowledge available, the policy-maker will choose the conservative policy option, i.e., the option protecting the citizens or the environment, or both.

8.4.1. The established risk analysis paradigm

The use of science-based risk analysis, *structured in risk assessment, risk management and risk communication*, is the cornerstone upon which policy decisions are based. The above-discussed limitation of the available scientific knowledge on which political decisions in sensitive issues (e.g., environmental, economic and social sustainability, health hazards from toxic chemicals, food safety) are often based, have led to the recognition of the importance of the precautionary principle, both by policy makers and by society as a whole. The precautionary principle is the tool to guide decisions which are to be based on societal values if they can not be based on facts. In other words, the realisation that the current risk analysis paradigm is, in many instances, irrelevant and can not be effectively applied when the supporting scientific base is controversial, reveals the need to use precaution in decision-making when important societal values are at stake. *The precautionary principle is therefore an additional tool in the hands of regulators*, as it complements the generally accepted risk analysis process, compensating for the vacuum left by incomplete scientific knowledge. The precautionary principle is described as being applicable where preliminary objective scientific evaluation indicates that there are reasonable grounds for concern that the potentially dangerous effects on the environment, human, animal or plant health may be inconsistent with the high level of protection chosen for the Community.

The use of the precautionary principle as a risk management option bears a direct relationship with the way in which *risk (and the risk/benefit distribution) is perceived by citizens*. Thus, although European society does not, and cannot, renounce the use of scientific knowledge in public policy decisions, it seems to have accepted that, beyond what science can tell at a particular point in time, there are other legitimate factors and values which must be considered by decision-makers. In short, if we must err, let's do it on the safe side.

8.4.2. The European position regarding the precautionary principle

The Precautionary Principle is enshrined in article 174.2 of the Treaty on the European Union, which says:

Community policy on the environment shall aim at a high level of protection taking into account the diversity of situations in the various regions of the Community. It shall be based on the precautionary principle and on the principles that preventive action should be taken, that environmental damage should as a priority be rectified at source and that the polluter pays.

It is therefore an obligation that Member States and European Union's institutions cannot ignore. The key steps in the development of the Precautionary Principle in Europe were as follows:

8.4.3. A request from the council of ministers

In April 1999, still in the heated aftermath of the mad cow disease crisis, the Environment Council of Ministers requested the Commission to «be in the future even more determined to be guided by the Precautionary Principle in preparing proposals for legislation and in its other consumer-related activities and develop, as a priority, clear and effective guidelines for the application of this principle».

8.4.4. The Commission's response

In February 2000, the Commission issued a communication to the Council and Parliament proposing clear guidelines for the application of the Precautionary Principle in a manner which facilitates «finding the correct balance so that proportionate, non-discriminatory, transparent and coherent actions can be taken». The Commission also recognised that deciding under conditions of uncertainty requires a structured decision-making process with detailed scientific and other objective information, including cost/benefit analysis of the action, or of the lack of action, and a prospective view on the foreseeable evolution of available knowledge.

The Commission communication describes the use of the Precautionary Principle within the generally accepted structured approach for risk analysis (see 8.4.1). The Commission also advocates maximising the use of the Precautionary Principle as a tool for risk management in cases where scientific evidence is insufficient, inconclusive or uncertain. It also establishes that the *trigger for its application* must be a preliminary scientific evaluation indicating that there are reasonable grounds for concern, i.e. that the poten-

tially dangerous effects of the action on the environment, human, animal or plant health may be inconsistent with the high level of protection chosen by the EU and established in the Treaty.

8.4.5. Endorsement by the European Parliament and the European Council

These ideas were strongly and unequivocally endorsed by the plenary of the European Parliament, which voted its conformity with the «Patrie Report on the application of the Precautionary Principle» (named after the Member of Parliament acting as rapporteur). And most important: during the Nice Summit at the end of 2000, the Heads of State or Government of the 15 Member States unanimously acknowledged the Commission and Parliament's conclusions and issued, on 10 December 2000, a European Council Resolution asking the Commission and their own Administrations to:

[...] ensure that the precautionary principle is fully recognised in the relevant international health, environment and world trade forums [...]; to pursue that aim and ensure that it is taken into account as fully as possible, particularly at the WTO, and at the same time help to explain it; ensure that the public and the various parties involved are informed as fully as possible about the state of scientific knowledge, the issues at stake and the risks to which they and their environment are exposed.

8.4.6. Implementing the precautionary principle: a Science-based approach

It is clear that with such a strong and unanimous mandate, Europe is now committed to *look before it leaps* in environmental, health and consumer protection policies. And there are indeed different initiatives within the scientific community across the EU seeking to fulfil that mandate by further developing the guidelines put forward by the EU Institutions.

The implementation of the precautionary principle starts with a scientific appraisal of the potential risks involved, evaluating their plausibility and severity using all relevant information available at the time when decisions are to be taken. It includes a careful analysis of

the said information in order to describe scientific uncertainties. To the extent possible, an assessment of the cost/benefit balance between the measures to be taken and the consequences of the potential risks foreseen in the absence of such measures must also be made.

8.4.7. Longer-term effects, higher uncertainties for decision-makers

One of the difficulties linked to the application of the precautionary principle is related to the long-term nature of environmental risks. This is for instance the case when dealing with policy issues potentially affecting sustainability, where the short-term benefit for our society may endanger the lives of future generations. Global change is a good example; the uncertainties about what will happen in 50 years time are of course very high. But it is precisely in dealing with such long-term, complex and uncertain issues that the precautionary principle has its greatest significance, because it gives decision-makers badly needed support for the difficult choices they are obliged to make. In the end, if risk policy decisions are intended to balance progress with social well-being in a sustainable way, politicians cannot ignore the importance of the socio-economic context in which the decision is to be taken and, more importantly, to which they are accountable. In such a context, societal values such as economic development and employment, fair trade practices, social equity, North-South solidarity, etc. must be considered. For example, considering only the potential health or environmental effects of genetically modified food represents a restricted approach to the use of the precautionary principle. Other factors, such as the agricultural productivity gains claimed by industrial companies, market distortions, social and cultural effects of new techniques, their impact on the quality of life or on the industrialisation of rural activities should also be taken into account when introducing or regulating the use of this technology.

8.4.8. The pioneering application of the precautionary principle in environmental law

The precautionary principle was first introduced in the 1970s in Germany, where the philosophy behind the *Vorsorgeprinzip* stressed that any environmental policy should not only consider short-term risks and ways to repair damages. It also identified *forward*

planning (*Vorsorge* entails the notion of *foresight* in German) as an essential element in policies aimed at the preservation of the environment; and underlined that precaution is needed for a rational use of natural resources in a manner compatible with economic development and progress.

In 1987 the principle was introduced in the international arena during the *2nd Conference for the Protection of the North Sea*. The Ministerial Declaration of this Conference recognised that, to preserve the marine ecosystem it is essential to reduce emissions, in particular of bio-accumulating persistent pollutants, even though at that time there was no strong scientific evidence of causal links between these emissions and their detrimental effects on marine wildlife: «especially when there is reason to assume that certain damage or harmful effects on the living resources of the sea are likely to be caused by such substances, even when there is no scientific evidence to prove a causal link between emissions and effects (the principle of precautionary action)».

These recommendations, and the implicit philosophy inspiring them, were confirmed in subsequent conferences of the same parties in 1990 and 1995.

In 1992, following the *United Nations Conference on Environment and Development*, the Rio Declaration-Agenda 21 stated that «Nations shall use the precautionary approach to protect the environment. Where there are threats of serious and irreversible damage, lack of full scientific certainty shall not be used as a reason to postpone cost-effective measures to prevent environmental degradation».

8.5. Building the confidence of policy-makers in science: the role of scientific committees

Today Europe and many developed countries have a variety of systems and committee processes for producing scientific advice to policy-makers.

In 1997, following the mad-cow crisis, the European Commission completely re-furbished the system of producing scientific advice for the policy-making process. The three general principles inspiring this re-organisation were:

- to separate the legislative function from that of scientific consultation;
- to separate the legislative function from that of inspection; and
- to improve the transparency of the decision-making process and inspection measures.

Eight sectoral Scientific Committees ¹ were created, together with a Scientific Steering Committee, which included amongst its members the eight sectoral chairs. This system was successfully implemented during the past six years and most of it has recently been placed, under the responsibility of the European Food Safety Authority (EFSA).

8.5.1. Principles of sound systems for scientific advice

The functioning of these Scientific Committees is based on three main principles:

- *excellence of scientists* («the highest possible quality»),
- *independence* (experts «free from interests»), and
- *transparency* (disseminating information to consumers, individuals and associations, EU institutions and national authorities).

At operational level, it must include additional attributes such as *realism, effectiveness and understandability*, in order to build general confidence in the scientific advisory system. The good functioning of advisory bodies also requires a direct relationship with the responsible regulatory authorities. Moreover, the system should involve public interest groups (see below), be accountable to elected representatives and benefit from sufficient public funding so as to guarantee continuity of operation. It should develop relations and exchange information with homologous advisory bodies and esta-

¹ Scientific Committees on Food; Animal Nutrition; Animal Health and Animal Welfare; Veterinary Measures relating to Public Health; Plants; Cosmetic Products and non-Food Products intended for Consumers; Medicinal Products and Medicinal Devices, and on Toxicity, Ecotoxicity and the Environment.

blish a communication facility to allow for direct contact with the public.

The involvement of public interest groups possibly with conflicting opinions, the *inclusion principle*, determines that formulated opinions or decisions have a much higher chance to be accepted, as the relevant parties have been consulted and have been able to express themselves, and generally feel that their opinion has been taken into account. The *stability principle* calls for particular attention to ensure that the common advisory system has a sustainable underlying structure capable of capitalising on past experience, and is able to adapt to new situations through built-in flexibility.

There are different systems for generating scientific advice in the EU Member States and international organisations such as the UN, FAO, WHO and CODEX, the OECD, the US Food and Drugs Administration and the US Environmental Protection Agency. While there is a certain similitude in the principles inspiring the procedures, there is also a large heterogeneity of options and approaches on the different positions of advisory agencies within the organisational charts of Administrations, as well as in the scope of their respective responsibilities. This issue is of major concern for the Administration of many developed countries, which are reviewing their current models and practices for scientific advice, seeking to identify problems and the way to solve them.

Having learned from experiences in the EU and abroad and having extracted best practices for developing an integrated approach, the European Commission produced *Guidelines for Scientific Advice* in 2003, harmonising its own practices and approaches to using scientific committees. The United Kingdom too adopted its own *Guidelines for Scientific Advice* and Canada issued the *SAGE Report (Science Advice for Government Efficiency)*. Moreover, there are international initiatives aiming at the creation of a new body to provide impartial scientific advice to international organisations. The US National Academy of Sciences is leading a proposal for the creation of an *Inter-Academy Council*, which would parallel, at international level, the role that the US National Research Council plays internally as the body which sets up *ad hoc* scientific committees to advise the US Government.

8.6. The European measurements infrastructure: a reference system creating confidence for all

As discussed above, in many instances scientific advice on its own is insufficient to support a new policy. There is also a need to develop *a scientific and technical reference system*, that is to say, a *scientific and technical infrastructure* able to support policy-makers in meeting their challenges.

The science of measurement, i.e. the knowledge and tools needed for obtaining appropriate and reliable measurement results has always been an important component of the economic relations between populations, countries, regions, towns and individuals. With the present process of globalisation and international communications and trade, measurements have not only gained in importance, but also in complexity. They have become a tool of prime importance not only in the management of crises, but also in the implementation and monitoring of policies and legislation.

Today, countries all over the world have established extensive measurement infrastructures. But, due to the needs brought about by the establishment of the Internal Market, the European Union has been the first mover in setting up a model technical infrastructure for the accreditation of laboratories and the standardisation of measurement methods and measurement infrastructures, consisting of metrology institutes, reference laboratories, and field laboratories. In synthesis, technical infrastructure in Europe is integrated by:

- The *National Metrology Institutes* (NMI) of each Member State and their cohort of service providers (testing and calibration laboratories), *the measurement producers* which perform the bulk of the more than 10 billion chemical measurements carried out annually. All European NMI, together with the European Commission's own reference measurements centre, the Institute for Reference Materials and Measurements, are integrated in the regional network EUROMET, where their work is co-ordinated, the quality of their measurements benchmarked and their technical knowledge shared.

- *Inspection and Certification bodies*, in charge of conformity and competence assessment, and *national accreditation bodies* and their umbrella organisation, European Accreditation.
- *Standardisation bodies*, i.e., national standardisation bodies and their umbrella organisation Comité Européen de Normalisation (CEN).

These three elements provide Europe with a homogeneous, transparent and credible technical infrastructure. This infrastructure is already an apparent component of the developing European system for s&T reference. It is also regarded as an important element of the *Acquis Communautaire*; hence, in the recent EU enlargement process, the model has also been applied to the accession member states.

In addition, for measurements related to the implementation of European legislation in particular sectors (e.g. food), the Commission has developed a system of *Community Reference Laboratories* (CRLS), functioning as knowledgeable co-ordinators of the activities of the National Reference Laboratories (NRLS) related to particular measurements (e.g. hormones, pesticides, antibiotics, etc.). The role of CRLS is to harmonise methods and procedures, to ensure measurement quality by means of interlaboratory comparisons and to promote the implementation of best practices across the EU Member States. An important task of NRLS is to disseminate the good measurement practices to, and ensure the quality of the field laboratories active in their country.

8.7. Measuring near legal limits: the need for common references

In addition, the functioning of the European Internal Market has stressed the importance of *equivalence of measurement results*. Such equivalence is necessary, for instance, to deal with litigation in border-crossing situations or between trade partners. To a large extent, the implementation and monitoring of European legislation has become highly dependent on scientifically sound and reliable measurements. In fact, according to some Commission' estimations, the

implementation of about one third of all EU legislation effectively relies on *chemical measurements*. Such is the case, for example, of most environmental regulations dealing with emission of pollutants in the air, soil or water, and for regulations related to food safety and quality, the safety of existing and new chemical compounds, genetically modified organisms, energy, the safety of nuclear reactors and nuclear safeguards. The control of all of this legislation involves *the measurement of regulated parameters*, the results of which will determine whether or not companies, or individuals, or official institutions are complying with the limits established by legislation. On the basis of such measurement results, public authorities must then take a decision to manage the risk. Evidently, the consequences of *false positive* measurements can be enormous for companies that fail to obtain approval for their products, or that have to pay the penalties established for non-compliance. But more importantly, *false negative* results can have catastrophic consequences for individuals or communities, who may, for example, be unnecessarily exposed to toxic compounds.

Moreover, the absence of any demonstrated degree of equivalence prevents fair trade and constitutes a potential technical barrier to international trade. The effective import-export of food and feed material depends on internationally established quality and safety standards. And the determination of compliance with those quality standards requires a high degree of recognised, and *internationally accepted*, equivalence of measurement results on both sides of the frontier. This is also the case with the diagnostic methods of laboratory medicine, where reliability and comparability of results are of course paramount to the confidence of users in the clinical diagnostic system: in the absence of equivalence, the same patient could be diagnosed healthy or sick in two different Member States!

8.7.1. Certified Reference Materials: the tool for ensuring comparability of measurements

In the light of the above discussion, it is clear that the development of internationally accepted *reference measurement methods* relevant to all these areas has become an increasingly important priority for policy makers and public authorities. However, the success of the

development of measurement methods is directly dependent on the existence of appropriate measurement evaluation programmes (e.g., rigorous inter-laboratory comparisons) and on the development of *Certified Reference Materials (CRMs)*, the common reference needed for their harmonised calibration, validation and verification.

8.7.2. A few important concepts regarding reference materials

According to the *International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM)* a Reference Material (RM) is «a material or substance one or more of whose property values are sufficiently homogeneous and well established to be used for the calibration of an apparatus, the assessment of a measurement method or for assigning values to materials». A particular subclass of RM are the Certified Reference Materials, defined by VIM as «reference materials, accompanied by a certificate, one or more of whose property values are certified by a procedure which establishes traceability to an accurate realisation of the unit in which the property values are expressed, and for which each certified value is accompanied by an uncertainty at a stated level of confidence».

In more simple words, CRMs are materials for which certain properties have been accurately measured, and are guaranteed in a certificate issued by a recognised and reputed organisation. They constitute the basis of proper calibration of instruments and measurement methods, and of the development, validation and control of such methods, and help to get maximal profit out of laboratory and method evaluation programmes. In summary, they allow all users to *speak the same language*, i.e. to use the same reference in comparing their respective results. CRMs have therefore become key-elements in:

- *ensuring comparability* of results of trade partners (on a voluntary basis), or of different teams, or in different periods of time,
- improving, harmonising or *standardising* measurements and testing on an *international scale*,
- guaranteeing correct *application of written standards* and implementation of national and international legislation,
- implementing quality control schemes, laboratory accreditation and *mutual recognition* of laboratory results,

- reaching the state of the art in some areas of industrial technology where measurements are critical,
- performing measurements which require a *common calibrant* or reference point.

8.7.3. The European position on reference materials

In the European Union, the European Commission played a keyrole in the production and certification of CRMS, initially through its *Bureau Communautaire de Référence (BCR)* located in Brussels, later through its *Institute for Reference Materials and Measurements (IRMM)*, located in Geel, Belgium. The mission of this institute is defined as «the promotion of a common and reliable European measurement system in support of EU policies, especially food safety and quality, internal market, environment, health and consumer protection, and nuclear safety and security».

Today, IRMM has become one of the most important players in this area. It is recognised world-wide as a major *centre of excellence* in the ‘science of measurement’ in general and in the production of Certified Reference Materials in particular.

8.7.4. The role of accreditation for quality assurance of testing and calibration laboratories: building users’ confidence

CRMS are needed to achieve quality in analytical chemistry and in measurements in general, and to establish the traceability of measurement results to appropriate measurement standards, as required by international standards (like ISO/IEC standard 17025). Moreover, they serve as a basis for *determining measurement uncertainty*. Because of their importance for providing confidence in measurement results, the quality of reference materials, the way they are produced and certified, and the way they should be used is an ongoing concern of international organisations and committees, in particular of REMCO, the ISO Reference Materials Committee, which was established in 1975. REMCO publishes Guides on these matters and information on the role of reference materials in achieving quality in analytical chemistry, as well as other valuable and important information on reference materials in general.

Nowadays, national authorities in most countries of the world require that all laboratories which carry out measurements on their

behalf are formally accredited to the standard ISO/IEC 17025. The importance of such an accreditation and the possible consequences of the absence of a formal accreditation are clearly illustrated by the Belgian *dioxin crisis* described below.

Accreditation to ISO/IEC 17025 consists of the demonstration of the competence of testing and calibration laboratories to carry out specific measurements and the acknowledgment of this competence by a recognised accreditation body. The aim of accreditation is to facilitate the acceptance of measurement results between partners and countries as a consequence of a *Mutual Recognition Agreement* between accreditation bodies worldwide.

The *general requirements for the competence of testing and calibration laboratories*, outlined in ISO/IEC 17025, contain an extensive technical part which aims to assure that the measurements carried out by the laboratory are correct and reliable. An important chapter relates to the validation of the method used to carry out the measurement, including the realistic estimation of the measurement uncertainty, the calibration and control of the equipment used to perform the measurement and the traceability of the results to appropriate measurement standards. The regular use of CRMS for calibration and quality control as well as regular participation in suitable programmes of inter-laboratory comparisons is of utmost importance in gaining a laboratory official recognition.

8.8. The role of reference materials and measurements in building confidence: some examples

The role of reference materials and reference measurements is to provide confidence to both citizens and public authorities. What is important is that the user of the measurement result has *confidence in the institution providing the reference material or executing the measurement*. For this reason, scientific institutions devote significant efforts to comparing their measurement performances and capabilities with those of their peers. This is the purpose of the inter-laboratory comparisons organised at all levels, such as:

- those amongst metrology institutes in the frame work of the *Mutual Recognition Arrangement* (the so-called «Key Compari-

- sons» organised in the frame of the International Committee of Weights and Measures of the Metre Convention),
- those amongst National Reference Laboratories in the framework of EU policies (co-ordinated by Community Reference Laboratories),
 - regular proficiency testing programmes for field laboratories in specific sectors (laboratory medicine, environmental monitoring...).

8.8.1. The Belgian *dioxin crisis*

The occurrence, in spring 1999, of high concentrations of polychlorinated biphenyls (PCB) and dioxins in animal feed and in pig, cattle and poultry in Belgium brought about a sudden drop in consumer confidence in the safety of food, when it was discovered that the most probable origin of the contamination was the accidental mixing of transformer oil with vegetal oil and fat recycled in animal feed. Monitoring activities concerning the levels of PCB and dioxins in food started in both EU member states and non-member states, and total PCB levels as high as 20,000 ng/g were reported. The European Commission placed an *export ban on Belgian meat products that had not been tested and found to contain less than 200 ng/g total PCB*. But despite this precautionary measure, countries worldwide imposed a complete import ban on Belgian meat products: in Asia thousands of tons of Belgian pork were blocked for several weeks by custom authorities, and even some EU countries stopped all imports as «a precautionary measure, until confidence is restored». The main justification of this attitude was that measurement results were neither trusted nor accepted because few laboratories—and none of the Belgian laboratories!— had so far been in a position to demonstrate their measurement capability. In a first instance, the availability at IRMM of some BCR matrix CRM (see table 8.1) helped the laboratories to take a very first step in the development and validation of their measurement methods, and to get at least some internal confidence in the results they produced.

Most of the credit for this first step goes to the Belgian authorities, which explicitly required Belgian laboratories to use these BCR CRMs for their quality control.

TABLE 8.1: BCR CRMS available in 1999

BCR-349 PCBs in cod liver oil
BCR-350 PCBs in mackerel oil
BCR-420 PCBs in waste mineral oil (low level)
BCR-449 PCBs in waste mineral oil (high level)

The situation only improved significantly after IRMM succeeded in the short term preparation and certification of a dedicated calibration solution and of three specific matrix CRMS (see table 8.2). Initially, these CRMS were used in two proficiency tests aiming at the evaluation and improvement of the measurement capability of the Belgian control laboratories. As a result of these tests; some of the laboratories were excluded from further measurement contracts with the Belgian authorities, but others got official recognition and accreditation to ISO/IEC 17025, with the consequence that international confidence in Belgian meat products —and on the measurements implemented by Belgian laboratories— was be restored and the trade barriers could be lifted.

TABLE 8.2: IRMM matrix CRMS in support of the Belgian dioxin crisis

IRMM-444	PCBs in pork fat:	< 14 ng/g
IRMM-445	PCBs in pork fat:	93 ng/g
IRMM-446	PCBs in pork fat:	207 ng/g

PCB values = congeners specifically mentioned in EC-legislation

8.8.2. The mad cow crisis

Bovine spongiform encephalopathy (BSE), generally known as *mad cow disease*, is a chronic, degenerative disease affecting the central nervous system of cattle. Worldwide, there have been more than 180,000 cases in cattle (Eurostat data 26, september 2003) since the disease was first diagnosed in 1986 in the UK. Since then, the disease has also been found in native-born cattle almost

all over the world, even if the vast majority of cases still occurred in the UK.

The problem became of real concern to public authorities in the UK and in the EU, when in the nineties evidence suggested that the disease could be transmitted across living species, including to humans. Today, more than 145 people have died, mainly in the UK, of what has become known as *variant Creutzfeldt-Jakob's Disease* (vCJD), a progressive debilitating neurological illness, which after a prolonged incubation period of several years, is always fatal.

The appearance of BSE is not only a serious threat to public health—estimates of potential human victims are still uncertain, but by some estimates they are in the several thousands range—, it also had a very substantial impact on the food industry in general, and livestock industry in particular. At one point in time, the consumption of meat in the EU was drastically diminished, due to lack of consumers confidence.

In order to guarantee acceptable safety standards for the consumption of beef and derived products and to restore the confidence of consumers and the governments of the EU Member States, a number of emergency measures were taken by the European Commission. All of them required control measurements and quality control measures involving both reference materials and reference measurements.

First, there was the ban on animal proteins and bone meal from cattle feed: a ban that could not be strictly followed, particularly in France where it led to a revival of BSE cases in the middle of the nineties. Then there was the removal of *specific risk material* from slaughtered cattle. However, the correct implementation of the above measure required the development of dedicated control methods and control samples for their validation, an activity in which the JRC Institute for Health and Consumer Protection and IRMM played an important role. But the obligation to carry out *post-mortem testing* of all healthy slaughtered animals of an age above 30 months (for fallen stock above 24 months) for the detection of BSE prions in their central nervous tissue was certainly a most important action in seeking to restore confidence. This post-mortem testing required the development of appropriate fast but also sensitive and selective testing methods, their evaluation by a neu-

tral and independent scientific institution, and their approval as an official method recognised by the European Commission. For this purpose, IRMM prepared many thousands of coded, certified BSE-positive and BSE-negative samples of spinal cord and brain stem tissue, which were used to test all candidate post-mortem tests proposed to the European Commission.

In the period 1999-2003 nine *post mortem* BSE tests were evaluated by IRMM and five of them were approved for monitoring by the European Commission as defined by Regulation (EC) N: 999/2001 (Nature 1999, 400, 105). The programme for 2003 and 2004 foresees the evaluation of about a dozen further rapid *post mortem* BSE tests and of some *live animal BSE tests*. Moreover, IRMM is exploring the possibility to use reference samples from BSE infected transgenic mice for quality assurance and control of rapid *post mortem* BSE tests. Finally, a larger batch of test specific brain stem homogenates with multiple dilutions is being developed for use in batch control, ring trials, and other quality control procedures related to rapid BSE tests.

In addition, the above-mentioned reference samples were also used to evaluate the measurement capability of the BSE-reference laboratories operating in EU Member States. IRMM was the first to organise proficiency testing with national reference laboratories for BSE in the European Union and in all EU Candidate Countries in the years 2001 to 2003. The results obtained in these exercises are helping to develop test specific reference materials to control both laboratory and test performance in a standardised manner. These proficiency testing programmes, carried out in collaboration with the Commission Directorate General for Health and Consumer Protection and the Community Reference Laboratory for TSE, ensure a reliable performance of all laboratories.

Today meat consumption in the EU is back to normal levels: the confidence of consumers has been restored.

8.8.3. Guaranteeing compliance with labelling directives —an example

According to European Union legislation, food and food ingredients containing GMO in concentrations above 0,9% must be labelled appropriately. However, accurate and clear identification of food products derived from genetically modified ingredients is an

obligation that can only be guaranteed if measurement methods exist which are sufficiently reliable.

CRMS are cornerstones to verify the correct application of standardised quantitative measurement methods. As weight % GMO present in a sample cannot be measured directly, *DNA and protein-based methods*, determining the transgenic DNA sequence and/or protein typical for a GMO, are commonly applied for the quantitative detection of genetic modification. So far, CRMS have been produced and certified by IRMM for 8 GMO materials, including: Bt-11 and Bt-176 maize, Roundup Ready soybean and MON 810 maize. Over the last few years the availability of these CRMS has contributed very significantly to the improvement of the scientific understanding of the properties of genetically modified organisms and the problems related to their quantitative determination as required by European labelling directives.

The production of these powdery GMO reference materials is a labour and cost intensive operation. They can be used to control the whole process of GMO quantitation in food samples including extraction efficiency and matrix effects. But as pure DNA CRMS could become useful tools for the calibration of DNA based methods, they are also currently under development at IRMM.

8.8.4. The elimination of trade barriers: harmonising clinical diagnostics

The stated purpose of the European «in vitro diagnostic (IVD) Directive» (98/79/EC) is to eliminate trade barriers within Europe and to ensure improved measurements for healthcare decision-making by creating a single channel of approval for all IVD products within the European Union. This requires that the manufacturers of in-vitro diagnostics who wish to sell their products in the EU, be obliged to demonstrate that they are «traceable to reference systems (i.e. reference materials and/or reference methods) of a higher order». This ruling has brought to light an enormous need for internationally recognised CRMS.

In anticipation of this situation, IRMM signed a co-operation agreement with the International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (IFCC) as early as 1996, with the aim of producing joint IRMM/IFCC CRM. Since then, CRMS and methods have been developed and produced in close collaboration with IFCC Working Groups and Reference Laboratories. Moreover, IRMM has become a

key player in JCTLM, the Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine, which aims at establishing a global reference system for clinical diagnostic measurements under the umbrella of BIPM, the Bureau International des Poids et Mesures, which is the international authority for measurement systems.

Bibliography

JASANOFF, S. (1990): *The Fifty Branch, Science Advisers as Policy-makers*, Cambridge, Mass., Harvar University Press, 1990.

9. El diseño de un sistema de seguridad alimentaria a escala nacional

M.^a Purificación Neira González

Presidenta de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria

9.1. Érase una vez la seguridad alimentaria

Nadie puede pensar que la seguridad alimentaria es un fenómeno nuevo. Ni tan siquiera redescubierto. Muchas prácticas que la tradición nos ha acercado como atractivos gastronómicos perseguían, en su momento, salvaguardar la inocuidad del alimento, prolongar su vida útil sin deterioro y sin riesgos. El primer paso en seguridad alimentaria permite la conservación prolongada de los alimentos gracias a las salazones. Si en ocasiones la gastronomía o las modas han relegado a un segundo plano la vertiente higienizante de métodos como el ahumado, el encurtido, la salazón... justo es reconocer que esa faceta protectora sigue sirviendo hoy como lo era en tiempos pretéritos.

En efecto, la sal marina, primer aditivo alimentario del que se tiene constancia, es utilizada en el antiguo Egipto y en Mesopotamia al comprobar que algunos alimentos, salados convenientemente, se conservaban durante mucho más tiempo.

Se inicia también el uso de aditivos naturales, derivados de vegetales o insectos, para cambiar, mantener o reforzar el color de la comida, o para mejorar su aspecto. Es el caso de la *cochinilla del nopal*, en la América precolombina.

Los chinos son los primeros en usar los jarabes de azúcar para detener la descomposición de la fruta, y el uso del vinagre tiene también una historia milenaria.

Curiosamente, el bacalao salado llega a ser durante una época una moneda de intercambio.

El Imperio Romano asienta, con sus industrias de salazones, las bases de la moderna industria alimentaria y toma las primeras precauciones para la seguridad de los alimentos.

En las tablillas asirias se perfila lo que serán las primeras reglas codificadas para proteger la venta de alimentos de prácticas fraudulentas. Se describe en las mismas el método cuya finalidad es determinar los pesos y medidas correctos para los cereales destinados al consumo humano y, a su vez, rollos egipcios insinúan el equivalente de las actuales etiquetas con la descripción del alimento que contiene.

En la antigua Atenas se realizaban inspecciones para determinar la pureza y el buen estado de la cerveza y el vino, y los romanos tenían un sistema bien organizado para proteger a los consumidores contra fraudes o productos de mala calidad. En Europa, durante la Edad Media, distintos países aprobaron leyes relativas a la calidad e inocuidad de huevos, salchichas, quesos, cerveza, vino y pan. Algunos de estos antiguos estatutos han llegado hasta nuestros días.

Pero fue en la segunda mitad del siglo XIX cuando se aprobaron las primeras leyes alimentarias de carácter general y se implantaron sistemas básicos de control de la alimentación para vigilar su cumplimiento. La química de los alimentos pasó a ser reconocida como una disciplina acreditada y la determinación de la «pureza» de un producto empezó a basarse principalmente en los parámetros químicos de su composición.

Con las leyes y el control llegan también las primeras tentativas de fraude a la seguridad alimentaria, las cuales se hacen utilizando sustancias químicas dañinas para encubrir el deterioro o la falta de frescura de un alimento. Se especula que tras la ruta de las especias en el siglo XVI había también un inicio de fraude al utilizarse las mismas para enmascarar sabores no tan *francescos*.

La Ciencia empieza entonces a proporcionar instrumentos para descubrir las prácticas fraudulentas en la venta de alimentos y distinguir entre los productos comestibles inocuos y los peligrosos.

En este punto, es interesante recordar la cita de Sören Kierkegaard: «La vida sólo se puede entender mirando hacia atrás; pero sólo se puede vivir mirando hacia delante». Hemos visto el pasado de la seguridad alimentaria, veamos ahora su presente y futuro.

9.2. La seguridad alimentaria hoy

Muchos son los pasos y los avances de la seguridad alimentaria desde entonces, siendo probablemente la pasteurización y los

sistemas de congelación las innovaciones que llegaron a suponer una verdadera revolución, aportando inmensas ventajas de las que hoy nos beneficiamos.

Estamos sin duda ante una nueva oleada de medidas, una segunda reinención de la seguridad alimentaria propulsada por los nuevos sistemas de producción en el campo y en los animales de abasto, la acuicultura intensiva, cambios en nuestro estilo de vida... y fomentadas, sobre todo, por las exigencias del consumidor.

Hay quien dice que, una vez digeridas, las crisis alimentarias tienen su lado positivo. No cabe duda de que éstas han sido un gran empuje para reforzar las medidas de control de los alimentos que hoy se aplican.

La seguridad alimentaria ha sido, en los últimos años, uno de los temas de debate en todos los foros de opinión, económicos y sociales, que más interés ha despertado. Ha conseguido, asimismo, favorecer una renovación de la legislación europea, ha conllevado grandes cambios administrativos, representa una gran responsabilidad para los empresarios y figura entre los temas de mayor interés para los ciudadanos.

El requerimiento es claro: alimentación moderna, higiénica, altamente productiva y barata.

Se acepta que la alimentación está hoy ligada a la tecnología, al frío, a la farmacia y a la química, y no sólo a la agricultura, la pesca o la ganadería.

Es, por tanto, prioritario tener la certeza de que los sistemas de seguridad alimentaria puedan seguir el ritmo de la innovación tecnológica en materia de producción de alimentos, así como adaptarse a una presión creciente de reducción de costes sin perder eficacia. Prioritario también aceptar que, fruto de todo ello, habrá un coste sobreañadido que el consumidor y la industria tienen que asumir.

Uno de los debates más populares y de las afirmaciones más extendidas es la de que hoy nuestros alimentos son más peligrosos y menos seguros que los consumidos por la generación anterior.

El consumidor se pregunta si el acto de comer, y en definitiva el placer de la mesa, encierra riesgos que requieran su permanente estado de defensa. Acaso contribuya a mantener esta sensación de in-

defensión el cambio de patrón de las intoxicaciones alimentarias: hemos pasado de intoxicaciones *caseras-familiares*, relacionadas con el consumo de mayonesas o alimentos sin cadena de frío, a intoxicaciones donde el grupo de riesgo podría ser global, a través de contaminantes químicos, biológicos...

Fundamentalmente, el español sigue relacionando el *buen vivir* en buena parte con el *buen comer*.

Según un informe de la Oficina de Alimentación de la Asociación Europea de Consumidores, el consumidor español demanda seguridad como primera prioridad en los alimentos de origen animal. En un segundo nivel en importancia aparecen otros conceptos como el valor nutritivo, las características sensoriales, los sistemas de producción empleados y la alimentación de los animales de abasto.

Se detecta en el consumidor español un cierto grado de desinformación y confusión sobre la alimentación en general y los alimentos de origen animal en particular. Hay que destacar cómo estos miedos y afirmaciones con respecto a la inseguridad alimentaria se contradicen con la realidad.

La población europea gana aproximadamente un trimestre por año en esperanza de vida. Está claro que la alimentación no es ajena a estos grandes avances en la salud de nuestros ciudadanos. Nunca los alimentos estuvieron tan controlados como ahora y el derecho a consumir alimentos seguros es hoy uno de los grandes logros de nuestro bienestar sociosanitario.

Restablecer la confianza de los consumidores, equilibrar el riesgo real con el riesgo percibido es, pues, uno de los retos principales.

9.3. El volumen y las dimensiones de la seguridad alimentaria

La producción y el consumo de alimentos están en el centro de cualquier sociedad y tienen, además de un innegable y crucial peso en la salud, importantes implicaciones en ámbitos sociales, económicos, medioambientales, mediáticos, etc.

Más de 600.000 millones de euros mueve al año en la economía europea la industria de alimentos y bebidas, por lo que este sector ocupa el tercer puesto como creador de empleo.

El número de industrias alimentarias registradas en nuestro país alcanza las 156.475 y son casi 800 los mataderos autorizados.

El gasto en alimentación durante 1999 en España superó los 8,5 billones de las antiguas pesetas, lo que representó un incremento del 2,4% con respecto al año anterior.

La industria alimentaria es hoy variada, diversa, cambiante, atomizada... pero, en todo caso, competitiva.

Convergen hoy en el panorama alimentario el localismo con la mundialización, expandiéndose el comercio internacional de productos alimenticios de forma exponencial. La seguridad de los alimentos no es pues, exclusivamente, un problema doméstico.

Desde que se estableció la Organización Mundial de Comercio, las normas, los estándares, recomendaciones y código de prácticas del *Codex Alimentarius* son un referente para la armonización internacional. Es interesante recordar que el primer enfoque de la seguridad alimentaria se orientaba fundamentalmente a favorecer los intercambios comerciales.

No podemos abordar las dimensiones de la seguridad alimentaria sin referir que 840 millones de personas, según las estimaciones más recientes de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), siguen padeciendo hambre y que cada día la desnutrición se cobra 24.000 vidas.

9.4. El consumidor: centro de actuaciones

El presidente Kennedy, en un discurso pronunciado en 1961, afirmó: «consumidores somos todos». Éste fue el punto de arranque para iniciar una defensa importante de los derechos de los consumidores: garantizar su defensa y, sobre todo, su seguridad es uno de los objetivos principales encomendados a los poderes públicos.

El ciudadano exige disponer de información completa, adaptada a sus necesidades, que le asegure la inocuidad de los alimentos, le permita realizar una elección consciente y le proteja de prácticas abusivas.

La información destinada al ciudadano ha de ser siempre actualizada y transparente, sobre todo durante los periodos de crisis alimentarias. Es importante mantener una información regular sobre la ade-

cuada conservación y la preparación de los alimentos y sobre cualquier tema de actualidad relacionado con la seguridad alimentaria.

Resulta por tanto evidente la necesidad de conceder importancia capital a la actividad de comunicación de riesgos. Una Oficina de Comunicación de Riesgos debe funcionar como una auténtica célula de información al ciudadano, facilitando información veraz, actualizada, independiente y, a la vez, inteligible y al alcance de todos.

Según un reciente artículo de Paul Bellaby en el *British Medical Journal*, «... la dimensión del riesgo no se corresponde necesariamente con la controversia que genera». No cabe duda de que uno de los grandes retos que han de superar por los organismos de seguridad alimentaria es alcanzar el mayor paralelismo entre riesgo percibido y riesgo real.

Hoy gran número de organismos ponen a disposición del consumidor sus publicaciones, sus dictámenes y sus investigaciones, asegurando así de forma global el acceso a la información. Sin la transparencia informativa, cualquier iniciativa estaría llamada al fracaso.

La información permite además combatir mitos y falsas creencias en materia de alimentos, optar por hábitos alimentarios más saludables y condicionar la opción de compra de productos alimenticios manejando información objetiva e interpretando correctamente su etiquetado.

Todo este esfuerzo de comunicación no sólo aumenta el nivel de exigencia del consumidor, sino que permite también evitar crisis sociales generadas por una insuficiente o inadecuada información y, al mismo tiempo, mejora la participación del consumidor en el último eslabón de la cadena alimentaria.

Un consumidor bien informado es un consumidor más protegido.

9.5. ¿Qué sistema de seguridad alimentaria?

Pocas políticas tienen tanta aceptación como las que se lleven a cabo para garantizar la seguridad alimentaria de los ciudadanos. Las distintas Administraciones del Estado, los diferentes sectores económicos, el mundo de la Ciencia y las organizaciones de consumidores están de acuerdo en una cosa: la obligatoriedad de ofrecer alimen-

tos seguros, anticipar, evaluar y gestionar posibles riesgos y darle información fiable al ciudadano.

En una sociedad como la actual, donde prácticamente no existen fronteras para los mercados de productos alimenticios, la seguridad de sus alimentos no puede ser sino una prioridad.

Muchos son los sectores y las disciplinas relacionadas con la seguridad alimentaria. El paso definitivo para un programa nacional de seguridad alimentaria consiste en aglutinar en un organismo la coordinación de todos los diferentes sectores, departamentos y ámbitos implicados. La función clave consiste, pues, en coordinar la aplicación de un plan nacional de seguridad alimentaria, en el que todas las piezas encajen y funcionen de la manera más eficaz y que ofrezca la mayor garantía de seguridad de los alimentos que consumimos.

La coordinación, la colaboración interterritorial e intersectorial serán, asimismo, los ejes necesarios sobre los que pivote la ejecución del plan.

Este plan no puede ser diseñado sin tener en cuenta el contexto global en el que la seguridad alimentaria se mueve y debe ser lo suficientemente elástico como para posibilitar la rápida adaptación al gran reto y realidad cambiante de la alimentación.

Aunque la cadena europea de seguridad alimentaria aparece como una de las más seguras del mundo, las últimas crisis la han sometido a presiones sin precedentes que diagnosticaron debilidades que necesitaban ser reparadas, así como que la maltrecha confianza del consumidor debía recuperarse.

Se apuesta, en 12 de los 15 países de la Unión Europea, por organismos que aúnen la gestión y la coordinación en seguridad alimentaria.

Destacan, como elementos comunes en todos ellos, la búsqueda de la autonomía, la independencia, el rigor científico y la transparencia en la comunicación de sus evaluaciones de riesgo, y cuentan con una amplia representación social.

La implantación de mecanismos de control efectivos, de redes de alerta para detectar posibles fallos en la cadena de seguridad de los alimentos con anticipación y eficacia, la gestión adecuada que evite repercusiones en la salud de sus ciudadanos o como efectos secundarios graves repercusiones económicas, deben ser un objetivo prioritario de estos organismos de seguridad alimentaria.

9.6. El gran cambio

En los últimos años, los decisivos empujes que ha sufrido la seguridad alimentaria (empujes estos en gran medida propiciados por un consumidor exigente) sirven de plataforma para las bases de un gran cambio:

- El *Libro Blanco de la Seguridad Alimentaria* de la Comisión Europea sitúa el análisis de riesgos alimentarios en sus tres vertientes de *evaluación, gestión, y comunicación*, en la base de todas las políticas de seguridad alimentaria.
- El sector primario (agricultura, ganadería, pesca) entra en la cadena de responsabilidad para asegurar la inocuidad del alimento final. Los piensos para animales pasan a ser objeto de rigurosos controles. Se apuesta de forma decisiva e irreversible por la implantación de *un abordaje integrado de toda la cadena*, desde la producción primaria a la mesa del consumidor.
- *La trazabilidad de los alimentos y sus componentes se reconoce como elemento fundamental al servicio del control oficial*. La trazabilidad permite, una vez detectado el problema, rastrearlo hacia el origen y conocer todo su historial. Obviamente requiere una inversión en tecnologías apropiadas.
- *El autocontrol*. Los productores y transformadores tienen la responsabilidad, con la tutela de la Administración, de garantizar la seguridad de los productos ofrecidos al público, de controlar su seguridad y de eliminar o minimizar los riesgos que puedan surgir, antes de que los productos salgan al mercado. Los sistemas y planes de autocontrol basados en el análisis de peligros y puntos de control crítico, constituyen una herramienta idónea para dar respuesta a esa obligación de seguridad.
- *Aplicación del principio de precaución*. Este principio se reconoce como una opción para los responsables de la gestión del riesgo cuando se han de tomar decisiones para proteger la salud del ciudadano o el medio ambiente. El principio de precaución es aplicable cuando existen razones para temer la existencia de riesgo inaceptable para la salud, concurriendo que la información y los datos en que se basa este temor no sean lo suficientemente concluyentes como para

permitir una determinación exhaustiva del riesgo y la adopción de medidas proporcionadas al peligro que se tiene que gestionar.

Cuando se enfrentan estas circunstancias específicas, los responsables de la gestión del riesgo, amparándose en este principio, pueden adoptar medidas en las que prime la protección de la salud. Esas medidas deben cumplir los principios normales de no discriminación y proporcionalidad, y deben considerarse provisionales hasta tanto pueda recogerse y analizarse una información más exhaustiva sobre el peligro en cuestión.

Hay claramente en el contexto actual una creciente aceptación internacional en cuanto al recurso al principio de precaución en el ámbito de la seguridad alimentaria.

9.7. Las piezas para el diseño de un plan a escala nacional

9.7.1. El Mapa de la seguridad alimentaria

Puesto que la seguridad alimentaria compete a diversos sectores, implica muchos eslabones y requiere la mayor colaboración, rapidez y eficacia para minimizar los riesgos potenciales asociados al consumo de alimentos, es crucial, desde el primer momento de la puesta a punto de un plan nacional, la configuración del mapa de la seguridad alimentaria.

Este mapa debe definir con claridad los papeles de cada uno de los participantes en la cadena alimentaria (fabricantes de alimentos para animales, agricultores, productores o manipuladores de alimentos destinados al consumo humano; autoridades competentes de los Estados miembros y en terceros países; Organismos Supranacionales e Internacionales; consumidores).

No sólo debe especificar claramente la distribución de responsabilidades entre los diferentes sectores implicados, sino también definir los recursos financieros y humanos destinados a la seguridad alimentaria.

Este compendio de información permitirá guiar actuaciones, identificar los puntos críticos que requieren intervención y una utilización eficaz, e incluso eficiente, de los recursos.

9.7.2. Sistema de información sobre seguridad alimentaria

En el ensamblaje de piezas para un plan de seguridad alimentaria resulta de crucial importancia un sistema eficaz de vigilancia epidemiológica de las enfermedades transmitidas por los alimentos o vinculadas a su consumo.

A través de este sistema, se establece una base de datos sobre la incidencia y prevalencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos que podrá ser utilizada como posible indicador de un funcionamiento eficaz en el control de los alimentos: un verdadero *feed-back* para los responsables del control directo de los alimentos y procesos.

Un sistema eficaz permite una mayor rapidez en la investigación y filiación epidemiológica de brotes de enfermedades de origen alimentario y un análisis constante de las tendencias en la evolución de los brotes y su impacto.

9.7.3. Red de Alerta Alimentaria

La respuesta inmediata, técnicamente solvente, ante cualquier riesgo potencial o peligro real que pueda comprometer la salud de los consumidores, es una prioridad incuestionable.

La evolución del Sistema Europeo de Red de Alerta Alimentaria y la modificación de sus bases legales ha ido provocando cambios muy positivos en la gestión de alertas y notificaciones gracias a la permanente demanda de exigencia.

En España, el Sistema Coordinado de Intercambio Rápido de Información (SCIRI) es un sistema permanente de vigilancia y alerta ante cualquier riesgo o incidencia relacionada con los alimentos y que pueda afectar a la salud de los consumidores.

Este sistema, al asegurar el intercambio rápido de información entre las distintas autoridades competentes, permite impedir la extensión en el espacio y la prolongación en el tiempo de cualquier incidencia alimentaria. En términos más pragmáticos, el sistema está diseñado para impedir el acceso del consumidor a alimentos potencialmente inseguros.

Se han integrado recientemente los diferentes sistemas de alerta en uno solo, que funde el sistema de alerta para alimentos destinados al consumo humano con el sistema de alerta para alimentos destinados a la alimentación animal.

Se ha consolidado también la obligación del intercambio de información sobre productos alimentarios importados y que son objeto, en el punto de acceso a territorio comunitario, de rechazo por motivos de seguridad alimentaria.

La comunicación de un incidente alimentario a través de la red de alerta no es, en modo alguno, sinónimo de *crisis alimentaria*. Sin embargo, es necesario prever que tales crisis pueden, indudablemente, surgir. Es preciso, por tanto, estar preparado de antemano para gestionarlas adecuadamente.

Para una adecuada gestión de dichas crisis, la elaboración de un manual de procedimientos de gestión y un plan de comunicación de riesgos es crucial.

El manual debe aportar una clara definición de responsabilidades, protocolos de actuaciones, coordinación y procedimientos de comunicación en diferentes escenarios de crisis, a la vez que contemplará también la evaluación de las mismas después de su cierre.

9.7.4. Laboratorio de referencia

Las crisis alimentarias de los pasados años han obligado a intensificar la política de control de alimentos en el marco de la UE, dando lugar a un seguimiento más intenso de la contaminación de los mismos, con el consiguiente incremento del número de controles cada vez más complejos y específicos.

Este control oficial de productos alimenticios no puede llevarse a cabo sin una cobertura laboratorial adecuada y suficiente, con capacidad para dar respuesta rápida a cualquier demanda derivada de un peligro emergente o de una situación de alerta.

Un laboratorio de referencia que tenga como su punto de mira los diferentes puntos clave que permitan elevar la seguridad de los alimentos, mediante un trabajo de alta cualificación y excelencia técnica que genere una fiabilidad analítica incontestable, con capacidad de puesta a punto de técnicas de investigación para la identificación de contaminantes emergentes, es otra pieza fundamental de un plan nacional de seguridad alimentaria.

Riesgos microbiológicos, químicos, residuos *zoo*- y fitosanitarios, biotoxinas, evaluación de organismos genéticamente modificados, seguimiento de material específico de riesgo en el contexto de las encefalopatías espongiformes transmisibles, aditivos y contaminan-

tes, entre otros, requerirán la labor de un laboratorio de referencia en el ámbito nacional.

Pero el mayor reto lo representan los riesgos reales, pero ocultos, aquellos que acaso no han debutado aún como problema de salud pública, sobre los que no hay antecedentes y, en consecuencia, frente a los cuales contamos con escasas o nulas medidas específicas.

Por esta razón, la prospección de los peligros y los riesgos, la anticipación a los peligros potenciales, el acotamiento y la reducción cada vez mayor del margen que se da a la imprevisibilidad, la minimización del posible impacto a largo plazo sobre la salud pública y, en definitiva, el paso de actitudes pasivas a reactivas o, mejor, proactivas, debe ser un objetivo prioritario.

Un laboratorio de referencia permitirá instaurar una red de laboratorios oficiales de los diferentes Estados miembros de la UE para la realización de estos controles de una manera coordinada; favorecerá la puesta a punto de metodologías analíticas y su transferencia a los laboratorios oficiales para la realización de los controles establecidos por las nuevas normativas comunitarias; facilitará el establecimiento de redes temáticas que permitan la interrelación técnica de dichos laboratorios; pero, sobre todo, ayudará a la incorporación de nuevas técnicas al servicio de estudios prospectivos.

9.7.5. La legislación

El Derecho en materia alimentaria es uno de los instrumentos más contundentes en la consecución de los niveles más altos de seguridad alimentaria.

Actualmente, numerosas disposiciones legales regulan la industria de la alimentación en general. Algunas están basadas en el Derecho interno, nacional, pero cada vez con más frecuencia la normativa relacionada con nuestros alimentos dimana de un ejercicio de armonización, está basada en una legislación acordada por los países miembros de la Unión Europea.

La legislación en materia de protección de los alimentos no es nueva. Con la Revolución Industrial, el crecimiento de los núcleos urbanos y la producción masiva de alimentos se hizo más patente la necesidad de proteger al consumidor del fraude y la adulteración de productos. Con esta evolución creció también el concepto de pro-

tección de los efectos nocivos que los alimentos adulterados pudieran tener en la salud de los ciudadanos.

La legislación existente a nivel europeo, en pleno proceso de modernización con la incorporación del *gran cambio*, está pasando de poner todo el énfasis en la detallada composición de los componentes (es decir, un control muy vertical) a un enfoque más horizontal aplicado antes a todo el proceso que al producto final.

La legislación en materia de seguridad alimentaria debe permitir la protección eficaz del consumidor, con el doble reto de ser flexible para adaptarse con facilidad a los frecuentes cambios del panorama de la seguridad alimentaria, la introducción de tecnología nueva y el desarrollo de nuevos productos.

El marco legal tiene que identificar las responsabilidades del sector de la alimentación y todos aquellos envueltos en la cadena alimentaria. Tiene también que proveer de un mecanismo que permita la introducción de legislación y reglamentaciones como códigos de conducta, que contengan detalles específicos sobre la aplicación de la Ley, reglamentos de higiene, uso de aditivos, etiquetado, autorizaciones de comercialización, reglas para importación y exportación, etc.

La industria alimentaria es pues responsable de producir alimentos seguros de acuerdo con la Ley, y las autoridades competentes de velar para garantizar esa aplicación correcta. El papel de las Administraciones está evolucionando cada vez más hacia el de verificar que la industria asegure y trabaje eficazmente en ofrecer sistemas de control. En esencia, un reparto equitativo de responsabilidades.

Y todo este esfuerzo ha de hacerse con flexibilidad para introducir nuevas reglamentaciones que sigan los cambios frecuentes de la economía global.

9.7.6. Reforzar los sistemas de control

Todos los alimentos tienen que ser sometidos a rigurosos controles durante la producción, la manipulación, el almacenado, su transformación y distribución. Además, su etiqueta debe trasladar correctamente la información más honesta y precisa.

La *seguridad alimentaria* es un derecho fundamental del ciudadano, innegociable e irreversible. Conseguirlo requiere la participación de diferentes sectores: la sanidad, la agricultura, el medio ambiente, las organizaciones sociales y de defensa del consumidor, el

sector privado, las instituciones científicas, así como de otros organismos de competencias similares de ámbito internacional.

Asegurar una constante colaboración, de intercambio y coordinación, entre estos distintos sectores tiene que ser el eje principal de un plan de seguridad alimentaria.

En nuestro país, las competencias ejecutivas en materia de seguridad alimentaria corresponden a las Comunidades Autónomas. Desde las Administraciones se han impulsado, facilitado y ejecutado medidas muy positivas para asegurar a la población el acceso a los alimentos más seguros. El papel de las Administraciones está evolucionando cada vez más hacia el de verificar que la industria trabaje eficazmente en asegurar los sistemas de control.

Hay que destacar, por tanto, el papel necesariamente activo que desempeña la industria agroalimentaria, los operadores económicos en definitiva, en la obtención de los niveles más altos de seguridad para nuestros alimentos.

La Agencia Española de Seguridad Alimentaria aún, en un organismo, la coordinación de todas las piezas, elementos y sectores para alcanzar el máximo nivel en seguridad.

9.7.7. ¿Quién supervisa?

En un plan de seguridad alimentaria es preciso definir con claridad los papeles de cada uno de los participantes en la cadena alimentaria (productores primarios, transformadores o fabricantes, distribuidores, manipuladores de alimentos; autoridades competentes de los Estados miembros y en terceros países; Organismos internacionales y consumidores).

Tres son los niveles de supervisión y arbitraje que rigen la seguridad alimentaria. Las autoridades competentes controlan y garantizan el cumplimiento de esta obligación a través de los sistemas nacionales de vigilancia y control, y las Instituciones de Organismos supranacionales, como la Comisión Europea, se centran en la evaluación de la capacidad de las autoridades competentes para proporcionar estos sistemas mediante auditorías e inspecciones a nivel nacional. Por último, el *Codex Alimentarius* da un tercer nivel de supervisión y arbitraje y, sobre todo, ofrece y actualiza elementos referenciales en el marco legal alimentario, que permitirán dirimir litigios *bi-* o multilaterales.

Hoy resulta imposible concebir la gestión de la seguridad alimentaria abstrayéndose de su componente internacional. Los problemas y las soluciones en este ámbito difícilmente se circunscriben a las fronteras de un país. Por ello, un plan nacional de seguridad alimentaria debe prestar particular atención a la relación, cooperación e intercambio de información con Organismos análogos de otros Estados y, particularmente, con aquellos Organismos internacionales directamente relacionados con la *seguridad alimentaria*: Autoridad Alimentaria Europea y las Organizaciones de Naciones Unidas Organización Mundial de la Salud OMS y FAO, así como cualquier Organismo internacional de relevancia en este ámbito.

9.7.7.1. *El Codex Alimentarius*

El diseño de sistemas de seguridad alimentaria empieza en ámbitos internacionales. El más antiguo, y posiblemente el de mayor impacto global en la consecución de alimentos más inocuos, es el *Codex Alimentarius*, programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias que nace en 1962.

Esta entidad internacional, integrada por 168 países miembros, es responsable de la elaboración de normas para proteger la salud de los consumidores y asegurar prácticas equitativas en el comercio de alimentos.

La labor del *Codex* se basa en el principio de que las personas tienen derecho a esperar que los alimentos que consumen sean inocuos, nutritivos, de buena calidad y aptos para el consumo.

El *Codex Alimentarius* tiene las funciones cruciales de:

- Proteger la salud de los consumidores.
- Asegurar prácticas justas en el comercio de alimentos.
- Promocionar la coordinación entre todos los sistemas de seguridad alimentaria aplicados por diferentes gobiernos.
- Diseñar las prioridades en materia de protección de los alimentos y elaborar normas para productos alimentarios en diversos ámbitos y bajo diferentes ópticas y enfoques:
 - Diseñar códigos de prácticas de higiene y tecnológicas;
 - Evaluar plaguicidas y medicamentos de uso veterinario, estableciendo sus límites máximos de residuos;
 - Elaborar directrices para la gestión de contaminantes;

- Evaluar los aditivos alimentarios y los medicamentos veterinarios.

El *Codex* ha permitido la sensibilización a nivel mundial acerca de los riesgos que podrían representar los alimentos para la salud y ha realzado la importancia de la calidad de los mismos y, por consiguiente, la necesidad de las normas alimentarias.

A su vez, los países miembros han elaborado su legislación alimentaria basándose en Normas *Codex* y han establecido o reforzado los organismos de control de alimentos para vigilar el cumplimiento de tales reglamentaciones.

Circunscribiéndonos al ámbito de la Comisión Europea, el *Libro Blanco de la Seguridad Alimentaria* nace con un nuevo planteamiento para velar por los más elevados niveles de seguridad en los países de la Unión. Un enfoque más coordinado e integrado y la más absoluta transparencia en todos los niveles de la política en materia de seguridad alimentaria habría de contribuir sin duda a fomentar la confianza de los consumidores en la política de la UE en este ámbito.

Se destacan en el *Libro Blanco* principios que hoy parecen obvios e irrenunciables: la política de seguridad alimentaria debe basarse en un planteamiento global e integrado, es decir, a lo largo de toda la cadena alimentaria (*de la granja al consumidor*); en todos los sectores de la alimentación, en todos los Estados miembros y, como no, en sus fronteras exteriores.

Este planteamiento global e integrado propiciará una política alimentaria más coherente, eficaz y dinámica, y resolverá las insuficiencias derivadas de un enfoque sectorial y rígido, que limitaría la capacidad de abordar rápidamente y con flexibilidad los riesgos para la salud de los ciudadanos.

Esta política habrá de someterse a una revisión constante, modificarse para resolver los fallos y colmar las carencias, dar respuesta a riesgos emergentes y adaptarse a los nuevos avances en la cadena de producción. Al mismo tiempo, este planteamiento debe desarrollarse de manera transparente, fomentando la participación de todos los interesados y permitiéndoles hacer contribuciones eficaces para nuevos avances.

La Comisión seguirá utilizando los mejores conocimientos científicos disponibles en el desarrollo de sus medidas de seguridad ali-

mentaria y reconociendo que los consumidores y la industria alimentaria deben tener la certeza de que este asesoramiento responde a las exigencias más elevadas de independencia, excelencia y transparencia.

9.7.7.2. *La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria*

La Comisión Europea, a través del *Libro Blanco* promueve la creación de un organismo alimentario europeo, la *Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA)*, de naturaleza independiente, responsable en particular de la evaluación y la comunicación de los riesgos en el ámbito de la seguridad alimentaria.

La principal responsabilidad de la *Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria* será proporcionar asesoría científica independiente en todas las materias que tengan un impacto directo o indirecto sobre la seguridad alimentaria.

A la *Autoridad* se le han asignado amplios márgenes, por ello puede cubrir todas las etapas de la producción y distribución de los alimentos, desde la producción primaria para la seguridad de la alimentación animal, hasta la distribución de alimentos a los consumidores. Ésta reunirá información a nivel mundial, amparándose en los nuevos desarrollos de la Ciencia. La *Autoridad* también dará asesoramiento científico sobre organismos genéticamente modificados (OGM), tanto en alimentos como en productos no alimentarios, y sobre nutrición en relación con la legislación comunitaria.

Competencias de la EFSA

La *Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria* tendrá un amplio cometido que le permitirá asesorar científicamente acerca de cualquier tema que tenga efectos directos o indirectos en la seguridad del suministro de alimentos, incluyendo los relacionados con el bienestar animal y la salud vegetal.

La *Autoridad* será responsable de:

- la evaluación científica de los riesgos;
- el registro y análisis de los datos científicos;
- la realización de evaluaciones de seguridad de las propuestas de la industria alimentaria sobre sustancias y procesos, para su aprobación por la Comunidad;

- la identificación de peligros emergentes;
- el soporte científico de la Comisión, especialmente durante crisis alimentarias;
- la comunicación directa con el público y otras partes interesadas de información concerniente a asuntos dentro de sus competencias.

Para ello, y particularmente en el ámbito de su *comité científico*, se establecerán, con carácter estable, los siguientes *paneles* o equipos de trabajo:

- equipo para aditivos alimentarios, *flavourings*, procesos auxiliares y materiales en contacto con los alimentos;
- equipo para aditivos y productos o sustancias usadas en alimentación animal;
- equipo para salud vegetal, protección de productos vegetales y residuos que pueden contener;
- equipo para OGM;
- equipo para productos dietéticos, nutrición y alergias alimentarias;
- equipo para peligros biológicos (incluidos TSE/BSE);
- equipo para contaminantes presentes en la cadena alimenticia;
- equipo para bienestar y salud animal.

El objetivo es, por tanto, asegurar que su independencia, excelencia científica y actitud abierta hagan que la *Autoridad* sea la primera a la que se acuda en materia de seguridad alimentaria.

9.7.7.3. *La Agencia Española de Seguridad Alimentaria*

La Agencia Española de Seguridad Alimentaria surge en este contexto de cambios sustanciales y mejoras, coincidiendo en su puesta en marcha con otras iniciativas similares en el ámbito europeo e internacional.

La excelencia científica, la transparencia y la independencia son hoy los principios de actuación comunes a todos los organismos que velan por la seguridad alimentaria. Ninguno de esos principios necesita justificación, ni explicación, ni puede ser negociado.

Dado su carácter de Organismo autónomo, adscrito al Ministerio de Sanidad y Consumo, se requirió de una ley para su creación: la Ley 11/2001, de 5 de julio. Hay que resaltar que dicha ley se pudo tramitar con inusitada rapidez y se aprobó con un consenso prácticamente unánime de todos los grupos con representación parlamentaria. Mediante un decreto aprobado el 19 de julio de 2002 en Consejo de Ministros se aprobó su estatuto de funcionamiento, haciendo posible su puesta en marcha efectiva.

La creación de la Agencia ha supuesto un hito, un antes y un después en la seguridad alimentaria en España. Con su puesta en marcha se pretende la consecución de un valor añadido que se orienta en dos vertientes:

- Aportar y mejorar la vigilancia y los sistemas de control que se traduzcan en la disminución de riesgos reales y en un incremento de los niveles de protección.
- Disminuir la percepción subjetiva del riesgo; acercar en definitiva el riesgo percibido al riesgo real; mejorar la credibilidad en las Instituciones y la confianza de los consumidores.

Funciones de la AESA

Las funciones de la AESA se enmarcan en el *análisis de riesgos* y en la *coordinación* desde una perspectiva de integración y cooperación:

- a) Coordinar las actuaciones de las Administraciones con competencias que incidan directa e indirectamente en la seguridad alimentaria.
- b) Programar y coordinar las actuaciones relativas a los aspectos sanitarios del control oficial de productos alimenticios previstos por la normativa vigente.
- c) Instar actuaciones ejecutivas y, en su caso, normativas, de las autoridades competentes, especialmente en situaciones de crisis o emergencia.
- d) Identificar y coordinar los foros intersectoriales e interterritoriales con competencias en seguridad alimentaria.
- e) Censar y actualizar los recursos, públicos o privados, relacionados con la seguridad alimentaria, favoreciendo las relaciones entre ellos.

- f) Elaborar y promover estudios y trabajos de investigación.
- g) Diseñar programas anuales de estudios prospectivos en materia de seguridad alimentaria para que sean desarrollados, en su caso, por las autoridades competentes.
- h) Informar sobre la posición de España y, en su caso, representarla en los asuntos de seguridad alimentaria que se traten en la Unión Europea y en los organismos internacionales, especialmente en la FAO, la OMS, el *Codex Alimentarius* y el Consejo de Europa.
- i) Proporcionar un soporte técnico que, para el conjunto de las Administraciones con competencias, garantice el uso de la mejor evidencia científica.
- j) Asesorar a las Administraciones Públicas en la planificación y desarrollo de sus políticas alimentarias.
- k) Asesorar a los sectores económicos y sociales implicados en la seguridad alimentaria, con los que establecerá cauces de comunicación permanente.
- l) Difundir los informes y criterios técnicos que elabore el *Comité Científico*.
- ll) Promover cuantas acciones de información sean precisas para los consumidores y usuarios.
- m) Elaborar un procedimiento general de actuación para situaciones de crisis y emergencias alimentarias.
- n) Coordinar el funcionamiento de las redes de alerta existentes en el ámbito de la seguridad alimentaria en el territorio español y su integración en los sistemas de alerta comunitarios e internacionales.
- ñ) Elaborar procedimientos certificados de control de alimentos, procesos y establecimientos, que servirán de referencia a efectos de acreditación por las autoridades competentes.
- o) Promover la simplificación y unificación de las normas en materia de seguridad alimentaria, así como formular propuestas para nuevos desarrollos normativos.
- p) Informar, en su caso, las autorizaciones que correspondan a la Administración General del Estado en este ámbito.
- q) Identificar las necesidades de formación continuada de los profesionales del control de alimentos y diseñar programas marco para satisfacer aquéllas.

- r) Constituir las bases de datos que puedan colaborar en el desarrollo armónico de las funciones encomendadas a las autoridades.
- s) Elaborar una memoria anual que refleje las actuaciones de control oficial en el conjunto del Estado y que analice la situación general de la seguridad alimentaria en España, señalando los campos prioritarios de acción y, en particular, los riesgos emergentes.
- t) Establecer y mantener los mecanismos necesarios para actuar de modo integrado en la red europea de agencias u organismos de seguridad alimentaria.
- u) Realizar cualesquiera otras que le sean atribuidas por normas legales o reglamentarias, así como las correspondientes a los órganos y unidades integrados en las estructuras de la Agencia.

Órganos de Dirección de la AESA

Los órganos de dirección de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria son: el presidente, el Consejo de Dirección y el director ejecutivo.

- *Al presidente* le corresponde la dirección de la coordinación interterritorial e intersectorial en situaciones de crisis alimentarias. Además, le compete informar al Consejo de Dirección acerca de aquellos expedientes de alerta, constituir los comités de crisis y emergencia alimentaria, actuar como portavoz único de la Agencia en situaciones de crisis, aprobar el Plan General de Comunicación de Riesgos y acordar la elaboración de estudios e informes por iniciativa de la Agencia.
- *El Consejo de Dirección*, órgano rector de la Agencia, estará formado por representantes de los Ministerios de Sanidad y Consumo; Agricultura, Pesca y Alimentación; Medio Ambiente y Ciencia y Tecnología; Entidades Locales; el Consejo de Consumidores y Usuarios y las organizaciones económicas más representativas del sector.
El Consejo se encargará de establecer las líneas generales de actuación de la Agencia, de colaborar en la emisión de informes y dictámenes, y de informar el procedimiento de actua-

ción para situaciones de crisis y emergencias alimentarias, que incluirá el Plan General de Comunicación de Riesgos.

- *El director ejecutivo* ejercerá, por su parte, la dirección del personal y de los servicios y actividades de la Agencia y se encargará, entre otras funciones, de la elaboración de los presupuestos.

Órganos de asesoramiento y coordinación de la AESA

La Agencia cuenta con tres órganos de asesoramiento y coordinación: la Comisión Institucional, el Consejo Consultivo y el Comité Científico.

- *La Comisión Institucional* es el órgano encargado de establecer mecanismos eficaces de coordinación y cooperación entre las Administraciones Públicas con competencias en materia de seguridad alimentaria. Su *Pleno* será el encargado de acordar la creación de grupos de trabajo específicos.
- *El Consejo Consultivo* será, por su parte, el órgano de participación activa de la sociedad en los asuntos relacionados con la seguridad alimentaria. En él están integrados representantes de las organizaciones sociales, de las asociaciones de consumidores, de las organizaciones económicas más representativas de los sectores implicados, así como de las organizaciones colegiales de médicos, farmacéuticos, veterinarios, ingenieros agrónomos, biólogos y químicos. Este *Consejo* será informado de las medidas y actuaciones adoptadas en situaciones de crisis y emergencias y se reunirá semestralmente con carácter ordinario.
- *El Comité Científico*, como órgano que proporciona los dictámenes científicos en materia de seguridad alimentaria, será el encargado de definir el ámbito de los trabajos de investigación y coordinar los trabajos de los grupos de expertos que realicen actividades de evaluación de riesgos en el marco de las actuaciones de la Agencia. Aporta a los gestores de riesgos la mejor evidencia científica sobre la que sustentar las medidas que se han de adoptar en cada momento. Bajo su dependencia se constituyen los grupos de expertos de evaluación de riesgos alimentarios que el *Consejo de Direc-*

ción considere necesario. Tanto el *Comité Científico* como sus grupos de expertos actúan de acuerdo con los principios de excelencia e independencia en su actividad de evaluación. Está integrado por 20 miembros de reconocida competencia científica en ámbitos relacionados con la seguridad alimentaria como son: la toxicología alimentaria; microbiología; virología; parasitología o zoonosis alimentarias; epidemiología humana y animal; biotecnología y modificación genética; inmunología y alergología; nutrición humana farmacológica; procesos tecnológicos alimentarios y análisis e instrumentación.

La AESA, que aúna en un organismo los mecanismos necesarios para coordinar la gestión de la seguridad de la cadena alimentaria en el territorio nacional, es hoy una realidad manifiesta. El disponer de una agencia nacional fuerte nos ha permitido tener una plaza reconocida, influyente y que contribuye ampliamente en el foro europeo a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.

La Agencia quiere en definitiva dotarse de una excelencia científica, estar actualizada, ser pionera en trasladar a la realidad española las mejores medidas de protección, poner al servicio de la seguridad la tecnología más puntera. En definitiva, una agencia que trabaje en la vanguardia para el ciudadano, para conseguir con todos ese gran objetivo de la seguridad alimentaria.

Aunque los profesionales de salud pública sabemos que el riesgo cero no existe, sí que es cierto que la AESA asegura el mecanismo que permite acercarnos lo máximo posible a él.

Todos los ciudadanos son consumidores de alimentos: a todos nos concierne pues la seguridad de los productos que consumimos.

Bibliografía

- BELLABY, P. (2003): «Communication and miscommunication of risk: understanding UK parents' attitudes to combined MMR vaccination», *BMJ (British Medical Journal)*, 327, 27 de septiembre, págs. 725-728.
- COMISIÓN EUROPEA (1999): *Libro Blanco de la Seguridad Alimentaria*, Bruselas, Unión Europea.
- COMITÉ DE AGRICULTURA DE LA FAO (2003): «Estrategia de la FAO relativa al enfoque de calidad e inocuidad de los alimentos basado en la cadena alimentaria», Documento mar-

co para la formulación de la futura orientación estratégica, Tema 5 del programa, 17.º periodo de sesiones, Roma, 31 de marzo al 4 de abril.

FAO (2001): «Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants», *55 Report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*, Technical Report Series, 901, 2001.

— (2002): «Food, Nutrition and Agriculture», 31, Roma.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2000): «La Alimentación en España, 1999», Madrid.

NEIRA GONZÁLEZ, María Purificación (2003): «¿En qué dirección va la seguridad alimentaria?», *Revista Española de Salud Pública*, vol. 77, 3, mayo-junio.

WORLD HEALTH ORGANIZATION, FOOD SAFETY UNIT. DIVISION OF FOOD AND NUTRITION (1996): «Guidelines for Strengthening a National Food Safety Programme», *Food Safety Issues*, 96.2.

TERCERA PARTE

**LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA
Y LA GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

10. El diseño de los planes de I + D + I y su efecto en la consolidación del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa

Gonzalo León Serrano

Secretario General de Política Científica
Ministerio de Ciencia y Tecnología

LOS planes nacionales de I + D fueron ideados en 1986 asociados a la Ley de la Ciencia, a partir de la experiencia acumulada hasta ese momento, como mecanismo básico de relanzamiento de la investigación para el sistema público en el que ésta emergía o se asentaba y para proporcionar a las empresas un marco de actuación que les permitiese aprovechar el esfuerzo en I + D como un elemento clave de su competitividad. Posteriormente, la propia evolución y madurez del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa ha hecho que su ámbito de actuación se amplíe (actualmente con la innovación tecnológica) y cubra las actuaciones de todos los agentes ejecutores y departamentos ministeriales.

El presente artículo revisa la evolución histórica del proceso de elaboración de los planes españoles de I + D + I y la justificación de las modificaciones introducidas, deteniéndose en el actual (2004-2007) cuya elaboración acaba de terminarse. Esta revisión permite justificar la existencia de los planes de I + D como mecanismo de programación de actividades de la Administración General del Estado (AGE). A partir de esta revisión se extraen una serie de consecuencias que justifican la evolución de los mismos. El artículo compara los planes de I + D + I desde diferentes perspectivas, estructura, prioridades y presupuestos, centrándose en los dos últimos. De este análisis se extrae un conjunto de lecciones para el futuro.

Finalmente, se abordan las tendencias y desafíos más importantes que tienen los planes nacionales y la capacidad de las Administraciones Públicas para cubrirlos en un ámbito en el que la construc-

ción del Espacio Europeo de Investigación y la creciente participación de las Comunidades Autónomas va a modificar sustancialmente las condiciones de contorno.

10.1. Introducción

La elaboración de los denominados *planes de investigación científica y desarrollo tecnológico (i + d)* como mecanismo básico de planificación de actividades de la Administración General del Estado (AGE) fue incluida, por primera vez, en el texto de la Ley 13/86 de Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica conocida como *Ley de la Ciencia* (BOE, 1986). Anteriormente existieron diversas actuaciones promovidas desde la primitiva CAICYT (Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica) que no tenían ni los objetivos globales ni el compromiso político que se consiguió al ligarlos a la mencionada Ley de la Ciencia, aunque muchas de sus actuaciones sí han perdurado en el tiempo.

A partir de la promulgación de la Ley en 1986 se han sucedido cinco planes de $i + d$ ¹ con diferencias significativas en los ámbitos de actuación, objetivos, estructuras internas y prioridades científicas y tecnológicas, que han logrado, globalmente, fortalecer el Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa (C-T-E), adaptándose a un entorno rápidamente cambiante como es el de la Ciencia y la Tecnología.

El amplio consenso parlamentario y social conseguido con ocasión de la elaboración de la Ley de la Ciencia, y por consiguiente, el apoyo general que sus medidas introdujeron, una vez resueltos los conflictos de inconstitucionalidad de carácter competencial, presentados por algunas Comunidades Autónomas (CC. AA.), han proporcionado a los planes de $i + d$ (y posteriormente de $i + d + i$) un marco estable de actuación mantenido con diferentes gobiernos de distinto signo hasta la actualidad. Nos encontramos pues, ante un

¹ Se han sucedido en los siguientes periodos: el I PN de $i + d$ (1988-1991), el II PN de $i + d$ (1992-1995), el III PN de $i + d$ (1996-1999), el IV PN de $i + d + i$ (2000-2003) y el V PN de $i + d + i$ (2004-2007). Los dos últimos incorporando la innovación tecnológica, apoyada previamente al margen del PN.

instrumento de política científica de indudable trascendencia sobre el que es oportuno reflexionar.

Esta reflexión se realiza en el momento en que ha culminado el proceso de elaboración del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (PN de I + D + I) para el periodo 2004-2007 (CICYT, 2003*b*). Desde una perspectiva histórica y con la mirada puesta en el futuro de nuestro país, se revisan las actuaciones de los planes nacionales de I + D + I, con sus luces y sombras, y se reafirma desde la experiencia acumulada el papel que deben jugar como factor vertebrador y de estímulo en la mejora del Sistema español de C-T-E.

El presente artículo, tras referirse al marco legal y administrativo al que debe condicionarse la elaboración del PN, realiza una rápida revisión histórica de los procesos ligados a los diferentes planes de I + D. Tras ello, se comparan los sucesivos planes de I + D en función de diversos parámetros: ámbito de actuación, objetivos, estructura, prioridades, financiación y gestión, con el fin de justificar las modificaciones introducidas paulatinamente.

La comparación detallada se centrará, fundamentalmente, en los dos últimos planes de I + D + I, para los periodos 2000-2003 (CICYT, 1999) y 2004-2007 (CICYT, 2003*b*), al coincidir en ellos un ámbito de actuación similar y un proceso que puede considerarse continuista. Finalmente, se realiza una valoración crítica de la ejecución de los planes de I + D + I para extraer las enseñanzas adecuadas.

El artículo termina con la exposición de algunas tendencias que, en el futuro, pueden modificar las bases de lo que constituye actualmente el Plan Nacional, tendencias que no deben interpretarse como peligros que pongan en riesgo el esfuerzo realizado sino, por el contrario, de oportunidad para la mejora de nuestro sistema de C-T-E en el contexto de la construcción del Espacio Europeo de Investigación y la Innovación (EEI) (COM, 2000), que España apoya de una manera decidida y comprometida, y de un mayor protagonismo de las Comunidades Autónomas.

Es difícil sustraerse en la redacción a las que pueden considerarse visiones personales cuando, al menos, en el caso de los dos últimos planes, sus procesos de elaboración se han vivido de forma muy directa. No voy a intentarlo, pero sí espero dejar claro cuándo estas apreciaciones son estrictamente subjetivas.

10.2. Revisión histórica de la elaboración de los planes de I + D

10.2.1. La necesidad de los planes de I + D e innovación tecnológica

Es posiblemente necesario comenzar este artículo planteándose la necesidad o conveniencia de la existencia de un Plan Nacional de I + D + I. Al fin y al cabo, muchos otros países desarrollados realizan sus actividades de I + D o de innovación tecnológica a través de las actuaciones de sus Administraciones Públicas, con mayor o menor nivel de coordinación, o de delegación de competencias hacia las Administraciones territoriales, sin poseer un instrumento similar y, a pesar de ello, sus respectivos sistemas de C-T-E tienen un nivel superior al nuestro en cuanto a los indicadores relativos a la Ciencia y la Tecnología internacionalmente aceptados.

Existen, sin embargo, poderosas razones que, a nuestro juicio, apoyan la conveniencia de la existencia en España de planes de I + D + I, y fundamentan el efecto positivo que han tenido éstos en la consolidación del Sistema español de C-T-E. Esta necesidad ha sido, posiblemente, útil en mayor medida de la que puedan tener instrumentos similares en países en los que su Sistema nacional de C-T-E esté más desarrollado que en nuestro caso.

Todas las sociedades de los países avanzados han encontrado mecanismos para hacer llegar a los poderes públicos la necesidad de *apoyo* a sectores empresariales o áreas concretas de I + D, así como a la protección de su sistema público de investigación (Caracostas y Muldur, 1998). Así, las necesidades procedentes de los intereses de las organizaciones empresariales, de las comunidades científicas, de aquellas derivadas de los compromisos internacionales asumidos, y también de las necesidades identificadas desde las propias administraciones regionales y locales, todas ellas han influido históricamente en los poderes públicos para que éstos prioricen determinados aspectos con medidas y presupuestos concretos.

Ante ello, los poderes públicos también reaccionan en el convencimiento de que la asignación de recursos en un área u otra de tipo científico y tecnológico, o hacia un determinado tipo de agentes eje-

cutores, favorece la situación relativa del país o región y legitima el uso de fondos presupuestarios para estas actividades.

Esta respuesta de las Administraciones Públicas suele adoptar la forma de procesos de elaboración de *actuaciones de carácter estratégico* (es decir, de aquellas actuaciones que poseen, real o potencialmente, la suficiente importancia como para mejorar visiblemente la situación relativa del país o sector afectado y, por tanto, influyen positivamente en la asignación *de recursos económicos concretos a las mismas*) junto a otras de ámbito más horizontal, con las que se dotan de recursos presupuestarios y de instrumentos de acceso a estos recursos a amplias comunidades científicas y tecnológicas, con objeto de mejorar su capacidad o mantener núcleos de investigación de calidad en todas las áreas, con efectos que no necesariamente se concretarán a corto plazo.

Dependiendo de la estructura del país, la forma en la que se organiza la priorización y financiación de la investigación es muy variable. Los países anglosajones suelen dejar esta responsabilidad a los *consejos de investigación (research councils)*, de carácter sectorial como es el caso del *Particle Physics and Astronomy Research Council*, PPARC, en el Reino Unido, o agencias financiadoras horizontales como la National Science Foundation (NSF), en Estados Unidos (EE. UU.), de la suficiente independencia como para fijar sus propias prioridades científicas y tecnológicas y atender a la financiación de calidad desde un enfoque abajo-arriba (aún con las restricciones derivadas de los presupuestos concedidos).

Esta perspectiva es complementaria con la financiación de investigación estratégica muy aplicada a través de agencias especiales orientadas a sectores concretos (como la NASA en EE. UU. o el CNES en Francia) o a través de laboratorios nacionales que realizan investigación por encargo de sus respectivos gobiernos. Estos dos enfoques se combinan en algunos casos en instituciones que poseen centros de investigación propios pero que también financian investigación externa (*extramural* en la terminología ampliamente empleada); es el caso, por ejemplo, de los Institutos Nacionales de Salud (NIH) en Estados Unidos o el NRC en Canadá, dotados ambos de centros de investigación propios y también de mecanismos de financiación a las universidades (León *et al.*, 2002).

El esfuerzo realizado por los gobiernos en mejorar la capacidad investigadora del respectivo Sistema de C-T-E se complementa con

actuaciones ligadas a las políticas industriales. En ellas, el factor tecnológico ha emergido en las dos últimas décadas como el factor fundamental de competitividad industrial, al mismo tiempo que en el seno de la Unión Europea (UE) se modificaba y limitaban profundamente los conceptos de ayudas de Estado a los sectores empresariales en el marco de la integración europea (Bianchi, 1998).

Las actuaciones de las agencias, consejos o unidades de las Administraciones en los países desarrollados que sirven de referencia no están aisladas, sino que tienden a complementarse entre sí en la búsqueda de *estrategias nacionales*, desde el momento en el que el esfuerzo en I + D se considera clave para mejorar la situación relativa del país. Es el gobierno respectivo, en la discusión parlamentaria de los presupuestos, quien tiene que presentar una visión global unificada de la estrategia que persigue asociada a las prioridades presupuestarias de cada una de las agencias pero dentro de la voluntad política de utilizar la I + D como factor de desarrollo controlado por los gobiernos respectivos.

Desde mi punto de vista, la existencia de un conjunto de actuaciones estratégicas en I + D, apoyadas y aprobadas globalmente por los gobiernos respectivos, dentro de un planteamiento plurianual al que se asocian recursos económicos procedentes de los presupuestos nacionales, es similar al concepto de un *Plan Nacional de I + D*, aunque no tenga esa condición desde el punto de vista legal o administrativo. Su concepción vertebradora de la acción del Estado en I + D + I, como respuesta de éste ante desafíos externos, es el que le confiere este carácter.

En el caso español, la existencia del Plan Nacional de I + D ha tenido la virtualidad de forzar el establecimiento de una estructura organizativa (inicialmente, la Secretaría General del PN y después, indirectamente, la reorganización que, tras la experiencia de la Oficina de Ciencia y Tecnología, condujo al Ministerio de Ciencia y Tecnología) y un conjunto de prioridades que, aunque con escasa focalización, permitió impulsar una cultura de asignación de fondos en concurrencia competitiva a los agentes ejecutores del sistema, incluso para los propios Organismos Públicos de Investigación que ya tenían una partida asignada en los Presupuestos Generales del Estado, lo que ayudó a la consolidación de su actividad de I + D de forma significativa.

No tiene lugar en España, sin embargo, una discusión presupuestaria global del PN para la formulación de los presupuestos anuales, sino que ésta se realiza anualmente de forma fragmentada en la correspondiente a cada uno de los departamentos ministeriales². Posiblemente, la inexistencia de presupuestos plurianuales acordados por Ley se haya convertido en la práctica en un problema, al disociar los procesos de priorización temática de la asignación de recursos presupuestarios.

10.2.2. Marco legal y administrativo

Comenzaremos este análisis con la promulgación de la Ley 13/86 (Ley de la Ciencia). No obstante, no debe considerarse por ello que la existencia de los planes de I + D arranca completamente *ex novo* desde ese momento. Algunos de los conceptos y actuaciones previas puestas en marcha desde los años de la transición democrática en España son antecesoras directas de ideas o programas que se han mantenido hasta la actualidad.

El periodo previo, desde la reinstauración de la democracia en España, y en la época reformista de los gobiernos de la Unión de Centro Democrático (UCD), se realizaron diversos intentos de reorganización de la Ciencia y Tecnología en España, incrementando el peso de la misma en los presupuestos que las circunstancias políticas del momento y la falta de recursos económicos imposibilitaron su puesta en marcha. De hecho, ya la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT) preparó un plan nacional de investigación para 1978-1979 que no llegó a ponerse en marcha, y en 1981 se aprobó la creación de un *Programa especial de Investigación y Desarrollo*, actuaciones que pueden considerarse antecesoras de los primeros planes nacionales de I + D.

De la misma manera, existieron intentos de modificación del marco legal, siendo reseñable la preparación en 1982, tras la desaparición del Ministerio de Universidades e Investigación y la asunción de esas responsabilidades por el Ministerio de Educación y Ciencia, de un proyecto de Ley de Investigación (Ley de Fomento

² Bien es verdad que tras la creación en el año 2000 del Ministerio de Ciencia y Tecnología, éste asume la mayor parte de las partidas correspondientes a la Función 54 (en el año 2003, el 85% de ésta).

y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica) que no llegó a debatirse en el Congreso tras la disolución de las Cortes dos meses después (Sanz, 1997). Su ámbito se limitaba al terreno académico, sin incorporar las actuaciones de las empresas.

La Ley de la Ciencia de 1986, retoma muchas de las ideas preexistentes pero las enmarca en un contexto más amplio y, sobre todo, las otorga un rango de Ley para apoyar el compromiso político y social a la actividad de I + D. En la exposición de motivos de la Ley de la Ciencia se justifica la existencia de un Plan Nacional que, por su vigencia actual, reproducimos literalmente.

La Ley encomienda a una Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología la programación de las actividades de investigación de las actividades de investigación de los organismos dependientes de la Administración del Estado, mediante el Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Se establece así un nuevo e integrador mecanismo, de programación ágil y eficaz, y, conjuntamente, una metodología adecuada y moderna para hacer frente al complejo proceso de planificación, coordinación y gestión. El Plan Nacional, cuya aprobación corresponde al Gobierno y cuyo seguimiento y valoración llevará a cabo el Parlamento sobre la base de las comunicaciones que le sean remitidas periódicamente por el Ejecutivo, establecerá los grandes objetivos en investigación científica y tecnológica para periodos plurianuales, y ordenará las actividades dirigidas a su consecución en programas nacionales, programas sectoriales, a realizar por los distintos ministerios con responsabilidades en esta materia y programas de las Comunidades Autónomas, que sean financiados en todo o en parte por fondos estatales.

De la lectura de este texto legal, con un articulado que implicó también un cambio importante en la estructura organizativa del proceso de toma de decisiones del Sistema de C-T-E (BOE, 1986), se desprende la justificación que en el año 1986 llevó al legislador a plantear la conveniencia de un Plan Nacional. Desde nuestro punto de vista, estos criterios generales siguen siendo válidos.

Desde un punto de vista histórico, la mencionada Ley de la Ciencia estableció tres elementos fundamentales para dotar a nuestro sis-

tema de C-T-E de la necesaria coherencia y vertebración interna: la creación de los *planes nacionales de I + D* (en su momento sin referencia explícita al apoyo a la innovación) como mecanismo básico de ordenación de las actuaciones de la Administración General del Estado (AGE), el establecimiento de la *Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología* (CICYT) como órgano básico de decisión, reforzando con su composición el carácter *interministerial* de su función, y una redefinición del concepto de *Organismo Público de Investigación* (OPI) buscando una mayor autonomía de funcionamiento y el incremento de su competitividad en la búsqueda de recursos externos.

La consideración del PN como *nacional* implicaba una responsabilidad directa de la AGE en la determinación de prioridades y en su financiación. De hecho, el mantenimiento dentro de la AGE de recursos presupuestarios proporcionalmente elevados con respecto a los que poseen las Comunidades Autónomas (no han existido transferencias explícitas en este terreno más allá de las derivadas de las transferencias de las universidades, como parte del sistema educativo, aunque estas instituciones dedican parte de sus recursos a la actividad de I + D) asegura un papel vertebrador al PN si se consigue establecer mecanismos concretos de actuación con las Comunidades Autónomas y si éstas prosiguen su compromiso con la Ciencia y la Tecnología.

Aunque no de forma explícita, la idea de *plan nacional* concebida en la Ley de la Ciencia implica la planificación de las actuaciones de I + D que la Administración General del Estado desea llevar a cabo con una financiación concreta.

En su artículo sexto (apartado 2), la Ley de la Ciencia determina que el PN «en función de los recursos y de las necesidades... definirá los objetivos que deba alcanzar el sector público y los que, mediante acuerdo, deban cumplirse por el sector privado».

Es evidente que el tratamiento del PN es diferenciado al no poderse actuar de la misma manera en el sector público, en el que la AGE controla los presupuestos de forma directa, que en el privado, en el que su función dinamizadora sólo puede lograrse estableciendo modalidades de acceso a la financiación que sean atractivas para los agentes ejecutores.

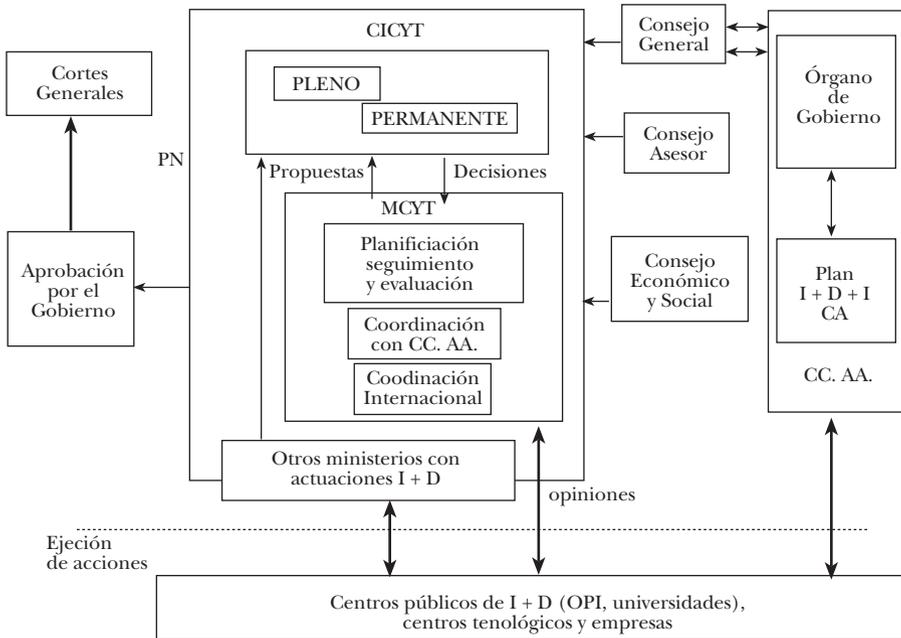
Esta importante modificación estructural fue acompañada de la consolidación en la Ley de un *Fondo Nacional* (ya existente previamente) para la financiación de las actividades de investigación

del sector público, fundamentalmente universidades y Organismos Públicos de Investigación (OPI), ya existente en los años anteriores. Es preciso indicar que la Ley de la Ciencia continuó el proceso de cambio hacia una mayor competitividad en las entidades públicas ya anunciado en las universidades con la Ley de Reforma Universitaria (LRU) que desde el año 1983 había impulsado la función investigadora en los departamentos universitarios. Se trataba ahora de asegurar unos recursos económicos necesarios para la realización de proyectos de I + D.

Es cierto que la Ley de la Ciencia ha sufrido modificaciones menores en sus diecisiete años de andadura, pero éstas no afectan a las condiciones generales (sí a aspectos concretos como la eliminación de los programas sectoriales, o normativos relacionados con los Organismos Públicos de Investigación). Muchas de estas modificaciones se han producido en artículos que no afectan a la sustancia de los planes de I + D.

El esquema 10.1 resume el conjunto de órganos y procesos que constituyen hoy día el marco de referencia para la organización del

ESQUEMA 10.1: Marco de referencia para la definición de las políticas de I + D + I



Sistema español de C-T-E y el contexto de la elaboración de los planes de I + D + I.

En el esquema 10.1 se ha representado también a las Comunidades Autónomas para resaltar que éstas han ido mimetizando las estructuras y objetivos planteados por la Administración General del Estado (AGE) creando las unidades administrativas y sus propios planes de I + D + I y que estas actuaciones no pueden ser ajenas. En este contexto, los agentes ejecutores reciben financiación de la AGE y de las Administraciones autonómicas, y la interacción entre ambas Administraciones se realiza a través del Consejo General (y de los grupos de trabajo establecidos en su seno) o directamente a través de relaciones bilaterales con la AGE.

Independientemente de los órganos de decisión o asesoramiento citados, y de las unidades gestoras en los diferentes departamentos ministeriales, existen otras entidades que ayudan en el proceso de implementación de las actuaciones como son el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), creado antes de la Ley de la Ciencia, o entidades más recientes como la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), por citar algunas entidades dependientes de la AGE que cooperan en el proceso de gestión de las actuaciones científicas y tecnológicas presentes en el PN³.

Desde el punto de vista de las entidades ejecutoras, la última década ha visto incrementarse el número de entidades que realizan actividades de I + D. Así, empresas (sobre todo pymes, algunas de ellas *spin-off* de otras preexistentes), universidades (algunas de ellas privadas) y OPIS, a los que se han venido a sumar de forma creciente centros tecnológicos (muchos de ellos apoyados por diferentes Comunidades Autónomas), y otros centros de I + D creados a partir de fundaciones o consorcios (muchos de ellos con participación de las Administraciones Públicas).

En términos generales, puede decirse que el Sistema español de C-T-E ha alcanzado la complejidad y características propias de una so-

³ Es también necesario indicar la existencia durante un breve periodo de tiempo (dos años) de la creación de la *Oficina de Ciencia y Tecnología* (OCYT) como escisión de la Dirección General de Investigación y Desarrollo del Ministerio de Educación y Cultura, que asumía a su vez las funciones de la desaparecida Secretaría General del PN. Esta unidad estaba adscrita al Gabinete del Presidente del Gobierno y fue la encargada de coordinar la elaboración del IV PN.

ciudad avanzada y no es diferente conceptualmente del que existe en otros países.

La diferencia organizativa fundamental, en relación con la distribución de los recursos para la financiación de la I + D sobre la que se volverá más tarde, reside en la agilidad e independencia de las actuaciones ligadas a la investigación básica, concentrada en los países anglosajones o de cultura de I + D similar en los denominados *Consejos de Investigación (Research Councils)* de los que carece nuestro país. La creación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) no ha cumplido esa misión. Es destacable, asimismo, la persistencia de dos culturas (científica y tecnológica) con modos de operar diferenciados, tanto por razones de índole administrativa como por una concepción diferente del papel que deben jugar frente a los agentes ejecutores que les son propios.

10.2.3. Evolución histórica del marco legal de la Ciencia y la Tecnología en España

En Sanz (1997) y Muñoz (2001) pueden encontrarse detallados análisis de la evolución del Sistema español de C-T-E desde un punto de vista histórico. No es objeto de este artículo desarrollar en extenso esta evolución sino atender exclusivamente a los cambios producidos que han afectado al proceso de modificación de las previsiones establecidas en la Ley de la Ciencia.

Resaltamos tres de ellas que, por sus consecuencias políticas merecen una reflexión individualizada.

1. Modificación de la composición de la CICYT. En la redacción inicial de la Ley se indicaba que el Gobierno nombraría al *Ministro* que haya de presidirla. Dado el objetivo general de apoyar la investigación en el sistema público que tenía el Fondo Nacional; este *Ministro* fue históricamente el responsable del Departamento de Educación (en su última etapa como Educación, Cultura y Deportes). A este Departamento ministerial estaba también adscrita la Secretaría General del PN como órgano de apoyo a la CICYT y a la Comisión Permanente que se creaba en su seno.

En 1997, la intención de elevar el rango de la CICYT hizo que su presidencia recayese directamente en el Presidente de

Gobierno (interpretación de *Primer Ministro*). Con la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología (MCT) se modifica las funciones y composición de esta Comisión (Ley 14/2000) y su titular asume las funciones de apoyo a la CICT y a su Comisión Permanente. La concentración en el MCT del 85% de los recursos presupuestarios disponibles para ejecución (Función 54) le otorga en la práctica un papel prominente en el proceso de elaboración de los planes de I + D (véase esquema 10.1).

2. Modificación introducida en la Ley 5/2000 para suprimir la Comisión Mixta Congreso-Senado de la función que le otorgaba la disposición adicional primera de la Ley 13/86 sobre el conocimiento del PN. Esta función es asumida independientemente por las dos Cámaras, fundamentalmente, a través de la Comisión de Ciencia y Tecnología del Congreso, una vez que, tras la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, es preceptiva la creación de estas comisiones en su papel de control al Gobierno.
3. Eliminación de los planes sectoriales que, a partir de la modificación introducida en el año 2000 (Ley 14/2000) desaparecen, haciendo que el PN «integre las iniciativas sectoriales propuestas por los distintos departamentos ministeriales». Con esta modificación se pretendió dar una mayor unidad al Plan Nacional haciendo desaparecer algunas actuaciones de otros departamentos ministeriales que, a pesar de su existencia, tampoco se integraban en el PN.

Es interesante constatar cómo algunas de las previsiones establecidas en la Ley (posibilitando la realización de determinadas actuaciones, pero no forzando su realización) no se han llevado a cabo. Una de ellas es especialmente importante: me refiero a la incorporación en el Plan Nacional de programas de las Comunidades Autónomas.

El texto legal indica en el artículo 6.2*b* (ordenación resultante de las modificaciones) que el Plan Nacional comprenderá (junto a otros elementos):

- b.* Programas de las Comunidades Autónomas que en razón de su interés puedan ser incluidos en el Plan Nacional y acordada

su financiación, en todo o en parte, con fondos estatales. Estos programas serán presentados para su inclusión en el Plan Nacional a la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología por el Gobierno de la correspondiente Comunidad Autónoma, y los criterios para su financiación, gestión y ejecución serán establecidos por acuerdo entre ambos.

La realidad ha hecho difícil el cumplimiento de este artículo tras algunas experiencias parcialmente fallidas (realmente sólo dos, de Cataluña y la Comunidad Valenciana) al comienzo del recorrido de la Ley y no continuadas posteriormente. No obstante, el proceso de maduración progresiva de los sistemas regionales de Ciencia y Tecnología, y el que las Comunidades Autónomas se hayan dotado de instrumentos legislativos y administrativos para financiar actividades de I + D e innovación con presupuestos crecientes, hace que este tema vuelva a cobrar vigencia como posteriormente se abordará.

En todo caso, las alteraciones producidas desde el punto de vista formal han sido menores de las que se han producido en relación con los ámbitos y contenidos de actuación a las que nos referiremos seguidamente.

Por la importancia posterior sobre la propia estructura administrativa del Sistema español de C-T-E, es preciso referirse a los esfuerzos del Ministerio de Industria y Energía (MINER) durante el año 1999 para disponer de una *Ley de Innovación* que confiriese de un rango similar a la Ley de la Ciencia las actuaciones que, para el sector empresarial, se llevaban a cabo desde el citado ministerio. La idea de abordar otras actuaciones de innovación tecnológica, no estrictamente de I + D, ya se había considerado necesaria por la OCDE (OCDE, 1986), y la Comisión Europea (COM, 2000). En España, la Fundación COTEC con su *Libro Blanco* (COTEC, 1998) también había asumido una función movilizadora en favor de la innovación, mantenida año tras año en sus informes anuales (COTEC, 2003).

La voluntad política de reforzar las competencias de la CICYT (en ese momento presidida ya por el Presidente del Gobierno), evitando la existencia de *dos planes* en un momento en el que la concepción global de la I + D + I se abría paso en todos los países, y la flexibilidad para modificar el ámbito de actuación del PN, cambiando incluso el título para dar cabida a la innovación tecnológica, abortó

la andadura de esa ley que no llegó a debatirse en el Congreso. Es interesante indicar que ya a finales de 1997 un documento presentado a la CICYT reclamaba la necesidad de adoptar una estrategia global para la Ciencia y la Tecnología, apoyándose en el mantenimiento de la Ley de la Ciencia (CICYT, 1997).

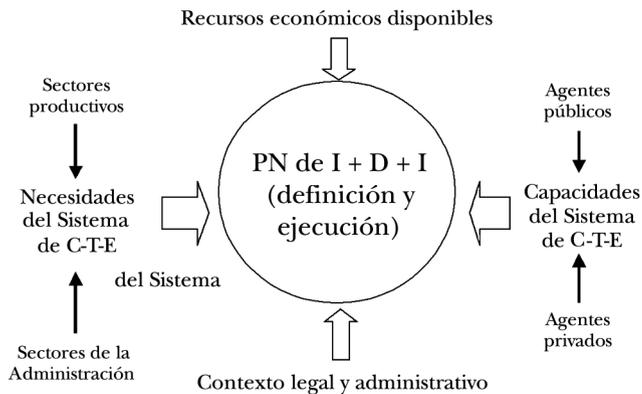
10.3. Evolución de los objetivos, estructura y prioridades de los planes de I + D + I

10.3.1. El contexto de la elaboración

Si el PN de I + D + I debía responder a los retos del Sistema español de C-T-E es lógico suponer que su proceso de elaboración debía partir de las necesidades de este mismo sistema. En el esquema 10.2 pueden verse las condiciones de contorno en las que debe llevarse a cabo el proceso de elaboración. Algunas de ellas se han hecho explícitas desde el primer momento, otras no lo han sido más que en momentos muy tardíos y con una lógica de actuación diferenciada, fundamentalmente, en el caso de los recursos económicos disponibles.

El esquema 10.2 sugiere que ningún PN puede definirse ni desarrollarse en el *vacío*. Su ejecución responde a las necesidades del Sistema de C-T-E en el momento en el que se elabora y para un futuro de cuatro años, pero también a las capacidades manifestadas por los agentes

ESQUEMA 10.2: Condiciones de contorno para la elaboración del PN (PGE, entidades públicas/privadas, internacional)



(Ley Ciencia, Ley de Subvenciones, Ley Presupuestaria)

ejecutores del mismo. Ello permite definir las prioridades científicas y tecnológicas necesarias, así como la forma en la que los agentes del sistema pueden participar, recibiendo financiación para sus actuaciones.

Adicionalmente, el PN debe conocer el escenario macroeconómico en el que se desarrolla para asegurar que las prioridades establecidas disponen de los recursos económicos suficientes para ejecutarse, teniendo en cuenta también las disposiciones legales y normativas que permiten su realización. Éste ha sido el elemento implícito al que se hacía referencia anteriormente.

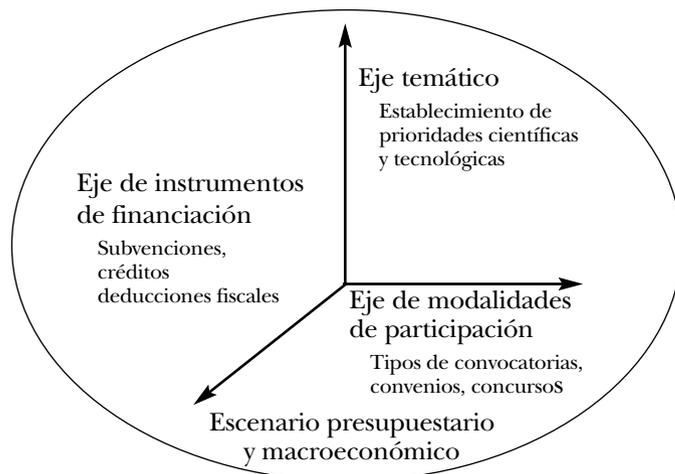
Teniendo presente estos condicionantes, el proceso de elaboración de un PN debe atender simultáneamente a tres ejes de actuación:

- Un *eje temático* en el que el esfuerzo se orientará a la determinación de las prioridades científicas y tecnológicas que se consideren necesarias.
- Un *eje de modalidades de participación* en el que se determinarán las convocatorias públicas, los convenios o concursos por el que los agentes del sistema puedan recibir financiación.
- Un *eje de instrumentos de financiación* en el que se determinarán los diferentes tipos de instrumentos: subvenciones, créditos, avales, etc., que configuran la forma en la que los agentes ejecutores ven apoyadas sus propuestas. En este eje se pueden integrar las medidas indirectas de apoyo como son las desgravaciones fiscales que acompañan al PN.

El esquema 10.3 resume la relación entre estos tres ejes. En ella se ve también cómo es necesario fijar el escenario presupuestario para los cuatro años de ejecución del PN ya que condiciona fuertemente la capacidad de satisfacer los objetivos del mismo. No debe olvidarse que algunas acciones emprendidas en un PN deben continuar en sucesivos planes. Éste es el caso de las grandes instalaciones científicas con plazos de ejecución muy largos.

Concretamente, la Ley de la Ciencia (artículo 6.4) indica: «El Plan Nacional incluirá una valoración precisa de los gastos de personal, operaciones corrientes y de capital necesarios para la elaboración, evaluación, gestión, ejecución y seguimiento de los

ESQUEMA 10.3: Ejes de elaboración del PN



Programas establecidos en el número anterior» (referencia a los programas nacionales, de las Comunidades Autónomas o de formación del personal investigador).

La realidad de los procesos de elaboración del PN ha sido mucho más compleja y estos detalles *precisos* no han acompañado a los diferentes planes nacionales. Únicamente en el V PN se ha incorporado una descripción porcentual de los recursos asignados a los diferentes programas nacionales.

La existencia de estos ejes ha estado presente de una manera implícita desde la promulgación de los diferentes planes de I + D (o I + D + I), aunque es desde el III PN cuando se conciben de una manera integrada.

Desde un punto de vista histórico, al mismo tiempo que se elaboraba el PN, otros departamentos ministeriales podían establecer sus planes sectoriales, aunque no formalmente ligados al Plan Nacional ni a la coordinación interministerial, excepto en el caso de que se acordase la integración de los mismos en el PN. La financiación de las actuaciones de carácter industrial era llevada a cabo, sobre todo, por el extinto Ministerio de Industria y Energía, con recursos muy superiores a los del propio Fondo Nacional.

Es importante referirse, en este sentido, al hecho de que, en el año 1995, la CICYT únicamente coordinaba de forma directa

un 8-9% de la Función 54 de los Presupuestos Generales del Estado (PGE), partidas que financiaban fundamentalmente la actividad de I + D desde la AGE para las entidades del sistema público (Muñoz, 2001).

Este proceso ha dejado de ser así desde el IV PN de I + D + I en el que se adopta una visión de coordinación global por la CICYT con la inclusión de las actuaciones de otros departamentos ministeriales (CICYT, 1999).

10.3.2. Evolución del ámbito de actuación

Con los tres primeros planes de I + D se había aceptado tácitamente un compromiso de centrar la actuación de los planes de I + D en actuaciones de apoyo a la investigación, manteniendo aquellas ligadas al apoyo empresarial en manos de otros departamentos ministeriales. La relación directa de la CICYT con el Ministerio de Educación y Ciencia y el escaso interés de otros departamentos ministeriales en ser coordinados (sí, por supuesto, en la coordinación del Fondo Nacional adscrito al Ministerio de Educación a través de su participación en la CICYT) produjo una situación de facto que derivaba el PN hacia los intereses de la comunidad académica (muy implicada en los procesos de elaboración y gestión del propio PN a semejanza de lo que ocurría en otros países).

El mantenimiento de los planes coordinados concertados, único vehículo consistentemente mantenido a lo largo del tiempo y financiado por el Fondo Nacional, para estimular la cooperación entre el sistema público y el privado, se ejecutaban en paralelo con las actuaciones del Ministerio de Industria y Energía, aunque el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) tenía un papel protagonista en el mismo.

Con ello se estaba consolidando una separación de responsabilidades que, de hecho, se alejaba del enfoque propuesto en la Ley de la Ciencia y de los esfuerzos (limitados en recursos presupuestarios) que la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT), precursora de la actual CICYT, había impulsado con la creación de los planes concertados. Es importante recordar que hasta el año 1979 las cantidades destinadas para planes concertados en el Fondo Nacional fueron superiores a las dedicadas a proyectos de investigación (Sanz, 1997).

Atendiendo al ámbito que la propia Ley de la Ciencia le otorga, el PN deberá tener en cuenta la necesidad de conjugar en su estructura dos elementos básicos:

- Contribuir a la generación de nuevo conocimiento en diferentes áreas científicas y tecnológicas que sustenten el progreso intelectual y material de nuestra sociedad favoreciendo los progresos en Ciencia y Tecnología.
- Contribuir a mejorar la competitividad empresarial y el bienestar social mediante actuaciones en diversas áreas prioritarias a partir de las demandas expresadas en sectores concretos de la sociedad española.

En resumen, el PN debe conciliar las actuaciones que sean capaces de generar nuevos conocimientos a partir de los progresos desde la Ciencia y la Tecnología con aquellas otras que permitan dar respuesta a problemas o demandas actuales de la sociedad y de los sectores productivos. Esta dualidad funcional se debe convertir armónicamente en un eje fundamental del PN; todo ello, dentro de un contexto de influencia recíproca en el ámbito internacional y regional.

El cambio más importante en el ámbito de actuación acaecido desde la existencia de los planes de I + D en el sentido indicado en el párrafo anterior tuvo lugar con el IV PN de I + D + I cuando se incluyó (en un momento avanzado de su proceso de elaboración) las actuaciones realizadas por el MINER y, hasta entonces englobadas en la Actuación en Tecnología y Calidad, ATYCA (previamente había sido el *Plan de Actuación Tecnológica Industrial*, PATI, el mecanismo de financiación de la I + D empresarial). El V PN de I + D + I ha sido en este sentido continuista una vez creado el MICYT y, por tanto, gestiona tanto las ayudas al ámbito académico como al empresarial desde el mismo departamento ministerial aunque con una clara separación de gestión.

Desde el punto de vista económico, es reseñable el incremento de financiación que se ha producido para financiar las actuaciones del PN. Aunque general en la aplicación de este incremento, es cierto que la intensidad no es la misma y destaca el área biomédica, en el que a las actuaciones del Ministerio de Ciencia y Tecnología se su-

man las que está promoviendo el Ministerio de Sanidad apoyándose no sólo en la financiación presupuestaria ligada al Instituto de Salud Carlos III, sino la que procede del sector farmacéutico.

Adicionalmente, la creación de diversos centros de investigación ligados a fundaciones públicas⁴ establece, de hecho, un cambio importante en la estructura del sistema público al focalizar actuaciones y al establecer mecanismos de gestión de derecho privado. Este esquema también es seguido por diversas Comunidades Autónomas las que han promovido la creación de centros de I + D propios, ligados pero independientes de las universidades transferidas.

10.3.3. Establecimiento de prioridades temáticas

10.3.3.1. *El proceso de establecimiento de prioridades científicas y tecnológicas*

El establecimiento de prioridades en I + D es un proceso complejo que está determinado, en cada país, por sus propias tradiciones y por sus características culturales, sociales, económicas y políticas, aunque se tengan en cuenta cuáles son las principales tendencias y preocupaciones de las políticas de I + D a nivel internacional. El proceso de priorización parte, por tanto, de dos estrategias superpuestas:

- Una mejor identificación y clarificación de las prioridades, mediante la elaboración periódica y sistemática de objetivos estratégicos a medio plazo (entre tres y cinco años). La actualización anual de las prioridades del programa puede seguir un esquema combinado a corto (siguiente año) y medio plazo (hasta la finalización del PN).
- La recogida, análisis y evaluación de la información relativa a las prioridades (prospectiva y vigilancia científica y tecnológica), combinando información sobre la situación actual y sobre las perspectivas de evolución en el futuro que permite actualizar las actuaciones del PN anualmente.

⁴ Opción elegida sobre todo por el Ministerio de Sanidad y Consumo con el Centro Nacional de Investigaciones Oncológicas (CNIO) en cáncer, el Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares (CNIC) en cardiovascular o el Centro de Investigación en Enfermedades Neurológicas (CIEN) como estructura en red.

Estos dos aspectos deben combinarse con el objetivo de eliminar los compartimentos rígidos entre los departamentos ministeriales y asegurando la necesaria colaboración y coordinación entre ellos. Por otro lado, debe asegurarse un adecuado equilibrio entre la necesaria autonomía de la Ciencia y la Tecnología y los objetivos políticos, económicos y sociales procurando que la priorización establecida en el PN surja de acuerdos estables al mayor nivel posible que faciliten su andadura en un horizonte plurianual.

Es evidente que la determinación de las prioridades científicas y tecnológicas de un PN se realiza teóricamente sobre el universo de posibles temas de I + D que, en el caso de un país como el nuestro, está ligado a una agenda internacional comúnmente aceptada. La dificultad estriba en que, dadas las limitaciones de recursos económicos, este universo debe restringirse y, sobre todo, el énfasis de las actuaciones acomodarse a los intereses nacionales.

Las restricciones pueden establecerse a priori, procediendo de un análisis de las capacidades y necesidades del Sistema de C-T-E, como ha sido expuesto previamente, y concentrar los esfuerzos en aquellas áreas en las que existan más posibilidades de mejorar colectivamente la situación nacional, o atender a una restricción a posteriori partiendo de la evaluación de la calidad de las propuestas presentadas o, simplemente, mediante la reducción de la financiación concedida a las mismas. Ambos esquemas coexisten como se verá seguidamente.

Atendiendo al primero de los criterios, el PN debería concentrarse en aquellas áreas en las que se mejorase la competitividad general del Sistema español de C-T-E. Ello tendría como consecuencia que muchas áreas no serían directamente financiadas por el PN. Un enfoque como el indicado es el seguido por la Unión Europea en la formulación de los programas marco de I + D. Se supone que los recursos disponibles (únicamente el 4,1% del presupuesto comunitario en 2003, lo que supone aproximadamente un 5% del total destinado a I + D en los Estados miembros) no permiten financiarlo todo. Las áreas no cubiertas deberían, desde esta perspectiva, abandonarse o buscar financiación al margen del PN (ya sea comunitaria, regional o del sector privado).

Pero los planes nacionales tienen, partiendo de los objetivos enunciados en la propia Ley de la Ciencia, un enfoque mucho más

amplio. Orientado según la propia Ley, entre otras cosas a: «el progreso del conocimiento y el avance de la innovación y el desarrollo tecnológico» debía fomentar, según su articulado, tanto la investigación básica como previsiones de fomento de la investigación científica y el desarrollo tecnológico en las empresas, aunque esto último apenas se abordó en los tres primeros planes, salvo los planes concertados, al no integrarse las actuaciones del Ministerio de Industria y Energía.

Para el sistema público, tenía una finalidad más importante: era el recurso fundamental para financiar la actividad de I + D en sus instituciones que, en el caso de las universidades, no incluía en sus presupuestos la financiación de la investigación y que, en el caso de los OPI (sobre todo, CSIC) no cubrían los costes adicionales a la realización de proyectos de I + D. Y si la I + D debía servir de complemento a la actividad docente en todas las disciplinas, este proceso debería estar asegurado a través del Plan Nacional⁵.

Si para los sectores empresariales las ayudas del PN o las que procedían de los planes de actuación del Ministerio de Industria y Energía constituían oportunidades de realización de proyectos de mayor riesgo que se sumaban a la financiación de I + D a la que ya dedicaban recursos, en el caso del sistema público se convertía en la fuente fundamental de actuación (sobre todo, en las universidades).

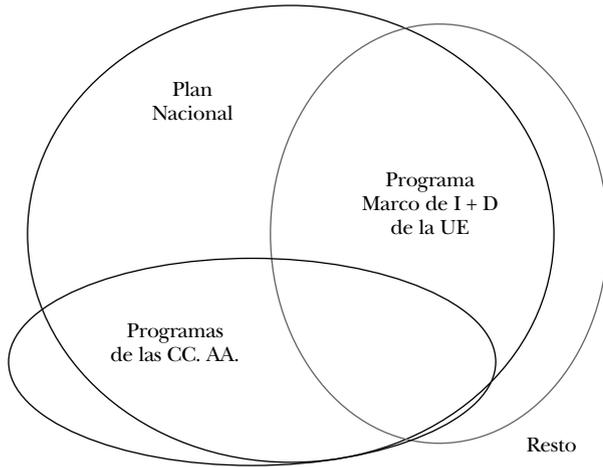
El esquema 10.4 describe cómo, del universo de temas posibles de actuación, el PN deja sin cubrir algunos que no pueden o deben ser abordados debido a criterios éticos o de seguridad nacional (estén o no explícitamente restringidos por la legislación). Aun así, el PN coexiste con las actuaciones de las Comunidades Autónomas y del Programa Marco de I + D de la UE (León, 2001).

La pregunta que los decisores del PN deben formularse es la conveniencia o no de un solapamiento entre estos ámbitos de actuación y, en el caso de que esta superposición sea razonable, el grado en el que las actuaciones deben complementarse. Está claro que los procesos de decisión en estos tres ámbitos son indepen-

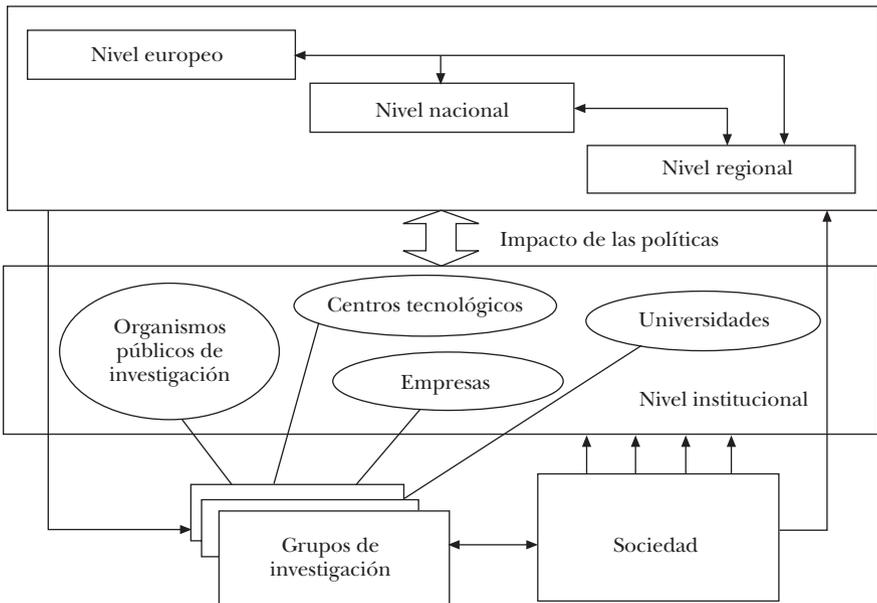
⁵ Debe recordarse que el Programa de Promoción General del Conocimiento fue concebido como el programa sectorial del Ministerio de Educación y Ciencia para cubrir el apoyo a la investigación básica sin una priorización a priori.

dientes aunque pueden influirse (generalmente, del más amplio al más concreto en términos geográficos). El esquema 10.5 representa esta idea.

ESQUEMA 10.4: Ámbitos territoriales en la determinación de prioridades



ESQUEMA 10.5: Superposición de ámbitos territoriales



Se ha querido separar el nivel gubernamental del institucional porque, con independencia de las decisiones de priorización tomadas por las Administraciones Públicas, las instituciones ejecutoras siguen sus propios intereses, presionadas por sus grupos de investigación, en el caso del sistema público, y en mucha menor medida por la sociedad.

El grado en que esta priorización sea seguida por los ejecutores va a depender del atractivo de la financiación puesta a su disposición y de la capacidad que hayan tenido en incluir sus propios intereses en la priorización adoptada.

Dentro del nivel gubernamental, la realidad de los procesos de coordinación y cooperación con las Comunidades Autónomas alcanzados indica que es posible influir desde el PN en la medida en la que existan acuerdos estables entre la AGE y cada una de las Comunidades Autónomas (AGE-Comunidades Autónomas, 2003) pero, en la práctica, en los procesos de adopción de los planes regionales de I + D, la intervención de la AGE es muy escasa. No ha existido hasta el momento ningún planteamiento comúnmente aceptado para asegurar una *complementariedad de actuaciones* que optimizase los recursos disponibles. No debe olvidarse que tras ello ha existido un interés desde las Comunidades Autónomas en reafirmar su capacidad y priorización política en actuar en este ámbito.

Con respecto a las áreas prioritarias establecidas en los Programas Marco de la Unión Europea, se estaba produciendo un fenómeno de concentración de prioridades (más acusado en el V y en el VI PM) que dejaba escaso margen de maniobra al PN para ligarse temáticamente con él. Las posibles opciones podían centrarse en el apoyo de forma complementaria desde el PN a aquellas áreas que gozasen de la suficiente financiación en el PM o, por el contrario, complementar esas áreas con proyectos en el PN para incrementar los recursos humanos y la calidad de los mismos en la búsqueda de financiación europea. El carácter, marcadamente ligado a los intereses empresariales, con las que se definían los temas prioritarios del PM (al menos, hasta el VI PM) hacían, por otro lado, que incluso en las áreas abordadas por el PM fuese necesario mantener el esfuerzo en la investigación de corte académico que, como ya se ha mencionado, constituía el grueso de los ejecutores del PN.

Como resultado, existe un solape entre los tres ámbitos de actuación que no se ha podido abordar de manera decidida. De todas

maneras, las ventajas e inconvenientes de disponer de un solapamiento entre los ámbitos territoriales no puede evaluarse exclusivamente en términos económicos. Aunque los temas sean similares, los agentes ejecutores pueden diferir porque la competencia también es diferente.

La visión de coordinación que el PN debía poner en marcha estaba íntimamente ligada a la de planificación de las actividades. Se suponía (Sanz, 1997) «que los actores de la investigación desarrollarían sus actividades en base a los objetivos que hubieran quedado definidos en el Plan Nacional de I + D». En la práctica, la influencia que han tenido las propias comunidades científicas y tecnológicas en la formulación de las prioridades del PN ha sido muy considerable. No tanto a través del Consejo Asesor, cuyo papel efectivo ha sido muy escaso en contra de lo que preveía la Ley de la Ciencia, sino a través de las comisiones de elaboración de prioridades en cada una de las áreas prioritarias de los planes.

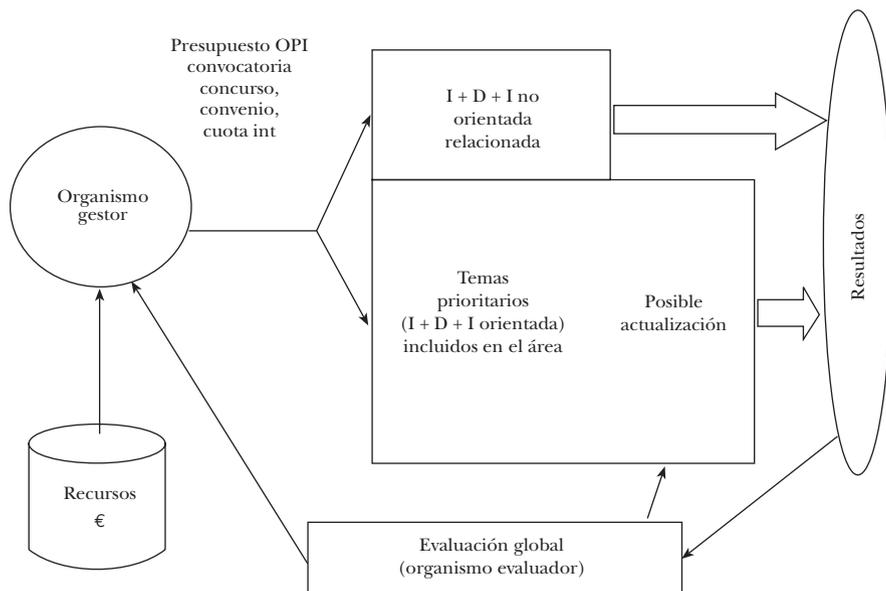
El efecto resultante ha sido el de disponer de planes de I + D + I muy amplios temáticamente, permitiendo prácticamente a todos los sectores académicos y empresariales encontrar áreas en las que su actividad pudiese financiarse.

Un elemento importante que refleja la dificultad en los procesos de priorización temática se representa esquemáticamente en el esquema 10.6. En él, se puede ver cómo cualquier área prioritaria debe ser capaz de establecer unos temas prioritarios relacionados con su ámbito temático. Con ellos se pretende dar un mensaje claro a los posibles ejecutores de las acciones (públicos y privados) de la necesidad de focalizar sus peticiones hacia esos temas. Pero, asimismo, la necesidad de cubrir actuaciones de investigación básica (difícil de priorizar temáticamente) ha hecho necesaria la inclusión de una parte de *investigación no orientada*, es decir, no priorizada a priori.

Los temas prioritarios pueden evolucionar en la medida en que lo hagan los intereses empresariales o de los grupos de investigación por la propia evolución del mercado y las tecnología disponibles o por la agenda de investigación internacional, respectivamente, y en función de los resultados alcanzados.

Esta responsabilidad, ejercida por los organismos gestores, no está aislada de la capacidad de actuar que permitan los recursos económicos disponibles en cada una de las áreas.

ESQUEMA 10.6: Actualización de los contenidos temáticos



El esquema 10.6 introduce también el concepto de recursos presupuestarios gestionados por una unidad de la Administración General del Estado como un condicionante fundamental a la hora de determinar las actuaciones que, finalmente, se pueden llevar a cabo. De todas maneras, la histórica disociación entre priorización temática y discusión sobre el marco macroeconómico y presupuestario ha complicado el análisis de las actuaciones que se pueden llevar a cabo. El ejemplo clásico sobre este problema se refleja en las inversiones relacionadas con grandes instalaciones científicas como el telescopio de 10 m en Canarias o el sincrotrón español en Cataluña, cuyo proceso de decisión e inversiones no está ligado directamente con la gestión de los respectivos programas nacionales.

10.3.3.2. Análisis comparativo de las estructuras de los planes de I + D + I

Antes de detallar la evolución de los diferentes programas temáticos, es importante referirse a la forma en que han evolucionado las estructuras de los planes nacionales. En este apartado se comenta-

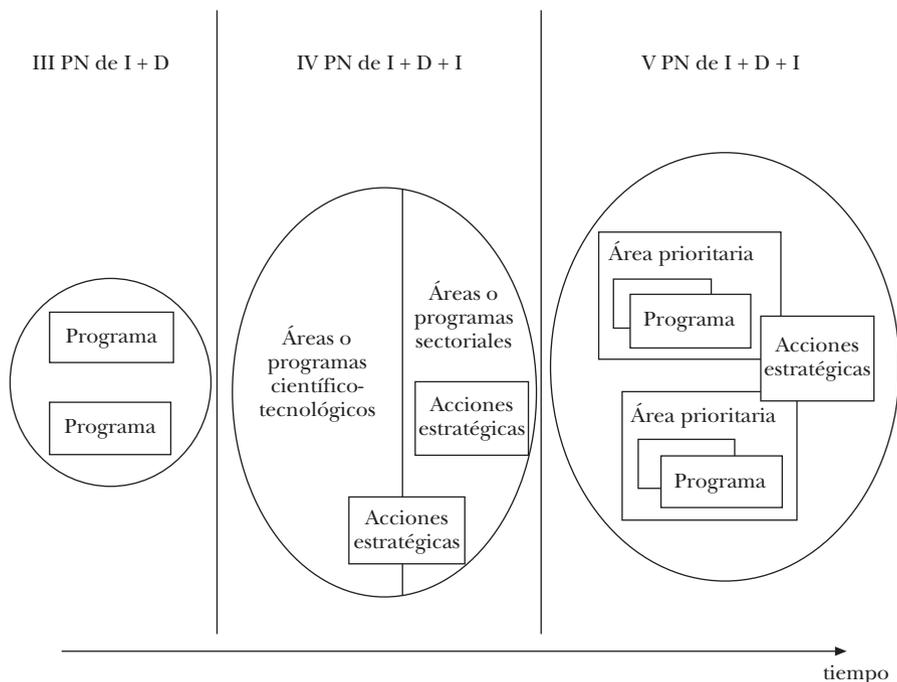
rán los aspectos significativos de la estructura de los planes de I + D y la justificación de sus modificaciones.

Los diferentes planes nacionales han introducido, asimismo, estructuras de gestión que han ido aprovechando la experiencia previa. El esquema 10.7 describe esta idea sugiriendo que la complejidad de los programas ha aumentado al mismo tiempo que maduraban los procedimientos de gestión de los mismos.

Algunos temas fueron introducidos y eliminados por motivos no exclusivamente técnicos. En esta sección se revisarán dos de ellos que, a nuestro entender, son significativos y que, en ambos casos, han sufrido modificaciones basadas en la experiencia.

1. *Áreas sectoriales.* Este tipo de área prioritaria fue incorporada al IV PN 2000-2003 con objeto de insertar en el PN algunas áreas de actividad que previamente había apoyado el MINER. La necesidad de incorporar estas áreas de forma diferenciada (básicamente por problemas de gestión que requerían un tratamiento unificado desde una actuación conjunta del MINER

ESQUEMA 10.7: Evolución de la estructura de los programas nacionales



denominada *PROFIT*)⁶ de las científico-tecnológicas, y con la máxima visibilidad hacia los sectores empresariales, no ayudó a incrementar la cooperación público-privada.

Durante la elaboración del PN 2004-2007 desaparece esta denominación de *área sectorial* puesto que su gestión fue similar a las demás para el sector empresarial y la existencia del MCYT aseguraba un tratamiento uniforme. El otro motivo estuvo asociado al uso de las acciones estratégicas que seguidamente se expone.

2. *Acciones estratégicas*. Esta estructura fue introducida con ocasión del IV PN 2000-2003 basada en la experiencia previa de los proyectos integrados que había incorporado el III PN. Su objetivo era fundamentalmente focalizar las actuaciones del PN en un conjunto de proyectos estrechamente coordinados entre sí en el que los resultados obtenidos en uno de ellos pudiera ser aprovechado en otro. Generalmente, se requería que estos proyectos pudieran utilizar elementos comunes dotados de una estructura de gestión ad hoc.

Para el nuevo PN de I + D + I 2004-2007 la creación de la acción estratégica suponía incrementar la transparencia en la adjudicación de las actuaciones de cada uno de los antiguos proyectos integrados, con un tratamiento mediante convocatorias similar a las de cualquier área y con una definición previa de los objetivos. La realidad es que los procedimientos de gestión empleados para las acciones estratégicas en las áreas sectoriales no siguieron estos principios y ha llevado finalmente a la desaparición como tales de las áreas sectoriales y a redefinir el concepto de acción estratégica.

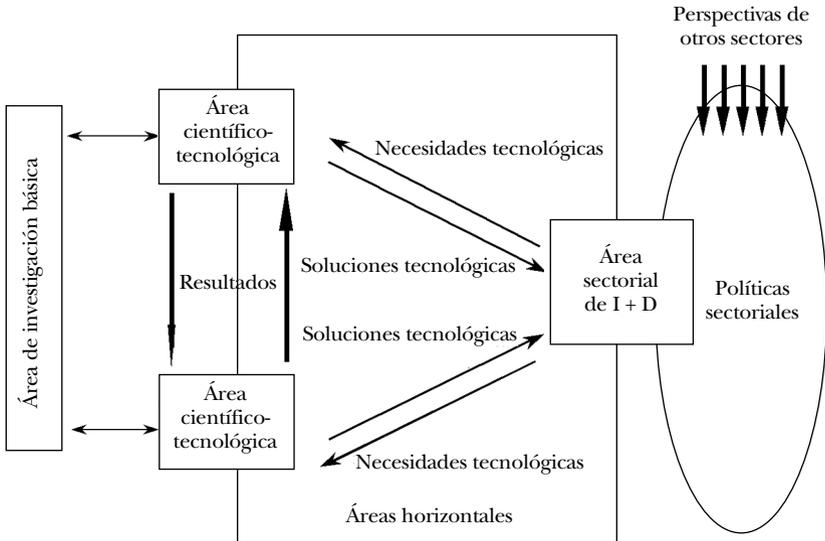
Internamente, los esquemas 10.8 y 10.9 resumen cómo se han representado las estructuras de los dos últimos planes nacionales a lo largo del tiempo.

El esquema 10.8 representa la estructura del PN de I + D + I 2000-2003. Es interesante referirse a la interacción ideada entre áreas científico-

⁶ Este tipo de actuación, heredera de ATYCA o PATI, se mantuvo después de la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología y, por tanto, habiendo desaparecido las razones que llevaron a su incorporación en el PN como un subconjunto independiente.

tecnológicas y áreas sectoriales de carácter más aplicado. Esta interacción no se ha llevado a cabo en la práctica.

ESQUEMA 10.8: Estructura del PN 2000-2003

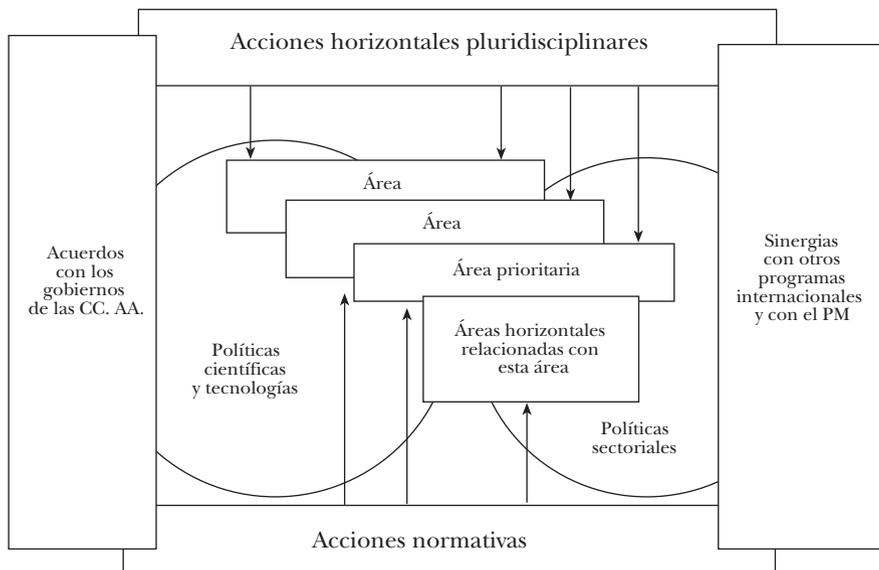


Otro elemento importante es el referido a las áreas horizontales que aparecen de forma explícita en este PN. Con ellas se ha querido dar cobertura a actuaciones priorizadas no ligadas a un ámbito temático prioritario concreto.

En el PN de I + D + I 2000-2003 se incluyeron como áreas horizontales las correspondientes a «Potenciación de los recursos humanos de I + D + I» (idea que ya estaba expresamente indicada en 1986 como «programa sectorial» en la Ley de la Ciencia), «Cooperación internacional» e Innovación tecnológica, transferencia y difusión de resultados de I + D». Esta última con el objetivo de facilitar los procesos de innovación en todas las áreas del PN.

La experiencia alcanzada con el PN 2000-2003 ha promovido la adopción de algunos cambios estructurales para el nuevo PN 2004-2007. Así, el esquema 10.9 refleja la estructura del nuevo PN de I + D + I 2004-2007. Se puede ver la eliminación de los dos tipos de áreas presentes en el PN 2000-2003 y la aparición de la interacción con las CC. AA. y con otros programas internacionales como elementos prioritarios. También se refleja de manera más directa la existencia de

ESQUEMA 10.9: Estructura global del v PN de I + D + I 2004-2007



áreas horizontales cuando su actividad es independiente del ámbito científico o tecnológico en el que se desarrollan.

En este PN de I + D + I 2004-2007 las áreas horizontales propuestas fueron continuación de las existentes en el anterior PN: «Potenciación de recursos humanos» y «Cooperación internacional», pero también se ha decidido la incorporación de nuevas áreas como «Equipamiento e Infraestructura científico-tecnológica», «Competitividad empresarial» y «Fomento de la cultura científica y tecnológica».

Desaparece el área horizontal de «innovación tecnológica y transferencia y difusión de resultados». La parte de innovación tecnológica al integrarse en todas las áreas y el resto de actuaciones al separarse la divulgación de la competitividad empresarial.

La necesidad de apuntalar la gestión de los recursos de estas áreas y poder dotarlas de presupuestos concretos, llevó también a la decisión de crear programas nacionales propios para la gestión de las mismas.

Existen otros muchos elementos estructurales que pueden compararse y que se han resumido en el cuadro 10.1.

CUADRO 10.1: Análisis comparativo de diferencias estructurales

Concepto	III PN I + D	IV PN I + D + I	V PN I + D + I
Estructura interna de los programas	Líneas prioritarias Proyectos integrados	Líneas prioritarias Acciones estratégicas	Líneas prioritarias Subprogramas nacionales Acciones estratégicas
Coordinación de la gestión	Distribución de responsabilidades por unidades de gestoras	Programas de trabajo Coordinador programa	Programas de trabajo Coordinador de programa Coordinador de área
Asignación de recursos	Interna, no visible	Interna, no visible Separación subvención de anticipos reembolsables	Visible Asignación por áreas y programas
Actualización temática	Nuevas líneas prioritarias Proyectos integrados	Sí Programas de trabajo anuales Acciones estratégicas	Sí Programas de trabajo anuales Acciones estratégicas
Investigación básica	PGC	PGC	Programas y subprogramas nacionales
Innovación	Actuaciones del CDTI	Sí en áreas sectoriales y en las actuaciones del CDTI	Sí en todas las áreas y en las actuaciones del CDTI
Grandes instalaciones	No	No	Dentro del programa nacional de infraestructuras
Relación CC. AA.	Acuerdos ad hoc	Convenios marco y convenios específicos	Protocolo general Convenios específicos
Relación internacional	Apoyo al PM con acciones especiales	Apoyo al PM con acciones especiales	Apertura de programas

10.3.3.3. Evolución temática de los programas nacionales

Desde el punto de vista temático, los planes nacionales han estado constituidos por un conjunto de programas nacionales siguiendo el mandato establecido en la Ley de la Ciencia. Estos programas han ido variando en función de la importancia relativa concedida a las diferentes áreas científicas y tecnológicas por los organismos gestores del PN, tras la aprobación por parte de la CICYT.

La identificación de programas nacionales supone, en realidad, una decisión relativa a la visibilidad que se desee dar a determinado conjunto de líneas prioritarias, temáticamente relacionadas. Desde el punto de vista de gestión, la visibilidad está ligada también a una asignación más sencilla de recursos económicos, un sistema de agregación o desagregación de responsabilidades ligado a las estructuras de gestión y, finalmente, la introducción o eliminación de temas por los propios avances científicos y tecnológicos. En muchos casos la cobertura del ámbito temático del PN por diferentes programas nacionales puede hacerse de diversas maneras sin que eso suponga que los temas no puedan ser apoyados.

Es interesante constatar (Muñoz, 2001) que, desde el punto de vista de las prioridades de I + D (sobre todo, en el aspecto científico), éstas han permanecido bastante estables hasta el IV PN, independientemente de los cambios y transformaciones políticas y estructurales acaecidos. Posteriormente, la inclusión de las actuaciones en I + D que llevaban a cabo otros departamentos ministeriales, fundamentalmente las de apoyo a la actividad de innovación empresarial, introdujo áreas prioritarias adicionales inexistentes en los planes iniciales.

Desde el punto de vista temático, tres han sido las variaciones acometidas en las áreas temáticas de los diferentes planes de I + D (O I + D + I):

1. Incorporación paulatina de algunos temas novedosos de carácter científico que resultan de la evolución de la agenda científica internacional. Así, se ha producido la incorporación de áreas como la *Proteómica*, *Nanotecnología* o *servicios en banda ancha* por citar algunos de los aspectos importantes en diferentes áreas.

Con este grupo de temas no se ha pretendido tomar la iniciativa en áreas de investigación novedosas por parte de los planes de I + D + I españoles sino que con ello se ha perseguido faci-

litar la incorporación de los grupos de investigación españoles a temas de indudable interés en los que se estaba produciendo una concentración de recursos humanos y materiales en otros países, facilitando la asignación de recursos y la coordinación de las actuaciones. Asimismo, se pretendía facilitar la participación en programas de I + D internacionales.

2. Incorporación de temas de carácter industrial a partir, fundamentalmente, de la integración en el IV PN 2000-2003 de las denominadas *áreas sectoriales*, cubiertas previamente por el Ministerio de Industria y Energía. Así, puede considerarse la Aeronáutica, la Automoción, o el Espacio, por citar algunos de ellos.

En muchos casos, asociado a la definición del correspondiente programa nacional se encontraba el establecimiento de un compromiso entre la AGE y el sector empresarial correspondiente para el incremento de las inversiones en I + D o una mejor cooperación entre el sector público y el privado, que justificase un esfuerzo colectivo mayor en áreas de interés estratégico. Debe recordarse que la incorporación de la mayor parte de estas áreas (algunas, como el espacio, ya existían previamente) se produce al mismo tiempo que la extensión del ámbito de actuación del PN para la inclusión de la innovación tecnológica.

3. Incorporación de algunos temas ligados a otras políticas públicas, con independencia de la posible existencia de un sector industrial que ejecute estas acciones. Entre ellas se puede citar el *turismo, seguridad, transportes o medio ambiente*, con las que se ha intentado involucrar directamente a otros departamentos ministeriales y a los sectores empresariales relacionados.

En estos casos, existía un problema añadido derivado de la falta de experiencia de la propia AGE y de los sectores implicados en iniciar actividades de I + D. Tampoco ayudaba mucho la presencia del sistema público, puesto que el número de grupos de investigación en estos temas radicados en universidades u OPI era también reducido.

La combinación simultánea de estos tres enfoques en la estructura del PN ha generado un incremento en el número de áreas consideradas, pero también en el de los potenciales ejecutores de las actividades en las mismas.

Es interesante reflexionar sobre la coexistencia de las áreas disciplinares y las relacionadas con sectores empresariales o de políticas propias de la Administración en un mismo PN. En una primera aproximación podría parecer suficiente un enfoque ligado a la existencia de áreas disciplinares cuyo desarrollo permitiría, en una etapa posterior, su uso en determinados sectores.

Concentrar la actividad de I + D en determinadas áreas al margen de su uso ha sido el enfoque seguido fundamentalmente en los primeros tres planes de I + D; es el caso, por ejemplo, del programa nacional de *materiales*. En todo caso, algunas medidas para abordar problemas complejos en determinados ámbitos podrían abordarse desde la idea de soluciones ad hoc. Un ejemplo fueron los *proyectos integrados* promovidos en el III PN.

No obstante, el desarrollo de sistemas complejos (inherentemente multidisciplinares y multitecnológicos) ya había forzado la inclusión en el PN de programas nacionales como el del Espacio (y no solamente la denominada *Ciencia espacial*, sino también plataformas o cargas útiles) aunque motivado por la necesidad de aprovechar los programas obligatorios (el denominado programa científico) ligado a nuestra pertenencia a la Agencia Europea del Espacio (ESA).

La fuerte modificación surgida con la elaboración del IV PN al introducirse las actuaciones que el extinto Ministerio de Industria y Energía llevaba a cabo desde un enfoque ligado al apoyo a sectores empresariales (aún denominados *industriales*) con independencia de las áreas científicas o las tecnologías necesarias para ello, obligó a una coexistencia mayor entre estos enfoques. Así, la Automoción, la Aeronáutica, o la Química se sumaban al espacio ya existente.

No fue ajeno a este proceso la discusión que en el seno de la UE se estaba produciendo a partir de las propuestas de la Comisión Europea para el V PM. También en este ámbito, el peso de las áreas de I + D sufrió modificaciones para adaptarse a prioridades que se consideraban ligadas a otras políticas comunitarias como transportes o medio ambiente.

El análisis comparativo de los programas nacionales incluidos en los diferentes planes nacionales suponen un ejemplo en esta línea. El cuadro 10.2 resume esta situación en la que se han comparado los tres últimos programas nacionales.

CUADRO 10.2: Análisis comparativo de programas nacionales

Programas	III PN I + D	IV PN I + D + I	V PN I + D + I	Comentarios
Sociedad de la Información	1. TIC 2. Aplicaciones y servicios telemáticos	1. TIC 2. Sociedad de la Información	1. Tecnología electrónica y Telecomunicaciones 2. Tecnologías informáticas 3. Tecnologías de servicios de la Sociedad de la Información	En todos los casos se ha incluido el apoyo a la Red Iris
Transportes		1. Aeronáutica 2. Automoción 3. Transportes y ordenación del territorio	1. Medios de transporte	Se incluyen subprogramas para los diferentes medios de transporte
Defensa	No	1. Defensa	1. Defensa 2. Seguridad	
Física y Matemáticas	1. Física de Altas Energías	1. Física de Altas Energías 2. Astronomía y Astrofísica	1. Física 2. Física de Altas energías 3. Astronomía y Astrofísica 4. Matemáticas	Se han introducido como programas nacionales áreas procedentes del PGC
Ciencias de la vida	1. Biotecnología 2. Salud	1. Biomedicina 2. Biotecnología 3. Sociosanitaria	1. Biomedicina 2. Biotecnología 3. Tecnologías para la salud y el bienestar 4. Biología celular	
Agroalimentación	1. Tecnologías de alimentos	1. Recursos y tecnologías agroalimentarias 2. Alimentación	1. Recursos y tecnologías agroalimentarias	

CUADRO 10.2 (cont.): Análisis comparativo de programas nacionales

Programas	III PN I + D	IV PN I + D + I	V PN I + D + I	Comentarios
Recursos naturales y medio ambiente	1. Ciencia y tecnología marina 2. Clima 3. Recursos hídricos 4. Antártida 5. Medio ambiente	1. Recursos naturales 2. Medio ambiente	1. Recursos naturales y tecnologías medioambientales 2. Biodiversidad y ciencias de la Tierra	Inclusión de subprogramas para tratar temas concretos manteniendo la interacción entre las diferentes áreas
Energía	No	1. Energía 2. Fusión termo-nuclear	Energía	
Diseño industrial	1. Materiales 2. Automatización industrial	1. Materiales 2. Diseño y producción industrial Procesos y productos químicos	1. Materiales 2. Diseño y producción industrial	
Servicios		1. Turismo, ocio y deportes 2. Construcción civil y Conservación del patrimonio histórico	1. Construcción	
Ciencias humanas y sociales	Socioeconomía	Socioeconomía	Ciencias sociales, económicas y jurídicas Humanidades	
Investigación básica no orientada	PGC	PGC	No	En sustitución del PGC se ha creado un conjunto de programas

Debe tenerse en cuenta que en el V PN de I + D + I 2004-2007, se ha introducido la idea de *subprograma nacional*, manteniéndose, asimismo, la de *acción estratégica* por lo que algunas áreas que no

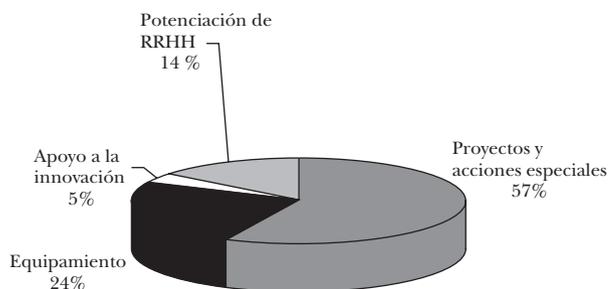
aparecen expresamente pueden haberse incorporado como subprogramas nacionales o pasado a constituir simplemente una acción estratégica. Un ejemplo del primer caso es el subprograma de *Automoción* en el programa de medios de transporte, y del segundo la acción estratégica de *Turismo*.

La priorización no es, únicamente, un problema de identificación de áreas prioritarias sino de la asignación de recursos a cada una de ellas. Desde el punto de vista de la asignación de recursos a estas áreas, el gráfico 10.1 resume la situación en el PN de I + D + I 2000-2003.

Los datos presentados únicamente se refieren a los tres primeros años a partir de la documentación recogida en las diferentes memorias del PN (CICYT, 2003a). En el gráfico 10.1 se representa la distribución global por tipo de actuación en el caso de subvenciones (capítulo 7) mientras que en el gráfico 10.2 se representa esta misma distribución en el caso de anticipos reembolsables.

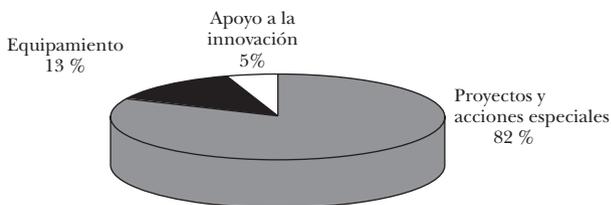
Con casi 300 millones de euros, son las áreas relacionadas con las ciencias de la vida (Biomedicina, Biotecnología, Tecnologías de la salud) las que han tenido una mayor importancia en la distribución de las subvenciones. Si se considera el conjunto de subvenciones y de anticipos reembolsables es, sin embargo, el área de las tecnologías de la información y las comunicaciones las que han tenido una importancia mayor con 200 millones de subvención y más de 800 millones millones de anticipos reembolsables.

GRÁFICO 10.1: Plan Nacional de I + D + I (2000-2003). Distribución porcentual de las subvenciones aprobadas por modalidades de participación



Fuente: Unidades gestoras de las actividades del PN 2000-2003. Datos de las actuaciones aprobadas en 2000, 2001 y 2002.

GRÁFICO 10.2: Plan Nacional de I + D + I (2000-2003). Distribución porcentual de los anticipos aprobados por modalidades de participación



Fuente: Unidades gestoras de las actividades del PN 2000-2003. Datos de las actuaciones aprobadas en 2000, 2001 y 2002.

En la interpretación de los recursos concedidos a cada área hay que tener presente que algunas disponen de financiación adicional. Así, el Espacio se financia también por la contribución de España a la Agencia Europea del Espacio, y áreas con financiaciones aparentemente muy reducidas como son la de Astronomía y Astrofísica o Física de Altas Energías deben contabilizar el esfuerzo en la construcción del Gran Telescopio en Canarias o la cuota de participación en el CERN, respectivamente. El gráfico 10.3 resume la distribución porcentual tanto de las subvenciones como de los anticipos aprobados en proyectos y acciones especiales para el periodo 2000-2003 según las áreas prioritarias identificadas en el PN 2004-2007.

10.4. Lecciones aprendidas de la ejecución de los planes nacionales

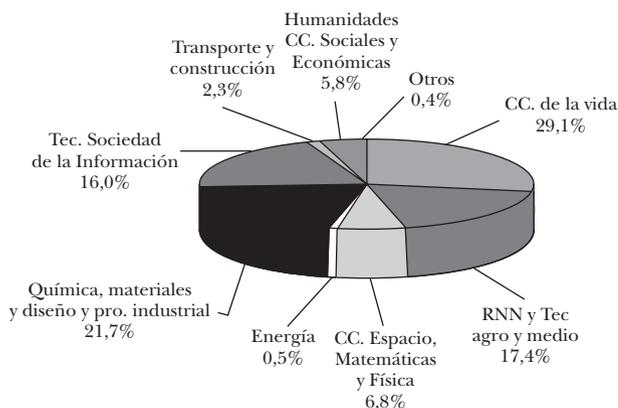
Para valorar la efectividad de los planes de I + D y posteriormente de I + D + I no podemos olvidar las restricciones habidas en los procesos de ejecución de los mismos que, en algunos casos, no han permitido cumplir las expectativas creadas. De la puesta en marcha de los diferentes planes se pueden extraer las siguientes lecciones:

1. *La elaboración de indicadores y el compromiso político*

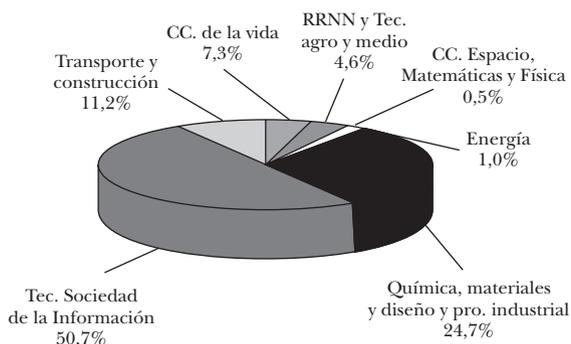
Los dos primeros planes no incluyeron un conjunto de indicadores que sirvieran de base para el seguimiento y que complementaran los compromisos políticos asociados a su ejecución.

GRÁFICO 10.3: Distribución porcentual de los recursos aprobados en proyectos y acciones especiales del PN 2000-2003, según áreas prioritarias identificadas en el PN 2004-2007

Subvenciones



Anticipos reembolsables



El III PN se decantó por la existencia de tres escenarios en los que los valores de los indicadores seleccionados se movían desde un escenario optimista a otro pesimista (que ni siquiera se llegó a alcanzar). Finalmente, los dos últimos iban acompañados de un único conjunto de indicadores y de un abanico mayor de estos últimos, incrementándose su número como re-

flejo de una voluntad política en dotar a su proceso de elaboración de la mayor credibilidad posible.

La experiencia ha demostrado la dificultad que presenta por sí solo el Plan Nacional para modificar el Sistema de C-T-E (al que algunos de los indicadores se refieren directamente), pero también la incapacidad del PN para reaccionar ante las dificultades existentes en el cumplimiento de algunos de los objetivos. No obstante, la existencia de indicadores generales del Sistema de C-T-E sigue siendo conveniente si se adopta una visión general en la que el PN va acompañado de otros tipos de medidas decididas en el mismo proceso de elaboración.

2. *La focalización de las actuaciones*

La dualidad de objetivos del PN de identificar algunas áreas temáticas en las que el esfuerzo debe ser mayor (áreas prioritarias) y la necesidad de servir de base a la distribución de recursos de forma competitiva a todas las comunidades científicas en el apoyo a la investigación básica, han hecho muy difícil que la pretendida focalización del PN se llevase a cabo de forma efectiva. Este problema también ha surgido internacionalmente (Laredo y Mustar, 2001) (EC, 2002).

En mi opinión, tampoco se ha pretendido que el PN hiciese ese papel porque se es consciente de que, tanto en el sector académico como en el empresarial, se adoptaba al mismo tiempo la visión de que era prioritario aquello que lo era para los agentes ejecutores. El filtro era simplemente, un filtro de calidad para el campo académico, a ser posible contrastado internacionalmente, y de oportunidad para el empresarial, basado en la capacidad de innovar en el mercado. La experiencia ha demostrado que, a la hora de ejecutar los programas, se tiende a adoptar un planteamiento flexible para dar cabida a multitud de actuaciones.

3. *La interacción entre el sistema público y el privado*

La necesidad de apoyar la máxima interacción entre el sistema público de investigación y las empresas como mecanismo para que el primero se oriente progresivamente hacia las necesidades empresariales, y que éstas sean capaces de incrementar su actividad de investigación con el apoyo del sistema público, ha tenido diversos énfasis a lo largo del tiempo.

Esta dualidad se ha mantenido con fórmulas que han variado poco a poco pero que, en esencia, mantienen la idea de los *planes coordinados y concertados* de la época de la CAICYT. La creación del MCYT tampoco ha resuelto totalmente este problema, puesto que la gestión de las actuaciones se ha mantenido de manera independiente entre las unidades de gestión ligadas al sistema público (procedentes de Educación) de las orientadas a las empresas, para acomodarse al diferente marco regulatorio existente.

4. *La financiación plurianual*

La existencia de un PN con indicadores precisos ligados a compromisos plurianuales no ha evitado la discusión anual de los recursos para I + D en los Presupuestos Generales del Estado (Función 54). La estructura de la Ley Presupuestaria en la que esta discusión se realiza separadamente para cada uno de los departamentos ministeriales no facilita una discusión global como la que parece que sería adecuada a un Plan Nacional. En todo caso, la presentación global se realiza a posteriori pero no como producto de una discusión global⁷.

La consecuencia es dejar a los responsables de los diferentes departamentos ministeriales la responsabilidad de decidir internamente la aplicación de los incrementos anuales a las diferentes partidas (relacionadas directamente con el PN o no).

5. *La coordinación interministerial*

Si el PN debe ser el instrumento básico de coordinación de las actividades que se llevan a cabo por la AGE y la CICYT asume esta función de manera directa, parece que conseguir la máxima coordinación debe ser un valor interno del PN con repercusiones también hacia los agentes ejecutores.

La experiencia ha demostrado la dificultad de encajar este ejercicio de coordinación con la existencia de competencias concretas para cada uno de los departamentos ministeriales. La desaparición de la OCYT ha impedido consolidar una coordinación más estrecha. Se ha aceptado implícitamente un me-

⁷ Únicamente se hizo algo parecido en el año 1999 cuando los incrementos presupuestarios para cada uno de los programas se distribuyeron y presentaron a la CICYT por la OCYT antes de cerrar las negociaciones de los departamentos ministeriales.

canismo de coordinación voluntaria (similar al ensayado por la UE como fórmula de *coordinación abierta*) pero no impuesta durante la ejecución del PN.

El papel de los Organismos Públicos de Investigación en relación con el PN no está totalmente resuelto. Se ha aceptado que el acceso de los OPI a los recursos del PN en las convocatorias en concurrencia competitiva supone un aliciente para incrementar su competitividad y obtener así financiación complementaria. Esta tendencia es compartida con otros centros de investigación europeos (PREST, 2002). El PN de I + D + I 2004-2007 se ha acompañado de los planes estratégicos de los OPI, admitiendo la autonomía de estos centros en la identificación de sus líneas prioritarias dentro de las que establece el PN.

El conocimiento de los problemas indicados en las áreas de ejecución del PN indicadas no implica que se hayan resuelto. Su resolución debe conseguirse día a día en un esfuerzo en el que los órganos responsables del mismo deben cooperar junto a los ejecutores de las acciones.

10.5. Una mirada a la próxima década

Ningún Sistema de C-T-E es estable. No pueden serlo porque suponen la respuesta social en el que los agentes del sistema deben realizar su actividad, de un sistema parcialmente autoorganizado en búsqueda de la mayor eficiencia posible, dentro de unas condiciones establecidas por el marco legal, las disponibilidades presupuestarias y la competencia externa. Esta evolución dinámica ha podido constatarse en las páginas precedentes.

En mi opinión, los próximos años van a cambiar sustancialmente el contexto en el que se han venido desarrollando los planes nacionales hasta el momento. Tres tendencias parecen especialmente importantes por las consecuencias que pueden tener sobre su estructura y financiación:

1. La evolución del Espacio Europeo de Investigación e Innovación y la posible creación del Consejo Europeo de Investigación.

2. La consolidación de los planes de I + D de las Comunidades Autónomas y los incrementos presupuestarios de los mismos.
3. El replanteamiento de la financiación de la investigación con una posible reducción de los recursos procedente de los fondos estructurales, la existencia de una investigación extramural de los OPI (financiación a terceros agentes) y las consecuencias del Consejo Europeo de Investigación.

Seguidamente se analiza brevemente la influencia de estos tres aspectos en el futuro de los planes nacionales de I + D + I.

10.5.1. El desarrollo del Espacio Europeo de Investigación

La necesidad de que los países de la UE (aisladamente o considerando la UE en su conjunto) deben competir frente a otros bloques económicos internacionales es un hecho ampliamente aceptado. También lo es que esta competencia se va a producir de manera creciente en el *mercado del conocimiento* y no tanto en el de bienes, como ha sido habitual en las últimas décadas (COTEC, 2002). Como consecuencia, los sistemas nacionales de C-T-E se ven cada vez más afectados por las consecuencias de la globalización y las políticas públicas de I + D + I deben responder a este reto teniendo presente que ya no es posible actuar de manera autárquica.

El reconocimiento de la importancia del desafío en ciernes llevó a la Comisión Europea a plantear unas nuevas bases de actuación que no sólo afectasen a las decisiones relativas al presupuesto comunitario, por ejemplo, en relación con el Programa Marco, sino que impulsasen un cambio de prioridades y actitudes en los Estados miembros. Debe tenerse en cuenta que la política comunitaria de I + D sólo dispone del 4,1% del presupuesto de la UE, y que en el conjunto de los recursos dedicados por todos los Estados miembros a financiar la I + D, ese volumen de recursos se corresponde aproximadamente con el 5% (COM, 2003). Era necesario, por tanto, implicar a dichos Estados en un cambio de dirección si se quería que fuera efectivo.

La propuesta de la Comisión Europea con la creación del Espacio Europeo de Investigación (EEI) (COM, 2000) pretendía corregir determinados puntos débiles o deficiencias estructurales de la UE, ya identificados desde la década de los noventa. Posteriormente,

se ha intentado promover un plan de acción con el objetivo de facilitar el esfuerzo colectivo hacia el 3% de gasto en I + D con respecto al PIB en 2010 (COM, 2003) acordado en el Consejo Europeo de Barcelona en el año 2002.

Posiblemente, todo se desarrolle de una manera más lenta que las previsiones de la Comisión Europea, pero la decisión de poner en marcha el Espacio Europeo de Investigación es irrenunciable.

El instrumento básico que posee la Comisión Europea para llevar a cabo sus políticas de I + D (no tanto de innovación) es el Programa Marco. Concretamente, el VI PM, correspondiente al periodo 2002-2006 (EC, 2002), refleja los intereses básicos del EEI; dado su carácter de instrumento fundamental para llevarlo a cabo. El VI PM, además de contribuir, de conformidad con el Tratado, a fortalecer la base científica y tecnológica de la industria europea para incrementar su competitividad internacional y servir de apoyo al resto de políticas comunitarias, persigue un nuevo objetivo: facilitar la integración y coordinación de las actividades de I + D a nivel nacional y de la Unión.

No es tan evidente, sin embargo, la forma en la que el VI PM puede apoyar a la investigación básica. De hecho, el reconocimiento de esta dificultad ha llevado a proponer la posible creación del denominado Consejo Europeo de Investigación (European Research Council, ERC) por parte de múltiples entidades de investigación de los Estados miembros de la UE.

Es prematuro conocer la evolución del *European Research Council* (ERC) en los próximos años. Su éxito dependerá de la voluntad de un número considerable de países y de los compromisos financieros que se asuman (Gutiérrez y Puerta, 2002). En este sentido, será necesario conciliar la posición de quienes mantienen que sus recursos deben proceder del presupuesto comunitario (si no es del PM, implicará discusiones sobre la política agrícola o la estructural) o de los Estados miembros. En todo caso, el PN deberá prestar atención al proyecto de establecer una agencia independiente financiadora de la investigación básica, por sus posibles implicaciones en el PN. Creemos que España deberá estar presente desde el principio en un potencial ERC, aportando, si fuese necesario, recursos procedentes del PN de forma progresiva y controlada.

10.5.2. Los planes de I + D de las Comunidades Autónomas

Aun cuando las competencias en investigación y desarrollo corresponden a la Administración General del Estado (AGE), éstas no son excluyentes con las de las Comunidades Autónomas quienes, apoyándose en las competencias establecidas en sus respectivos Estatutos de Autonomía, han apoyado el desarrollo de su propio Sistema regional de C-T-E como base de su desarrollo socioeconómico.

Este proceso continúa actualmente con la reciente promulgación de leyes de Ciencia y Tecnología en diversas Comunidades Autónomas, la consiguiente creación de órganos regionales de planificación y decisión en este ámbito, y la aprobación de planes regionales de I + D e innovación con diferentes denominaciones. Este esfuerzo legislativo y normativo se ha visto acompañado por la asignación de recursos económicos crecientes. Actualmente, el conjunto de las Comunidades Autónomas asigna alrededor de un 40% de los recursos que la AGE destina a las actividades de I + D + I (téngase en cuenta la transferencia de las universidades a las Comunidades Autónomas).

Aunque la intervención de las Comunidades Autónomas se realiza en todos los ámbitos de las actividades de I + D + I, en la última década han adquirido especial importancia sus actuaciones de fomento de la innovación tecnológica. Con un tejido industrial mayoritariamente constituido por pequeñas y medianas empresas (pymes), las Administraciones regionales desempeñan un papel relevante para posibilitar un correcto desarrollo de la región en términos de empleo y desarrollo económico, por su contacto directo con las pymes, lo que constituye uno de los elementos fundamentales de cooperación y coordinación de actuaciones con la AGE (AGE-CC. AA., 2003).

En este orden de cosas, la función vertebradora del PN de I + D + I va a adquirir una dimensión mayor (León, 2003) si el esfuerzo inversor de las Comunidades Autónomas y su implicación en la innovación tecnológica continúa incrementándose. Los acuerdos con las Comunidades Autónomas y la necesidad de cofinanciar actuaciones es una oportunidad de vertebración del PN que debe aprovechar.

10.5.3. La financiación del PN

Como consecuencia de la incorporación en el PN de las actuaciones inicialmente presentes en otros programas, el Fondo Nacional ha

perdido el carácter de recurso fundamental para financiar el PN, como fue concebido en su momento. En estos momentos, es la partida que dentro del MICYT nutre la financiación de proyectos de I + D para el sector público y comparte con otras partidas superiores desde el punto de vista económico otras áreas de actuación del PN (para recursos humanos, antiguo programa sectorial o para las empresas). Igualmente, los recursos presupuestarios disponibles en otros departamentos ministeriales tenderán a crecer en la medida en la que éstos entiendan la actuación en innovación (o directamente en I + D) como un apoyo necesario para la puesta en marcha de sus propias políticas.

Si el Consejo Europeo de Investigación se pone en marcha o, simplemente, si las actuaciones coordinadas con otros países (como parte del Programa Marco o con acuerdos multilaterales) se potencian, será cada vez más normal condicionar fondos nacionales a este tipo de actuaciones, aceptando procesos no exclusivos de toma de decisiones. Es previsible que partidas presupuestarias de programa de investigación básica se gestionen de forma unificada con otros países, con o sin transferencia de fondos.

10.6. Conclusiones

Los hechos históricos relacionados con la evolución de los planes de I + D (o de I + D + I) en España pueden describirse de muchas maneras diferentes en función de los objetivos de esta relación. Se puede adoptar la posición rupturista de que todo se renueva profundamente con la llegada de nuevos decisores políticos (aunque los hechos lo desmientan), hasta la postura de que, por detrás de todo ello, las comunidades científicas y tecnológicas perpetúan sus comportamientos y necesidades que, tras cambios de ropaje, se mantienen inmutables (lo que tampoco se ajusta a la realidad).

Desde mi punto de vista, la secuencia de planes de I + D + I aprobados en España desde 1986 hasta la actualidad debe interpretarse como un proceso continuo de adaptaciones en las que no ha existido una voluntad política de *romper* con el pasado, sino de aprovechar, mejorar, adaptar y fortalecer el Sistema de C-T-E en el marco establecido de la Ley de la Ciencia. Mi experiencia personal me inclina a considerar los cambios de mentalidad mucho más lentos que los legislativos y no siempre provocados por éstos.

Es interesante constatar que todos aquellos decisores políticos que han participado en los sucesivos procesos de elaboración de los planes de I + D + I han mantenido la Ley de la Ciencia como referente básico para la implantación de las políticas de I + D, pero su relectura ha sido muy diferente en función de las posibilidades reales de actuación (políticas, estructurales y presupuestarias) que ofrecía cada momento. Así, el peso real del proceso de coordinación de la CICYT, ha fluctuado dentro del mismo marco legal como consecuencia de los cambios en los departamentos ministeriales con mayores recursos para I + D.

Debe reconocerse también que, tras la entrada de España en la Unión Europea, históricamente coincidente con la Ley de la Ciencia, los planes han tenido que ir perdiendo su concepción desde una visión introspectiva de nuestro Sistema de C-T-E para adaptarse a una realidad en la que nuestro poder de decisión iba voluntariamente limitándose, embarcados solidariamente en la construcción de un espacio común de investigación en la UE.

Caminamos hacia una época en la que los *planes nacionales* deberán estar cada vez más abiertos a la cooperación con otros y a la pérdida relativa de poder de decisión que ello conlleva, es también la clave para conseguir una mayor capacidad científica y tecnológica.

Bibliografía

- AGE-CC. AA. (2003): *Cooperación y colaboración entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas en el marco del Plan Nacional de I + D + I (2004-2007)*, Consejo General de la Ciencia y la Tecnología, julio 2003.
- BIANCHI, P. (1998): *Industrial policies and economic integration. Learning from European experiences*, Londres, Routledge.
- BOE [Boletín Oficial del Estado] (1986): *Ley 13/1986 para el Fomento y Coordinación General de la Investigación Científica y Técnica (Ley de la Ciencia)*.
- CARACOSTAS, P. y U. MULBUR (1998): *Society: the Endless Frontier. A European Vision of Research and Innovation Policies for the 21st century*, EUR 17655.
- CICYT (1997): *Estrategia de I + D en el marco de la CICYT*, Pleno de la CICYT, diciembre.
- (1999): *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (2000-2003)*, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, noviembre.
- (2003a): *Memoria del PN de I + D + I 2000-2003, Año 2001*, mayo.
- (2003b): *Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007*, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología, julio.

- COM (2000): *Towards a European Research Area. European Communities 2000*, enero.
- (2001): *346 final. The International Dimension of the European Research Area*, junio.
- (2002): *Más investigación para Europa. Objetivo 3% del PIB. COM (2002): 499 Final*, septiembre.
- (2003): *Third European Report on Science and Technology Indicators 2003. Towards a knowledge-based economy*, EUR 20025.
- COTEC (1998): *Libro Blanco de la innovación en España*, Madrid, Fundación COTEC.
- (2002): *Las políticas de fomento de la innovación de la Unión Europea. Evolución y tendencias de las políticas comunitarias de innovación y su impacto en España*, Academia Europea de Ciencias y Artes.
- (2003): *Informe COTEC 2003. Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica*, Madrid.
- CSRT (2003): *The European Research and Innovation Area. The way forward*, Ministry of Development, General Secretariat for Research and Technology, mayo.
- EC (2002): *2003. Decisión núm. 1513/2002/EC concerning the Sixth Framework Programme of the EC for Research, Technological Development and Demonstration activities, contributing to the creation of the European Research Area and to Innovation (2002-2006). Official Journal of the European Communities*, agosto.
- GUTIÉRREZ, J. A y J. L. PUERTA (2002): *Reflexiones sobre la Ciencia en España. El caso particular de la Biomedicina*, Fundación Lilly.
- LAREDO, P. y P. MUSTAR (2001): *Research and Innovation Policies in the new Global Economy. An international Comparative analysis. New horizons in the economics of innovation*, Ed. Edward Elgar.
- LEÓN, G. (2001): «The prioritisation process in Science and Technology: lessons learned in the definition of the Spanish National R&D Plan», *1ª MUSCIPOLI workshop*, septiembre.
- et al.* (2002): «Public and private investments in R&D», *Benchmarking of national policies*, Final Report, European Commission.
- (2003): «El papel del Plan Nacional de I + D + I 2004-2007 en la vertebración del Sistema español de Ciencia-Tecnología-Empresa», *Arbor*, octubre.
- MUÑOZ, E. (2001): «The Spanish system of Research» (capítulo 11), *Research in innovation policies in the new global economy. An international comparative analysis*, P. Laredo y P. Mustar (eds.), Edwards Elgar Publishing.
- OCDE (2001): *Science Technology and Industry Scoreboard. Towards a knowledge-based economy*, OCDE.
- PREST (2002): *A comparative analysis of public, semi-public and recently privatised research centres*, CBSTII contract ERBHPV2-CT-200-01, julio.
- SANZ, L. (1997): *Estado, ciencia y tecnología en España: 1939-1997*, Madrid, Alianza Editorial.

11. El diseño de los Programas Marco europeos

Rafael Rodríguez-Clemente
Profesor de Investigación del csic

11.1. Introducción

La Unión Europea es un fenómeno mal comprendido por los ciudadanos de los países que la forman e, incluso, por parte de sus élites. Esta situación es fácil de entender si consideramos la rareza del fenómeno: unión voluntaria de Estados para cooperar en el ejercicio de la soberanía, frente al tradicional uso de la fuerza en las relaciones entre los mismos; creación ex novo de una legislación y una Administración compleja, legitimada por instancias de concertación intergubernamental o, recientemente, por el Parlamento Europeo. Instancias que el ciudadano percibe como lejanas a sus intereses inmediatos. Hay que decir, no obstante, que las estructuras europeas son el resultado de un brillante ejercicio intelectual de búsqueda de impulsos posibles y equilibrios necesarios, realizado por expertos procedentes de todos los países miembros que, por la propia heterogeneidad del ambiente en que tienen que trabajar, son sensibles a las especificidades culturales ajenas. Estos hechos contrastan con la lenta destilación histórica de pactos, leyes y procedimientos de las Administraciones estatales tradicionales.

La estructura de la UE está basada en tres pilares: las Comunidades Europeas, la política extranjera y de seguridad común, y la cooperación policial y judicial en materia penal. Cada uno de estos tres pilares funciona según procedimientos diferentes: el primer pilar, comunitario, es el ámbito de competencia de la Comisión Europea, la cual tiene el poder de iniciativa legislativa ante el Consejo y el Parlamento, que son los órganos legislativos, y después asume la res-

ponsabilidad de ejecutar las decisiones aprobadas. La Comisión es la *guardiana de los tratados* y como tal tiene el deber de garantizar la disciplina de sus previsiones y el respeto a las leyes comunes europeas. Aunque la supremacía de la legislación comunitaria sobre la nacional sugiere supranacionalidad, el funcionamiento de la maquinaria está alimentado por elementos de intereses nacionales, es un funcionamiento transnacional y en ese sentido los programas europeos no dejan de ser programas nacionales compartidos. Los dos otros pilares son del dominio del procedimiento de concertación intergubernamental, es decir, dependen de la capacidad de decisión del Consejo Europeo, formado por representantes de los Gobiernos. En resumen: la UE es una estructura creada *por arriba*, con el consiguiente déficit de legitimidad democrática, pero pensada para gestionar difíciles equilibrios de intereses nacionales, sociales y corporativos, impulsar el sueño de una Europa unida que destierre las guerras entre sus pueblos, por lo menos durante algunas generaciones, y promover una acción común de progreso económico y social.

11.2. La política de investigación de la UE

11.2.1. Fundamentos

La política de investigación de la UE cae dentro del dominio del primer pilar y viene fijada y regulada por el Título XVIII, Investigación y Desarrollo Tecnológico, del Tratado de la Comunidad Europea, artículos 163-173. En esencia esta política apunta al refuerzo de la competitividad de la industria europea, el estudio de problemas comunes al conjunto de la Unión y al apoyo científico a las otras políticas europeas, por ejemplo, crear tecnologías acordes con el desarrollo sostenible o garantizar la trazabilidad de alimentos. Es una competencia compartida entre los Estados miembros y la UE, por lo que se debe aplicar el principio de subsidiariedad, que hace que la Unión sólo se ocupe de aquellos temas que exceden las capacidades de los Estados o requieren el esfuerzo conjunto de los mismos ante la extensión o universalidad del problema que se quiere atacar. Por ello, esta política se ejecuta mediante la cooperación y coordinación entre la Comisión Europea y los Estados miembros a través de los Programas Marco (PM), que son el instrumento de política científi-

ca y desarrollo tecnológico de la Comisión Europea. La *cooperación* se manifiesta en la elaboración de los PM por parte de la Comisión con asistencia de *comités* representativos de los Estados. La *coordinación* de políticas ha sido una cuestión pendiente hasta el VI PM, en que se creó el instrumento ERA-Net, para cofinanciar la coordinación de políticas de investigación propias de los Estados o regiones europeas, y se puso en marcha la aplicación del artículo 169 del Tratado, que posibilita la financiación a cargo del Programa Marco de programas de I + D emprendidos a iniciativa de varios Estados miembros, y no necesariamente de la Comisión, en aplicación de la posibilidad de cooperaciones reforzadas establecida en el Tratado de Amsterdam.

11.2.2. Intereses en juego

La política de investigación y desarrollo tecnológico tiene la peculiaridad de ser aquella en la que la Comisión Europea gestiona más fondos directamente desde Bruselas a través de las Direcciones Generales de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Sociedad de la Información y Centro Común de Investigación, y en menor medida Transportes y Energía, Agricultura y Pesca y Empresa. Existen en Bruselas numerosas oficinas de intereses científicos de la mayor parte de Estados miembros, e incluso de los asociados o en periodo de accesoión, y de grandes empresas y grupos económicos o sociales. Esta estructura de *lobbies* es debida en parte al interés de los agentes científicos, industriales o sociales por conocer los contenidos y procedimientos de los Programas Marco cara a apoyar su participación en las convocatorias de implementación del mismo. Pero el interés principal se halla en otro sitio: influir sobre los contenidos de dichos programas. Como se ha dicho más arriba, la política de I + D europea se centra en el intento de resolución de problemas comunes europeos, los cuales están en el origen de numerosos procesos legislativos conducentes a la creación de Directivas o Leyes europeas de obligada transposición y cumplimiento por parte de los Estados, en suma: la regulación, que es percibida por todos los agentes económicos y sociales como el producto más importante de la actividad de las instituciones europeas (Van Schendelen, 1994). Esto ocasiona que haya un alto grado de competencia política y comercial alrededor de todos los elementos que influyen sobre los procesos de elaboración de directivas, sean programas europeos, miembros de

las Representaciones Diplomáticas Permanentes de los Estados miembros, miembros del Parlamento Europeo o funcionarios de la Comisión. La acción de los grupos de interés o *lobbies* es conocida por las Instituciones Europeas, que aceptan la defensa argumentada de los intereses legítimos en forma de informes, a veces realizados por prestigiosas universidades, presentaciones, comidas, etc. Los informes de los grupos de interés se incorporan a la base documental sobre la que se elaboran posiciones o iniciativas legislativas, incluido el Programa Marco de Investigación. Identificar un problema y proponer un procedimiento de solución puede significar ocupar una posición privilegiada en el futuro para un grupo industrial o, incluso, una Universidad o Instituto de Investigación.

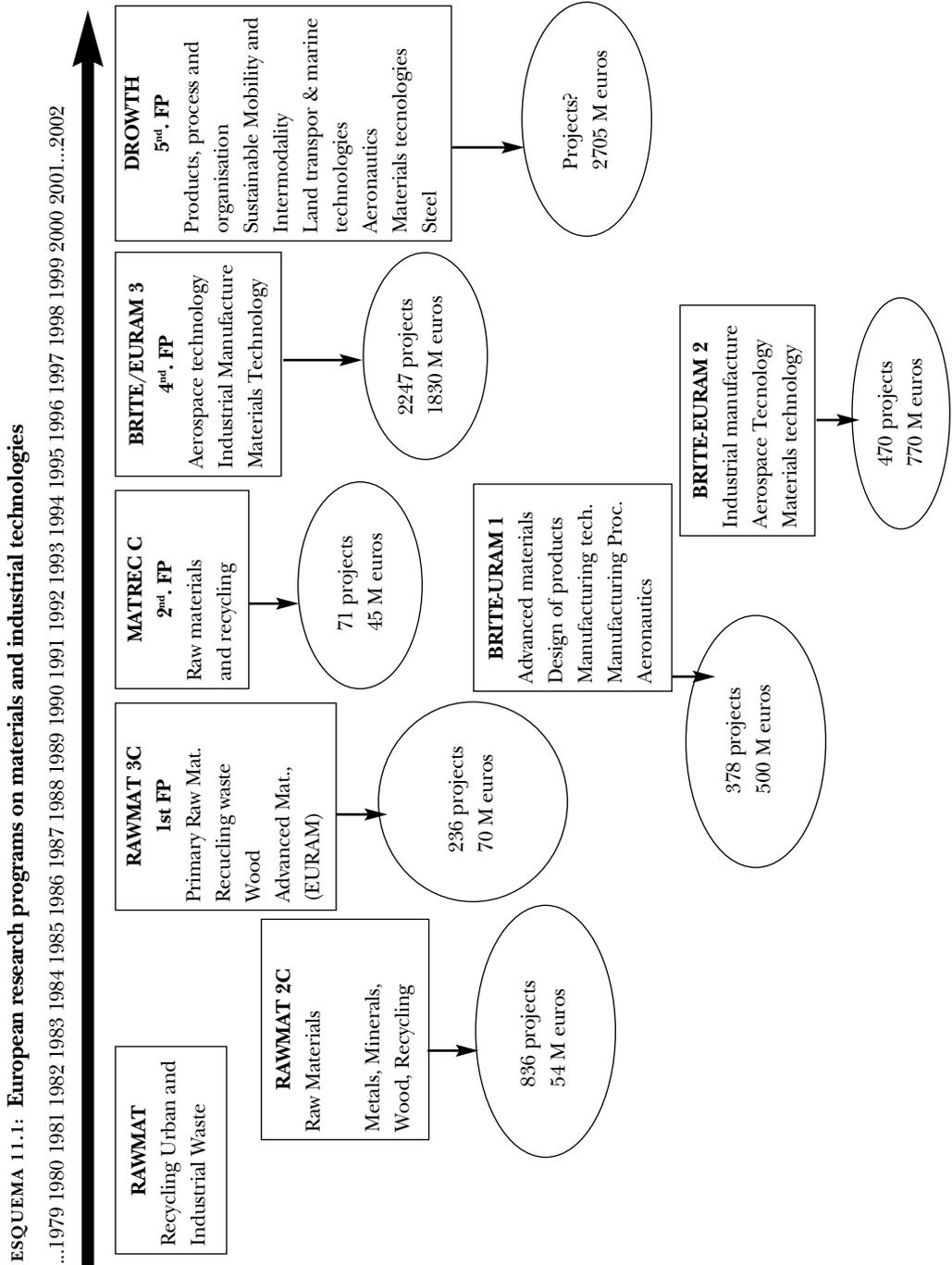
11.2.3. La cultura de los Programas Marco de Investigación

Hay que destacar varias características del Programa Marco que han ido apareciendo a lo largo de las discusiones, debates y valoraciones de los cinco PM planteados hasta ahora:

- Su búsqueda de coherencia con el resto de políticas comunitarias. Lo que implica que los temas de estudio elegidos y los procedimientos de ejecución del PM incluyan consideraciones de respeto y atención a otras políticas como la de cohesión entre los Estados miembros, igualdad de géneros, desarrollo sostenible, principios éticos comunes y otras.
- Su inercia en conservar ciertos temas como propios a la investigación comunitaria, y el carácter evolutivo de la demanda de investigación dentro de las líneas progresivamente asumidas, que son producto de la demanda de conocimiento de las instituciones europeas ante los desafíos a que se enfrenta la sociedad europea en su conjunto, y que van desde entender el cambio climático y desarrollar instrumentos para su medición, a prever los efectos del multiculturalismo creciente de las sociedades europeas. Sirva de ejemplo el esquema 11.1. (Rodríguez-Clemente, Gómez-Morales y Domingo, 2002: 17-25) que muestra la evolución de los programas que han cubierto históricamente las áreas de materiales, naturales o sintéticos, donde se observa la evolución desde los primeros Programas

RAWMAT dedicados a las materias primas minerales y al tratamiento de residuos sólidos urbanos e industriales, a los objetivos contemporáneos centrados en los materiales biológicos o los nanomateriales.

- La elaboración de formularios y procedimientos para presentar proyectos que permitan realizar evaluaciones independientes y transparentes, que garanticen la igualdad de oportunidades de todos los proponentes de proyectos y que permitan realizar un seguimiento de los mismos una vez aprobados. Bien es verdad que el respeto a estos objetivos, deseables sin duda, y a los otros principios que enmarcan las políticas comunitarias, hace que la elaboración de proyectos sea cada vez más compleja y requiera grupos de investigación grandes, donde se puedan desarrollar especializaciones en participación europea, o, en su defecto, *especialistas* de apoyo técnico y de gestión a los equipos de científicos y tecnólogos.
- Capítulo aparte merece la búsqueda incesante de la Comisión Europea de seguridad jurídica, para sí misma y para los participantes en los proyectos comunitarios, especialmente en los temas de propiedad intelectual, traducida en la elaboración de contratos cada vez más seguros pero más complejos.
- La importancia del liderazgo. Dirigir un proyecto europeo, además de ser una excelente escuela de negocios, es un escaparate donde la Comisión identifica a personas líderes en los temas que aborda el proyecto. Esto tiene consecuencias posteriores porque dichas personas luego son llamadas a opinar en los grupos de expertos que asesoran a la Comisión, Parlamento y Consejo en los procesos de elaboración de los Programas Marco y otras iniciativas comunitarias. Sin embargo, son raras las instituciones españolas que apoyan con medios o facilidades a sus coordinadores de proyectos.
- Las expectativas y los resultados de la acción del PM. La comunidad científica, especialmente en los países del sur, tiende a percibir los PM como una fuente de financiación apetecible por las cuantías que maneja, pero engorrosa por la pesadez de las solicitudes y gestión, y la baja probabilidad de éxito.



Por otro lado, el fin de los proyectos no es solamente la creación de conocimiento, sino mejorar la competitividad industrial, por lo que la publicación de resultados está mediatizada por la protección y explotación del conocimiento. Hay pues claros y oscuros en la decisión de participar en un proyecto europeo. Lo que a veces no se señala con suficiente insistencia son los beneficios organizativos y estructurales que obtienen los participantes en el PM y que, en mi opinión, son tan importantes como los económicos:

- creación de redes de contactos a nivel europeo;
- conocimiento de primera mano del estado del arte de las necesidades industriales y las futuras demandas;
- aprendizaje de las reglas de juego de la propiedad intelectual y del lenguaje de los socios ajenos al campo de actividad propio;
- conocimiento de la maquinaria comunitaria y sus procedimientos.

Un dato importante que hay que retener es que quien en España participa con éxito en proyectos europeos suele repetir, a pesar de todos los inconvenientes, especialmente si se cumple el papel de coordinador. El balance de claroscuros es claramente favorable a la participación.

- El acúmulo progresivo de los elementos *culturales* señalados en los puntos anteriores ha ocasionado un aumento progresivo de la complejidad de gestión de los Proyectos de los Programas Marco, lo que ha llevado al aumento progresivo paralelo de los oficiales de la Comisión encargados de su gestión y la reacción contraria de los servicios generales de la Comisión Europea, que ha exigido y obtenido en el VI PM la reducción de la carga de gestión del PM por parte de la propia Comisión, siendo ésta una de las razones de la aparición de los «nuevos instrumentos, Redes de Excelencia y Proyectos Integrados», de gran tamaño y en los que la gestión recae principalmente sobre los usuarios. Por otro lado, la complejidad progresiva de las condiciones de participación en el PM, especialmente el actual, ha provocado un retraimiento de posibles participantes, especialmente de aquellos sectores o países con menores estructuras de apoyo en la gestión.

11.3. El proceso de elaboración de un Programa Marco

La elaboración de un Programa Marco es un proceso lento de negociación y construcción de consenso que se inicia en el mismo momento en que se lanza el PM anterior.

11.3.1. El proceso formal

El proceso formal viene descrito en el esquema 11.2, elaborado a partir de un esquema general extraído de Van Schendelen. Hay que destacar la complejidad del procedimiento político, que parte de la presentación por la Comisión de la propuesta de PM a las otras Instituciones europeas, abriendo un proceso largo de consulta donde todos los agentes interesados tienen, en principio, la oportunidad de contribuir a la formulación del PM en prácticamente todos los estadios del proceso de toma de decisión, sea influyendo en la propia Comisión, en los organismos pertinentes de los Estados miembros, en el Parlamento Europeo, etc. En cualquier caso, lo más importante es reconocer la importancia de participar en el proceso de toma de decisión para hacer que se incorporen los temas de interés de los grupos o países, ya que la Comisión tiene que intentar conjugar todos los intereses manifestados. El PM, de alguna manera, es un sistema vectorial de suma cero alrededor de un presupuesto siempre limitado. Lo que se gana a favor de algún tema o prioridad se detrae de otro tema, y los elementos que impulsan la adopción de una u otra prioridad pueden ser la fuerza política de los Estados o grupos, o los argumentos manifestados en dossiers de calidad.

Hay que destacar en el esquema la relación existente entre el proceso de negociación del PM y la movilización de agentes sociales y económicos alrededor de sus objetivos. Por otro lado, y en el caso español, la implementación del PM tiene consecuencias muy directas sobre el Plan Nacional.

ESQUEMA 11.2: Síntesis de los procesos de toma de decisión en la elaboración de un Programa Marco

Fase	Nivel UE	Nivel nacional
Borrador	<i>Com. Europea</i>	
	— DD. GG. RTD+INFOSO — Comités diversos — Gabinetes	MCYT organiza consultas públicas y privadas
Propuesta	— Comisión	
Consulta	<i>al Parlamento Europeo (PE)</i> <i>al Comité Económico y Social (CES)</i> <i>al Comité de las Regiones (CR)</i>	
	— Comités intergrupos del PE — Divisiones intergrupos del CES — Estructuras del CR	Audiencias públicas Visitas de trabajo Consultas del CES Consultas del CR
	<i>al Consejo de Ministros</i>	
	— COREPER (grupos de trabajo) — Representación permanente	Consultas ministeriales Instrucciones después de coordinación estatal
Codecisión	— <i>Consejo de Ministros</i> — <i>Parlamento Europeo</i>	Participación Ministerial
	Acuerdo	No acuerdo
	Negociación y conciliación	
	Comunicación en el <i>DOCE</i>	
Implementación	<i>Comisión Europea</i>	Plan Nacional I + D + I
	— Convocatorias DD. GG. — Comités de programa	— Ministerios — SOST, OTRIS
Adjudicación	<i>Comisión Europea</i>	Apoyo a la negociación
Control y conflictos	<i>Tribunales Bélgica o Lux.</i>	

11.3.2. El proceso real

La realidad práctica es un poco diferente: la presentación de la propuesta ya es el resultado de todo un juego de debate, discusión previa y equilibrio entre intereses que hace difícil su modificación sustancial posterior por el Consejo y Parlamento. El inicio del proceso real se abre con la recopilación de documentos base, que suelen ser los informes de evaluación del PM anterior, las aportaciones de las diferentes Direcciones Generales de la Comisión, los informes sectoriales de prospectiva y evaluación de áreas económicas del Instituto de Prospectiva Tecnológica de Sevilla (IPTS) del Centro Común de Investigación de la Comisión Europea, las demandas de los Estados miembros y del Parlamento Europeo, etc. A estos documentos iniciales se van sumando progresivamente las aportaciones de sectores privados, instituciones públicas europeas, academias, informes de seguimiento del PM en curso, etc. Hay que señalar que la toma de posturas de los sistemas públicos de investigación europeos sobre las prioridades e instrumentos viene influida por agentes distintos según los países. Así, en los países del sur, como España y Portugal, el mundo académico tiene un peso considerable debido a la falta de percepción de la importancia estratégica de la Ciencia y la Tecnología por parte de los responsables públicos involucrados en la toma de decisiones, mientras que en los países de Europa más desarrollados económicamente, como Suecia, Alemania u Holanda, la industria juega un papel determinante en dicha definición de prioridades (Comisión Europea, 1999).

11.3.3. La labor de influir

Los primeros documentos que surgen a la luz en cualquier tema o área suelen marcar la pauta. Las modificaciones posteriores casi siempre se realizan conservando la sustancia de los primeros documentos. Lo esencial de un PM, sus contenidos y sus instrumentos, se juega en los primeros estadios del proceso de elaboración. El procedimiento abierto de consulta, los antecedentes y el conocimiento del funcionamiento interno de la Comisión, crean el marco capaz de recibir influencias del medio externo. No obstante, la multiplicidad de culturas e intereses europeos hace que sólo las propuestas bien razonadas y apoyadas en intereses objetivos propios, pero presentados como comunes al conjunto de Europa, y los modos suaves de actuar, garanticen cierto éxito en la búsqueda de influencia.

Las contradicciones aparentes o reales entre los intereses de los diversos Estados o agentes económicos, el caos aparente generado por la multiplicidad de aportaciones y documentos está modulado por la capacidad de los actores de elaborar coaliciones, que son la base de la formulación de todas las políticas europeas y también de la de investigación. La estructura de la Unión sugeriría que el Consejo tiene hegemonía dentro de la maquinaria. En realidad hay una gran competencia e interdependencia entre las diversas Instituciones y grupos, Estados, regiones, etc. Ningún actor es capaz de ganar permanentemente en los conflictos de intereses. Para ganar hay que formar siempre coaliciones. Las decisiones hay que negociarlas siempre, desde el primer borrador hasta la última decisión.

Los tiempos más importantes para influir sobre un tema son, como se ha visto, antes de que entre en la agenda oficial de decisión, o bien después de la decisión y antes de la implementación. Estas fases suelen estar en manos de los funcionarios de la Comisión, no de políticos. La coherencia y calidad de las contribuciones de los Estados o los grupos de interés son un factor determinante para medir su grado de influencia. Los participantes en el debate, sean Estados u organizaciones, deben hablar con una sola voz, lo que implica un alto grado de cohesión interna para poder abordar con seguridad la formación de coaliciones.

Un punto fundamental en todo el proceso de discusión de un Programa Marco es la intervención de los funcionarios europeos. Sus puntos de vista resultan de conocer y defender las políticas europeas y adaptar el PM a dichas políticas. El origen nacional, no obstante, les marca como punto de referencia para agentes de sus países, convirtiéndose en instrumentos de información y explicación de los mecanismos y prioridades de las políticas comunitarias, contribuyendo con ello a la mejor defensa, en ese marco y sólo en ese marco, de los intereses de sus países de procedencia.

11.4. España y el Programa Marco

11.4.1. La importancia del Programa Marco

Los Programas Marco no tienen la misma importancia para sociedades que destinan el 3% de su PIB a I + D, que países, entre los que se encuentra España, que invierten por debajo del 1% y en los que el uso de la I + D como vector de desarrollo es reciente y está todavía mal asumido por el conjunto de sus actores sociales. Este problema es común al *Club Med* (España, Grecia, Portugal y, en menor medida, Italia), según descripción informal al uso de la Comisión Europea. Como el PM es un instrumento competitivo donde se premia la buena presentación de propuestas, incluyendo en ésta la calidad científica, la coherencia entre el plan de trabajo, la explotación de resultados y los beneficios para las empresas participantes, es frecuente que los proyectos aprobados procedan de países con larga tradición de cooperación entre sus sistemas científicos e industriales, lo que ocasiona que los retornos de los países del *Club Med*, medidos en términos de la cuota por países para financiar el PM, sean inferiores a ésta, convirtiéndose dichos países en contribuyentes netos del PM a favor de los Estados del norte de Europa. Hay que señalar no obstante que gracias precisamente al PM se está produciendo un fenómeno de convergencia entre los sistemas científicos del conjunto de países de la UE, con colaboraciones cada vez más frecuentes y complementariedades de equipos de investigación. Los equipos de investigación españoles se han hecho un hueco en el sistema europeo, y son apreciados como participantes y/o líderes en proyectos europeos, por lo menos hasta el V PM, pero el liderazgo industrial español está todavía muy por debajo de lo que cabría esperar si exceptuamos los proyectos dirigidos a pymes.

El PM ha incorporado dos conceptos fundamentales a la práctica de la investigación en España: el trabajo en el marco de consorcios internacionales reglamentados en sus responsabilidades y expectativas, y la práctica de proyectos cuya finalidad es el aumento de la competitividad industrial o el apoyo a políticas comunitarias concretas. Esta consideración utilitaria de la Ciencia o, en otros términos, su incorporación real como fuerza productiva europea, ha sido un modelo para planteamientos similares en España. La realidad, sin embargo, es que nuestro sistema aún está lejos de funcionar sobre estas bases, como lo

demuestran la falta de tradición de proyectos de demostración en universidades y OPI, o la ausencia de fondos financieros para apoyar la protección de la propiedad intelectual en la casi totalidad de Universidades y Organismos Públicos de Investigación españoles, y ello a pesar del indudable avance en ese sentido que supuso la Ley de la Ciencia y la posibilidad de que la investigación académica produjera beneficios económicos para los investigadores y técnicos de los departamentos y centros de investigación, y para estos mismos.

11.4.2. El Espacio Europeo de Investigación (EEI) y el VI Programa Marco

Los Consejos Europeos de Lisboa, de marzo de 2000, de Santa Maria da Feira, de junio de 2000, y de Estocolmo, de marzo de 2001, representaron una ruptura con los objetivos y métodos tradicionales del PM, al adoptar decisiones para la instauración rápida del Espacio Europeo de Investigación e Innovación (EEII), en una perspectiva de crecimiento económico sostenido, más empleo y mayor cohesión social, con el objetivo último de convertir para 2010 a la UE en la economía del conocimiento más competitiva y dinámica del mundo. Basándose en la obligación contemplada en el artículo 6 del Tratado, el Consejo Europeo de Gotemburgo de junio de 2001 aprobó una estrategia de desarrollo sostenible y añadió a la Estrategia de Lisboa una tercera dimensión, la del medio ambiente. El VI PM debería tener un *efecto vertebrador* en la investigación y el desarrollo tecnológico en Europa, incluidos los Estados miembros, los países candidatos a la adhesión asociados y otros Estados asociados, y contribuir de manera significativa a la creación del EEII¹. Los instrumentos para conseguir estos objetivos son:

- concentración e integración de la investigación comunitaria;
- estructuración del Espacio Europeo de Investigación;
- fortalecimiento de las bases del Espacio Europeo de Investigación.

De donde han surgido las iniciativas de nuevos instrumentos, limitación de las áreas de investigación y apoyo a la coordinación de políticas de investigación.

¹ CORDIS Database, <http://www.cordis.lu/fp6>.

11.4.3. El Programa Marco y el Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica español

La realidad de estos años ha mostrado que el PM sigue siendo el referente más importante en la formulación de las prioridades del Plan Nacional, pero la coordinación en la ejecución de las dos políticas sigue siendo una cuestión pendiente a pesar de la convergencia de temas y objetivos. Hay que señalar que, hasta la fecha, la participación española en los PM ha sido una historia de éxito progresivo, como lo prueban los datos de participación y liderazgo de proyectos por españoles en los cinco Programas Marco anteriores: se ha pasado de una participación testimonial en el I PM, a intervenir en 2.545 proyectos del V PM, con liderazgo español en el 6,8% de todos los proyectos de dicho programa ². En este contexto hay que destacar, además, la buena adaptación de las pymes al entorno competitivo europeo en I + D.

En estos momentos, la contribución financiera española al PM es del *mismo orden de magnitud* que los recursos de financiación de proyectos del Plan Nacional. Podemos afirmar que el Sistema español de I + D se financia con los impuestos de los ciudadanos, pero se gestiona desde dos centros: Madrid y Bruselas. No obstante, existe el sentimiento entre los participantes españoles en los Programas Europeos de que el PM es algo ajeno y/o lejano a las comunidades científica, tecnológica o industrial española, *un instrumento para obtener financiación competitiva* e integrarse en redes europeas. No se percibe el PM como un *foro propio* abierto a empresas, universidades y centros de investigación españoles donde se discute el futuro de la industria y la sociedad europea y las soluciones que la investigación puede aportar. Esta percepción debe cambiar, ya que es inaceptable que el PM no se vea como algo propio, tal como ocurre con el Plan Nacional, y no exista coherencia entre el debate, implementación y gestión del Plan Nacional y los otros instrumentos de financiación de la Investigación e Innovación en España, y la participación de los agentes españoles en la toma de decisiones del PM que, recordemos, es fruto de un consenso amplio entre intereses concurrentes y divergentes.

Los nuevos instrumentos creados para implementar el VI PM, Redes de Excelencia y Proyectos Integrados hacen aumentar el tamaño

² CDTI, <http://www.cdti.es>.

de los consorcios, concentran la financiación en sólo unos pocos proyectos y redes, ponen el énfasis en la integración europea sobre unos cuantos temas prioritarios de investigación y buscan la durabilidad de las estructuras de integración creadas. Son muy diferentes de los instrumentos empleados en los PM previos. Necesitan estructuras de gestión y soporte complejas y compromisos a largo plazo de los participantes con los temas en los que participan. Por ello, la iniciativa de participación en *proyectos* ha pasado en términos reales de las manos de los investigadores a las de los responsables institucionales, a todos los niveles: nacional, autonómico, Organismos Públicos de Investigación, Universidades, etc., únicos capaces de garantizar un apoyo y financiación duradero. En esas condiciones, la participación en grandes estructuras, tales como los Proyectos Integrados (PI), o estructuras duraderas, tales como las Redes de Excelencia (rde), nuevos instrumentos del VI Programa Marco, no puede depender de iniciativas individuales espontáneas, sino de compromisos de empresas e instituciones. Por otro lado, en aplicación del principio de subsidiariedad, que pretende que las tomas de decisiones se hagan al mejor nivel posible (local, regional, nacional o europeo), la propia concentración temática e instrumental del VI PM debería hacer reconsiderar los objetivos y prioridades del Plan Nacional para fomentar la participación y el liderazgo en el PM, cubrir los nichos no contemplados en él, pero importantes para una estrategia nacional y apoyar los temas complementarios, como pueden ser la investigación básica, o las prioridades específicas de nuestro sistema productivo, tradición cultural y especificidad climática o geográfica. Los Programas Regionales de Investigación deberían aplicar una lógica similar a fin de optimizar las sinergias con los otros Programas e instrumentos existentes.

11.4.4. El futuro

Los nuevos principios introducidos por el Espacio Europeo de Investigación y el VI Programa Marco implican un cambio de perspectiva radical en la inserción de España en las grandes corrientes de la investigación europea, la falta de adecuación de nuestras estructuras y las del resto de países del *Club Med*, a los nuevos instrumentos puede hacer que aumente su carácter de contribuyentes netos. De hecho, los primeros resultados de las convocatorias del VI PM apuntan a una pérdida considerable del porcentaje de liderazgo de

los participantes españoles, producto de la falta de medios en que se encuentran los posibles líderes para asumir las consecuencias de coordinar los nuevos instrumentos. Se impone una valoración de urgencia de la eficacia de los nuevos instrumentos desde la perspectiva española cara a la revisión del VI PM a los dos años de su puesta en marcha. Asimismo, es importante una definición clara de prioridades en temas considerados estratégicos, con una buena coordinación entre políticas gestionadas por los gobiernos central y autonómicos, intereses industriales y el mundo académico. Por ejemplo, sería importante analizar las consecuencias de la revisión de la Política Agrícola Común (PAC), y la posible utilidad de alternativas procedentes de la investigación en la redefinición de una agricultura sostenible y de alto valor añadido.

Es imprescindible la creación de foros y redes dinámicas y permanentes entre los sectores públicos y privados, de donde surjan *documentos estratégicos de posición* sobre los retos a que se enfrenta Europa y que integran los intereses españoles. Crear estructuras de gestión ágiles y adaptadas al entorno competitivo europeo para poder apoyar las indudables capacidades de liderazgo que las empresas e investigadores españoles han mostrado a lo largo de cinco PM previos, y usar las posibilidades que ofrecen los PM de la UE para ayudar a alcanzar una inversión media europea del 3% del PIB (Comisión Europea, 2002). La no consideración de estos argumentos podría implicar una seria divergencia entre el Sistema español de I + D + I y el rumbo de integración europeo marcado por el EEI (Rodríguez-Clemente, 2002).

Asimismo, es imprescindible aplicar recursos y procedimientos en proporción al objetivo de impulso de la *Sociedad del Conocimiento* y los otros objetivos marcados en el Consejo Europeo de Lisboa, entre los que destaca el desafío de hacer de la UE la economía más competitiva del mundo para 2010, pero que encuentra serios obstáculos en temas tales como la protección del conocimiento ya que, por ejemplo, a un solicitante español le costaría una patente europea, válida para los 27 países adheridos, unos 100.000 €, mientras que a ese mismo solicitante patentar en Estados Unidos le costaría menos de 20.000 €. La inversión actual pública y privada en I + D + I en España, inferior al 1% del PIB, es claramente insuficiente para que nuestro país pueda hablar con voz propia en el debate abierto

sobre el VII PM y el resto de objetivos del EEL, que ya están a la vuelta de la esquina. *La carencia de recursos se erige como un obstáculo infranqueable* para organizar de manera eficiente nuestro sistema de I + D + I, y darle protagonismo en la transformación de nuestro sistema económico así como en la definición de políticas y prioridades de la Unión Europea marcadas por los objetivos de la Sociedad del Conocimiento, cuya ambición hace que, tal vez, el objetivo de conseguir hacia 2010 una financiación para la I + D + I en Europa del 3% del PIB, fijado en el Consejo de Barcelona bajo presidencia española, sea insuficiente.

Agradecimientos

El autor agradece los comentarios, sugerencias y datos de Ramón Compañó, de la Comisión Europea, y Juan Martínez Armesto, de la OTT del CSIC en Andalucía, que han enriquecido este texto, del cual es el único responsable.

Bibliografía

- CDTI, <http://www.cdti.es>.
- COMISIÓN EUROPEA (1999): *European Comparison of Public Research Systems, Final report of Project ERB-CT96-1036*, Bruselas.
- (2002): *More Research for Europe: Towards 3% of GDP, Communication from the Commission*, CON (2002), 499 final, Bruselas, 11 de noviembre.
- CORDIS Database, <http://www.cordis.lu/fp6>.
- RODRÍGUEZ-CLEMENTE, J., J. GÓMEZ-MORALES y C. DOMINGO (2002a): «La cristalización: pasado, presente y futuro», *Boletín R. Soc. Esp. Hist. Nat. (Sección Geología)*, 97 (1-4), págs. 17-25.
- (2002b): «El Programa Marco de la Unión Europea y el sistema español de I + D: ¿convergencia o divergencia?», *Acta Científica y Tecnológica*, 5.
- SCHENDELEN, M. P. C. M. VAN (1994): «Introduction: Studying EU Public Affaire Cases: Does it matter», en R. H. Pedler y M. P. C. M. van Schendelen (eds.): *Lobbying the European Union*, Darmouth, Aldershot.

CUARTA PARTE

**LA CIENCIA EN LOS PROGRAMAS
Y ESTRATEGIAS DE LOS PARTIDOS POLÍTICOS**

12. Ciencia y Tecnología: un diálogo de futuro

Jaime Lissavetzky Díez
Congreso de los Diputados

12.1. Introducción

El concepto de *Política Científica* se empezó a incorporar a las agendas de los gobiernos de los países más avanzados después de la Segunda Guerra Mundial. El objetivo fundamental era convertir los conocimientos adquiridos en beneficios sociales. Y la actuación gubernamental consistía en el diseño y aplicación de medidas que estimularan y fomentaran la Investigación y el Desarrollo (I + D).

Hoy más que nunca está aceptada la necesidad de desarrollar políticas científicas, ya que estamos inmersos en la Sociedad del Conocimiento y en una economía globalizada. Existe, por tanto, un acuerdo generalizado en la actualidad, sobre la importancia de la investigación, el desarrollo y la innovación (I + D + I). Para hacer realidad esta aseveración es necesario fomentar la investigación y el desarrollo, generar así conocimientos científicos y técnicos, y propiciar su transferencia al sector productivo para su conversión en nuevos productos, procesos o servicios a través de la innovación empresarial. La construcción de ese círculo virtuoso, que pusiera al servicio de la sociedad los avances producidos, deberá ser un objetivo fundamental de cualquier país que mire hacia el futuro.

España llegó tarde a la aplicación de un modelo integral de *Política Científica*, ya que las actuaciones realizadas antes de la instauración de la democracia fueron insuficientes y deslavazadas. Fue a partir de los años ochenta cuando nuestro país diseñó la arquitectura del Sistema de Ciencia y Tecnología español con la aprobación de la *Ley de la Ciencia* y del primer Plan Nacional de Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico. Desde entonces hasta la actualidad, se han producido di-

ferentes situaciones que no son motivo de análisis en este artículo por razones de espacio, y que se caracterizan por un fuerte crecimiento de los gastos en I + D hasta 1993, seguido de un acusado descenso en los años de recesión económica. En este artículo quiero referirme a la situación actual del Sistema de Ciencia y Tecnología español, en el efecto que ha tenido la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología sobre el mismo y especialmente en algunas propuestas para el debate.

Los diferentes estudios realizados por la Unión Europea (UE), la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) u otras instituciones señalan que nuestro sistema presenta unas acusadas carencias ligadas fundamentalmente a su bajo nivel de inversión y gasto público y privado en I + D, lo que provoca un elevado déficit de su balanza tecnológica, la escasez de patentes de alta tecnología o el insuficiente desarrollo de la Sociedad de la Información.

No es mi intención describir exhaustivamente cuáles son las causas de esta situación, aunque será inevitable la referencia a alguna de ellas a lo largo del mismo, sino plantear cuáles pueden ser algunas soluciones a corto, medio y largo plazo. En definitiva, aportar propuestas para ir diseñando un camino que recorrer, que permita mejorar la situación del Sistema de Ciencia y Tecnología español y su equiparación con la media de los países que forman la Unión Europea.

Por ello, he querido incorporar en el título la necesidad de que haya un diálogo de futuro, democrático, sincero y sin a priori sobre todos estos temas entre la comunidad científica, los Agentes Sociales, las Administraciones del Estado y los Partidos Políticos.

Sin el ánimo de ser exhaustivo, desarrollaré estas ideas en diferentes apartados: Financiación, Coordinación, Gestión, Recursos Humanos, Innovación, Sociedad de la Información y Relaciones de la Ciencia con la sociedad.

12.2. Financiación

España ocupa uno de los últimos puestos de la Unión Europea en gasto de I + D y presenta una diferencia notable respecto a la media de ésta (0,96% del PIB frente al 1,94% europeo) (cuadro 12.1). Nuestra situación relativa no ha mejorado en los últimos años debido a una insuficiente financiación del sector público como se desprende del incumplimiento de los objetivos financieros del Plan Nacional todavía vigente,

CUADRO 12.1: Datos comparativos de gastos internos totales en I + D respecto al PIB de investigadores por cada 1.000 habitantes ocupados en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón

País	Gastos I + D/PIB por 100	Investigadores por cada 1.000 habitantes ocupados
Suecia	3,8	9,1
Finlandia	3,4	13,1
Alemania	2,5	6,5
Francia	2,2	6,2
Dinamarca	2,0	5,1
Holanda	2,1	6,5
Bélgica	2,0	7,0
Austria	1,9	4,9
Reino Unido	1,9	5,5
Irlanda	1,2	5,1
Italia	1,1	2,8
<i>España</i>	<i>0,9</i>	<i>4,6</i>
Portugal	0,8	3,3
Grecia	0,7	3,3
<i>Unión Europea</i>	<i>1,9</i>	<i>5,4</i>
Estados Unidos	2,8	8,1
Japón	3,0	9,3

ya que según los últimos datos estadísticos referentes a 2001 sólo alcanzamos un gasto del 0,96% del PIB frente al 1,23% previsto (gráfico 12.1).

Es necesario un *Plan de Convergencia con Europa*, que contemple un crecimiento sostenido y continuado de los Presupuestos Generales del Estado, para permitir que alcancemos o nos acerquemos a los países más desarrollados. Esto exige medidas urgentes y de choque como el *incremento de los fondos públicos* dedicados a Investigación y Desarrollo en unos porcentajes en torno *al 25%* en los próximos años, especialmente de los fondos destinados a financiar de forma competitiva la investigación, ya que la investigación básica y de calidad es un pilar irrenunciable para nuestro sistema. Sin Ciencia básica, sin una masa crítica de investigadores no hay desarrollo posible. Un país sin investigación básica es un país sin desarrollo.

Por ello, sería conveniente la creación de un *Fondo Extraordinario*, que se dotara total o parcialmente de los reembolsos de los préstamos que dedica el Ministerio de Ciencia y Tecnología a la financia-

GRÁFICO 12.1: Diferencia entre objetivos del Plan Nacional (2000-2003) y la evolución real del Gasto de I + D

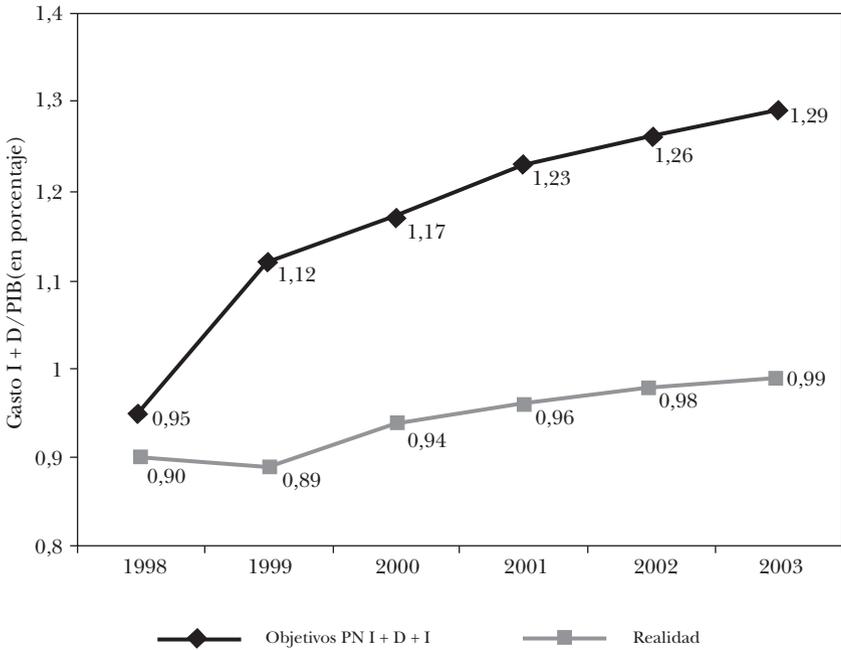
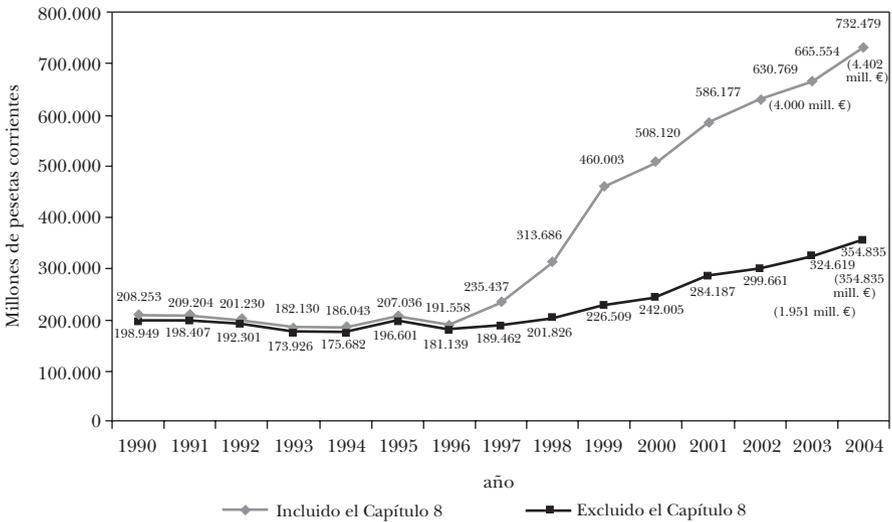


GRÁFICO 12.2: Evolución de los Presupuestos Generales del Estado (Función 54)



ción de proyectos tecnológicos. Este *Fondo* serviría para financiar los *Programas de Recursos Humanos, Proyectos e Infraestructuras* y supondría una inyección adicional al Sistema de Ciencia y Tecnología.

Para explicar esta medida analizaré a continuación algunos datos.

En los últimos años ha habido un *crecimiento asimétrico de los presupuestos* destinados a investigación, que se recogen en la Función 54, al haberse dirigido la mayor parte de los recursos a *Gastos Financieros* que se contemplan en el Capítulo 8 (gráfico 12.2). Estos gastos, que son préstamos a empresas, suponían el 5,4% en 1996 y han pasado a ser el 51,6% del total de la función antes referida en 2004 (cuadro 12.2). Muchos de ellos han ido destinados a la fabricación de armamento,

CUADRO 12.2: Presupuestos de la Función 54 (Investigación)

	Capítulos 1-7	porcentaje	Capítulo 8	porcentaje	Total
1996	181.139	94,6	10.419	5,4	191.558
1997	189.462	80,5	45.975	19,5	235.437
1998	201.826	64,3	111.860	35,7	313.686
1999	226.509	49,2	233.494	50,8	460.003
2000	242.005	47,6	226.115	52,4	508.120
2001	284.187	48,5	301.990	51,5	586.177
2002	<u>299.661</u>		<u>331.108</u>		<u>630.769</u>
	1.801	47,5	1.990	52,5	3.791
	millones de euros		millones de euros		millones de euros
(millones de pesetas)					
2003	1.951	48,8	2.049	51,2	4.000
2004	2.132	48,4	2.270	51,6	4.402

(millones de euros)

el supuesto *I + D militar*, que representó el 34,3% del total de gastos públicos en investigación en 2003 (cuadro 12.3). No voy a plantear el debate, creo que pertinente, sobre si pueden y deben ser computados como Investigación o Desarrollo —en gran medida se utilizan para la fabricación repetitiva de unidades— sino la necesidad de recuperar el terreno perdido en la financiación de la investigación pública. Es decir, *corregir la asimetría* del modelo de los últimos años. Para ello y puesto que deberán devolverse estos créditos al Tesoro Público como se refleja en los contratos firmados, sugiero la posibilidad de emplear una parte de ellos para *financiar nuestro sistema público*: Universidades y Organismos Públicos de Investigación (OPI).

CUADRO 12.3: Gastos de Defensa en la Función 54. Presupuesto 2003

Programa	Partida	Cantidad	
542 E	823	492,53	
542 E	832	557,44	
542C	Todas	322,97	
Total gastos militares		1.372,94	Gastos Militares S/F. 54 porcentaje 34,3
Total Función 54		4.000,12	UE 14,5

Nadie debe suponer que esto vaya en detrimento del sector productivo. Todo lo contrario. A mayor y mejor investigación básica, mayor y mejor generación de conocimientos y de formación de personal, para ser transferidos al sector privado. Con respecto a este sector que, todavía, invierte y gasta insuficientemente en comparación con la media europea (aproximadamente el 50% frente al 66% europeo) (cuadro 12.4) habrá que adoptar una serie de *medidas de impulso, normativas y fiscales*, algunas de ellas ya iniciadas, a las que me referiré posteriormente.

Asimismo, deberá impulsarse desde la Administración Pública la *captación de recursos externos al sistema*. Un objetivo fundamental debe ser nuestra máxima inserción y participación en los proyectos europeos. *Las apuestas europeas* realizadas en Lisboa, por el desarrollo de la economía basada en el conocimiento, por el Espacio Europeo de Investigación (EEI), así como la aplicación del nuevo Programa

CUADRO 12.4: Gastos internos totales en actividades de I + D en relación con el PIB, por sector de ejecución, 1990-2001

Años	PIB ¹	Gastos internos totales en I+D ²	Gastos en I+D como porcentaje del PIB				
			Total	Admón. Pública	Enseñanza Superior	Empresas	IPSFL*
1990	301.377,52	2.559.283,83	0,85	0,18	0,17	0,49	0,01
1991	330.117,92	2.881.083,75	0,87	0,19	0,19	0,49	0,00
1992	355.228,20	3.244.978,54	0,91	0,18	0,26	0,46	0,01
1993	366.328,90	3.350.059,50	0,91	0,18	0,28	0,44	0,01
1994	389.389,73	3.294.471,89	0,85	0,17	0,27	0,40	0,01
1995 ³	437.787,23	3.550.106,38	0,81	0,15	0,26	0,39	0,01
1996 ³	464.250,80	3.852.631,83	0,83	0,15	0,27	0,40	0,01
1997 ³	494.140,00	4.038.903,51	0,82	0,14	0,27	0,40	0,01
1998 ³	527.975,05	4.715.018,09	0,89	0,15	0,27	0,47	0,01
1999 ³	565.199,27	4.995.360,19	0,88	0,15	0,27	0,46	0,01
2000 ³	609.319,19	5.718.988,30	0,94	0,15	0,28	0,50	0,01
2001 ³	651.641,00	6.227.157,10	0,96	0,15	0,30	0,50	0,01

¹ Millones de €.

² Miles de €.

³ PIB pm base 1995.

* Instituciones privadas sin fines de lucro.

Fuente: INE, Estadísticas de I + D, 2001.

Marco, o del Programa Eureka, etc. *han de ser nuestras apuestas*. Debemos adquirir *compromisos firmes* para alcanzar estos objetivos: favorecer el acceso de los investigadores y empresarios a estos programas, utilizar adecuadamente los fondos estructurales europeos como de *adicionalidad* y no como sustitución de la escasez de fondos nacionales, en perjuicio de las Comunidades Autónomas, etc. En definitiva, tener *mayor significación en el contexto internacional* y, especialmente en el europeo, permitirá una mayor financiación de nuestros grupos de investigación y de nuestras empresas. Y ahí tiene que jugar un papel primordial el Gobierno.

Por último, no debemos olvidar las actuaciones de las entidades sin ánimo de lucro que, aunque todavía contribuyan escasamente al gasto de I + D en nuestro país, deben incentivarse desde la Administración. No tenemos la cultura anglosajona en estas facetas, pero el *Tercer Sector*, insuficientemente desarrollado en Espa-

ña, puede convertirse en un excelente agente inversor y financiador del sistema.

12.3. Coordinación

El principal objetivo que se ha de conseguir es alcanzar una adecuada interrelación entre los distintos agentes que actúan en el sistema para alcanzar el máximo grado de eficacia. Es, por tanto, necesario reforzar al máximo la coordinación, para evitar solapamientos de las políticas de las distintas Administraciones y del sector productivo.

12.3.1. En la Administración General del Estado

La creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología no ha permitido la articulación adecuada de las políticas sectoriales con contenidos de I + D. La *descoordinación* con el Ministerio de Educación por el error de no incluir en él a las *Universidades*, que representan casi las dos terceras partes de la producción científica de nuestro país, o con el Ministerio de Sanidad y Consumo, por ejemplo en la investigación biomédica, muestran que es *insuficiente* el papel del Ministerio de Ciencia y Tecnología, a pesar de que acumula el 70% del total del presupuesto público para I + D (cuadro 12.5), en la *integración* de las políticas sectoriales.

CUADRO 12.5: **Distribución de los Presupuestos de la Función 54 por Ministerios**

(millones de euros)

Ministerios	Presupuesto 2004	porcentaje
Defensa	302,70	14,19
Educación, Cultura y Deporte	92,26	4,33
Ciencia y Tecnología	1.495,61	70,13
Sanidad y Consumo	220,63	10,35
Otros departamentos	21,40	1,00
Total Política Científica	2.132,60	100,0

No deberán fragmentarse estos fondos, lo que constituiría un gran error, sino que habrá que *reforzar al Ministerio de Ciencia con más competencias*, como las referentes a las Universidades. Asimismo, debe-

rá impulsarse la aportación a la financiación del sistema de otros Ministerios para fortalecerle. Sirva el ejemplo de los *gastos militares* en I + D: no es lógico que el Ministerio de Ciencia sea el principal financiador de estos importantes gastos —que supusieron más de la tercera parte de la Función 54 (investigación) en 2003 (34,3%), cuando la media europea es del 14,5% (cuadro 12.3)—, invirtiendo más del triple de recursos que el propio Ministerio de Defensa en este año.

En definitiva, hay que aumentar sus competencias para liderar el sistema y *rehacer sus presupuestos*, siguiendo los modelos europeos, para *mejorar la eficiencia* de la Administración General del Estado. *Una mayor coordinación significa una mayor eficiencia*. Una mayor coordinación permitirá la construcción de un proyecto real de política científica.

12.3.2. Entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas

Las Comunidades Autónomas desarrollan una labor cada vez más destacada en el fomento de la investigación, el desarrollo y la innovación tecnológica. De ellas dependen las Universidades que han sido transferidas en su totalidad, e impulsan políticas de desarrollo, modernización tecnológica industrial o de innovación. Casi todas ellas tienen aprobados Leyes y Planes Regionales de Investigación y/o Innovación.

Por ello, es imprescindible *optimizar la coordinación de las Comunidades Autónomas* con la Administración General del Estado, para conseguir la máxima rentabilidad de los recursos empleados. En la actualidad existe un alto grado de solapamiento y duplicación de actuaciones entre ambas Administraciones y sería oportuno evitar o disminuir a límites razonables esta redundancia. Para ello, es fundamental que la Administración Central alcance un *Acuerdo de carácter general* con las Comunidades Autónomas, desde un planteamiento respetuoso de sus competencias y de reconocimiento de su labor. Este acuerdo debería contemplar el *reparto de responsabilidades y actuaciones* entre los ámbitos estatal y regional.

La creación de una *Conferencia Sectorial*, semejante a las de Educación, Sanidad, etc. podría ser un buen instrumento para impulsar estos acuerdos, ya que el actual Consejo General de Ciencia y Tecnología, que se ha reunido insuficientemente en los últimos años, tiene un mero carácter asesor.

La Administración General del Estado deberá, en cualquier caso, mantener la *financiación competitiva de la I + D*, con una principal atención a los *Recursos Humanos*, la creación de centros estratégicos de referencia nacional, el diseño de instrumentos que favorezcan la elevación de la calidad media del sistema, así como el desarrollo de mecanismos que permitan la transferencia de los conocimientos generados al sector productivo y que estimulen la inversión del sector privado.

No obstante, la utilización de sistemas basados en el mérito y en la excelencia competitiva no debe impedir el diseño de un conjunto de actuaciones que se basen en el *principio de solidaridad*, ya que la distribución de los recursos científico-técnicos es muy desigual en nuestro país. Una política de Estado debe contemplar la promoción de las capacidades científico-técnicas en las regiones cuyos ingresos per cápita y gastos en I + D estén por debajo de la media nacional, para permitir la competencia en términos de igualdad de oportunidades.

Las *Comunidades Autónomas* deberán concentrar sus esfuerzos en definir e impulsar políticas de formación y de investigación en las áreas y campos que sean de interés estratégico para la región y que *actúen de catalizador para la innovación tecnológica empresarial*. Para ello, sería deseable el establecimiento de *Protocolos* de actuación acordados con los agentes sociales empresariales y sindicales.

Asimismo, sería aconsejable una *mayor relación* entre los *centros de I + D* de titularidad *pública* y dependencia estatal con las *Universidades* de dependencia autonómica y con los *centros de I + D* de carácter *privado*. En estos casos, las Administraciones autonómicas deben jugar un papel clave como punto de encuentro para el desarrollo de políticas conjuntas.

Por último, habría que incentivar los *acuerdos entre Comunidades*, especialmente las vecinas, para rentabilizar al máximo los recursos disponibles en aspectos que afecten a más de una Comunidad, con el objetivo de competir unidos y no de hacerse la competencia.

12.4. Gestión

La fortaleza del sistema también debe basarse en una *gestión ágil y flexible*, máxime si es previsible un incremento de los fondos y, por lo tanto, un aumento del número de proyectos que se han de evaluar.

Para ello es necesario reforzar los mecanismos de evaluación y concesión de fondos en una concurrencia competitiva. Desgraciadamente la gestión del Ministerio de Ciencia y Tecnología, sin querer entrar en las causas, ha sido negativa. Sirva como ejemplo el hecho de que durante los tres primeros años de vigencia del Plan Nacional de I + D + I se dejaron sin gastar 1.021 millones de euros (cuadro 12.6).

CUADRO 12.6: Las pérdidas presupuestarias por inejecución de la Función 54.

Investigación científica, técnica y aplicada

Subsector Estado

(millones de euros)

	Crédito inicial	Crédito total	Obligaciones reconocidas	Pérdida total de financiación para el sistema de I + D
Año 2000	2.416,937	2.404,580	2.004,609	399,971
Año 2001	2.829,220	2.799,570	2.378,730	420,840
Año 2002	3.064,915	3.048,413	2.848,373	200,040
Total 2000-2002	8.311,072			1.020,851

Es necesario diseñar mecanismos adecuados a estos efectos, estableciendo el concepto de *excepcionalidad de la Investigación* en términos de la aplicación de los procedimientos de gestión de las subvenciones públicas o de la gestión de los recursos humanos. Propongo la creación de un organismo responsable de la financiación que permita una mayor autonomía de gestión. Una *Agencia de Financiación de la Investigación*, que incorpore la flexibilidad y la agilidad de gestión del sector privado y la transparencia y la evaluación propia de una actividad sostenida con fondos públicos. Una *agencia* homologable a los *Research Councils* ingleses o escandinavos o a la *National Science Foundation* americana, que contaría con un Consejo Científico formado por investigadores. Esta *agencia* desarrollará sus actividades adscrita al Ministerio de Ciencia y Tecnología, que evaluará su funcionamiento y el cumplimiento de sus objetivos.

Asimismo, habría que *reforzar el papel de la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva (ANEP)*, tanto en lo referente a su dotación de recursos humanos y financieros, como en el reconocimiento de la labor de los evaluadores. En esta nueva etapa se profundizaría tam-

bién en la labor de prospectiva, que ha sido de muy bajo perfil desde su creación, así como en la evaluación de los procedimientos, normas e incidencia de los proyectos financiados.

También sería conveniente realizar una evaluación de lo que ha supuesto para los Organismos Públicos de Investigación (OPI) la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología. Los OPI y muy singularmente el CSIC, por su masa crítica y su carácter pluridisciplinar, deben ser *instrumentos esenciales de la política de I + D del Estado*. Los Organismos de Investigación de carácter sectorial (CIEMAT, INIA, IGME, IEO, INTA, IAC, etc.) no deben olvidar los fines para los que fueron creados, manteniendo conexión directa con los sectores con los que están relacionados, debiendo ser su personal evaluado y promovido en función de estas características.

Por ello, es imprescindible la aprobación de *medidas* que permitan el aumento de la *autonomía de gestión administrativa, presupuestaria y del personal* al servicio de los OPI y la definición de sus líneas de actuación. Hay que mejorar sus dotaciones presupuestarias y sus recursos humanos e impulsar su relación con las empresas y los centros tecnológicos, así como su creciente vinculación con las Universidades. Para el diseño de todas estas medidas habrá que tener en cuenta las experiencias vividas y los estudios realizados o en curso, como los que está promoviendo el *Grupo de Reflexión* del CSIC, de reciente creación, así como la realización de un debate abierto en esas instituciones.

12.5. Recursos humanos

La Constitución Española señala como responsabilidad del Estado asegurar el fomento y la coordinación general de la Investigación y el Desarrollo. En este marco se inscribe la creación de las condiciones para garantizar la formación de personal altamente cualificado que se inserte en el sector público y privado del Sistema de Ciencia y Tecnología. Solamente dedicando más recursos humanos a la I + D, España podrá afrontar el futuro con optimismo.

También en los indicadores referentes al número de investigadores o de personal dedicado a la investigación por 1.000 habitantes ocupados (cuadro 12.1), estamos situados en los últimos lugares de la

Unión Europea. Además hay una gran escasez de investigadores en el sector empresarial.

Para superar esta rémora hay que plantearse con urgencia políticas a medio y largo plazo. Un *Programa de Recursos Humanos*, que solucione las carencias del sistema y defina la carrera del investigador y que no se limite a la formación de investigadores, sino que incorpore los mecanismos necesarios para su posterior inserción en las universidades y en los centros públicos y privados de I + D.

Este Programa deberá contar al menos con las siguientes medidas:

- a) Aprobación del *Estatuto del Personal* dedicado a la Investigación.
- b) Refuerzo de las *Becas* de Formación de Personal Investigador, mejorando la situación de precariedad de los becarios. Para ello, se establecerá un sistema de incorporación inmediata de todos los jóvenes investigadores al *Régimen General de la Seguridad Social* y de contrato laboral para aquellos que estén en el tercer y cuarto año de la elaboración de su tesis doctoral. Es decir, la aplicación del *sistema* denominado 2 + 2.
- c) Conversión de las *Becas Post-doctorales en contratos laborales* por tiempo determinado.
- d) Mantenimiento del programa de contratación de Doctores *Ramón y Cajal* y aplicación de medidas para facilitar su *inserción definitiva* en el sector público o privado, si superan las evaluaciones correspondientes.
- e) Creación sostenida de *plazas de investigadores, tecnólogos y personal de apoyo* a la investigación en los OPI y, a través de acuerdos con las Comunidades Autónomas para las Universidades.
- f) Impulso de la *contratación* de investigadores y tecnólogos en el *sector productivo*.
- g) Refuerzo del papel del *personal dedicado a la investigación*, fomentando su promoción interna y elevando sus retribuciones para *dignificar y hacer atractiva la carrera científica* y evitar, de modo razonable, su paso a otras opciones mejor remuneradas.
- h) Fomento de la *movilidad de los investigadores* entre los distintos Organismos, Universidades, Administraciones y países.

En definitiva, un sistema que *reduzca la precarización* del mismo (de los aproximadamente 80.000 investigadores EDP —equivalente a dedicación plena— 20.000 son becarios), asegure el aprovechamiento de los jóvenes ya formados e impida su abandono de la carrera científica y *permita el reconocimiento social* que merece la labor de los investigadores.

Hay que poner la *política de Recursos Humanos en el centro* de todas las políticas. Ésta ha de ser la apuesta principal, pues a través de la misma, no sólo conseguiremos un sector público fuerte, sino que pondremos las bases para que el sector privado pueda incrementar sus acciones de I + D.

España será más competitiva si apuesta por las políticas de formación de capital humano y máxime en estas áreas. Renunciar o aplazar esta tarea es retroceder en el camino emprendido, algo que no nos podemos permitir.

12.6. Innovación

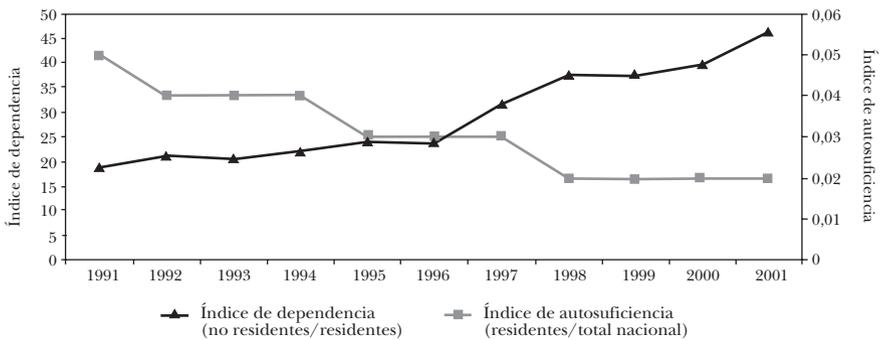
La *innovación* en las empresas es una de las claves para mejorar nuestra *productividad*. Necesitamos que el sector privado español apueste mucho más decididamente por esta estrategia. No podemos permitirnos el lujo de que el crecimiento de nuestra economía se base, casi exclusivamente, en el consumo o en la construcción. En la actual Sociedad del Conocimiento y en una economía globalizada como la existente, los países van a *competir fundamentalmente en función de su capacidad de investigar, de innovar*. Alcanzaremos cotas crecientes de desarrollo si innovamos.

He venido defendiendo hasta este momento el refuerzo del sector público del Sistema de Ciencia y Tecnología español como punto de partida inexcusable para afianzar al mismo. Ahí es donde se van a producir principalmente los conocimientos, que deben ser transferidos posteriormente al *sector productivo*; pero sólo si este sector *incrementa sus gastos* en las políticas de I + D + I podremos alcanzar los objetivos que nos proponemos. La situación actual nos coloca, una vez más, en los últimos lugares de la Unión Europea, ya que el gasto en actividades de I + D del sector privado es muy inferior al de la media europea.

Actualmente, existe una *brecha tecnológica* entre nuestro país y el resto de la Unión Europea, como muestran, por ejemplo, los últimos datos sobre patentes (gráfico 12.3), en los que se observa un *aumento de nuestra dependencia y una disminución de nuestra autosuficiencia* en los últimos años.

GRÁFICO 12.3: Solicitudes de patentes, 1991-2001

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001*
Índice de dependencia (no residentes/residentes)	18,91	21,10	20,43	22,11	24,41	24,24	31,73	37,65	37,66	39,77	46,35
Índice de autosuficiencia (residentes/total nacional)	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02



* Provisional.

Fuente: Oficina Española de Patentes y Marcas, 2001.

Las distintas Administraciones (nacional, regional y local) pueden y deben adoptar diversas *medidas para acercar ambos sectores, el público y el privado*; tienen que actuar como interfase, como punto de encuentro de los mismos. Hay que hacer atractiva la idea de la innovación en nuestras empresas, por lo que sería partidario de la aprobación por el Gobierno de un *Programa sobre Innovación* dirigido a ellas, basado en la *colaboración de todas las Administraciones* y avalado con *un acuerdo social con Sindicatos y Empresarios* para su desarrollo. Un Programa que contemple medidas legislativas y ejecutivas.

Este Programa de Innovación debería reforzar algunas actuaciones ya iniciadas y elaborar otras nuevas. A grandes rasgos, éstos podrían ser sus principios inspiradores:

- 1) *Mejora de la transferencia de tecnología*, reforzando las actuaciones de *apoyo* a las Oficinas de Transferencia de Tecnología (OTRI).

Se debe constituir un comité de coordinación *de las OTRI* para redefinir el modelo y diseñar instrumentos específicos para cada modalidad (convenios de asesoramiento, realización de análisis, venta o licencia de patentes y *know-how*, *creación de empresas de base tecnológica*, etc.) y sector (emergente como el biotecnológico, tradicional como el alimentario o metalúrgico, etc.).

- 2) *Apoyo* a la explotación de la *propiedad intelectual*, con la creación de una *Oficina de fomento de las invenciones patentables*, en la que participen las Comunidades Autónomas.
- 3) *Impulso a los Parques Científicos y Tecnológicos* como elementos dinamizadores de la innovación, siendo aconsejable la aprobación de *planes de ordenación* regionales o provinciales para optimizar sus resultados y evitar duplicidades.
- 4) Desarrollo de *empresas de base tecnológica*, a través de la disponibilidad de *instrumentos financieros* (capital semilla, capital riesgo, etc.), de estructuras y programas de apoyo a emprendedores y proyectos (formación, tutoría, infraestructuras tipo incubadoras y viveros de empresas, etc.), así como *facilitando la presencia de investigadores públicos en las mismas*.
- 5) *Refuerzo* de la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica en las empresas, especialmente en las pymes, basado, no exclusiva ni principalmente en las subvenciones, sino también en las *ayudas para la contratación de investigadores y tecnólogos*. Estas actuaciones se completarán con el *apoyo a las infraestructuras de servicios tecnológicos* de los diversos sectores productivos, con la participación y el refuerzo de los *centros tecnológicos*.
- 6) Priorización de los *proyectos concertados* entre Universidades y Organismos Públicos de Investigación con empresas, a través del programa PROFIT.
- 7) *Evaluación de los planes de apoyo a la I + D de las empresas*, así como de su *impacto en la competitividad*, identificando indicadores tales como: el número de nuevos productos y procesos creados, el nuevo empleo generado de investigadores y tecnólogos, el número de patentes producidas, las contrataciones efectuadas con Universidades, OPI y centros tecnológicos, etc.
- 8) Consolidación del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) *como ANEP tecnológica*, para la evaluación de la

idoneidad y grado de efectividad de los proyectos, así como de la implantación de las medidas fiscales de apoyo a las empresas.

- 9) Reconocimiento del papel de los *investigadores y tecnólogos* del sistema público, que trabajen en *investigación aplicada*, por ejemplo, a través de la implantación de *sexenios tecnológicos*.
- 10) *Evaluación del sistema de beneficios fiscales* para incentivar la inversión en I + D + I en el sector privado. Estas medidas no han tenido, hasta el momento, una incidencia importante, por lo que habrá que desarrollar una normativa sobre los informes motivados de carácter vinculante del Ministerio de Ciencia y Tecnología, que asegure su eficacia dando seguridad jurídica a las empresas y mantenga la ecuanimidad y transparencia en el sistema de desgravación.

12.7. Sociedad de la Información

El desarrollo de la Sociedad de la Información es un objetivo irrenunciable para los países que quieran apostar por una *economía basada en el conocimiento*. Estamos asistiendo a un cambio acelerado del modelo social actual, por lo que debe ser también un factor de bienestar y cohesión social.

La generalización y universalización de la Sociedad de la Información tiene que ser una apuesta firme de nuestro país y, para ello, las distintas Administraciones deben impulsar medidas que favorezcan la consecución de este objetivo. Por un lado, desde la perspectiva de la política general de las *Telecomunicaciones* favoreciendo una *liberalización real*, que se base en una competencia efectiva, que genere *beneficios sociales* referidos a *precios* más baratos y servicios de más *calidad* y más *próximos* a los ciudadanos. Por otro, con el desarrollo de actuaciones dirigidas a las distintas Administraciones (educativas, sanitarias, tributarias, etc.), a las pymes para mejorar la productividad, e introduciendo las tecnologías de la información y las comunicaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

España, según datos de Organismos nacionales e internacionales o del propio Ministerio de Ciencia y Tecnología, está bastante *retrasada* en estas materias. Sólo el 25,5% de la población española es

usuaria de Internet, hay una baja tasa de acceso a Internet de los hogares españoles frente a la media europea (17,4% frente al 53%) y la inversión de nuestro país en tecnologías de la información es el 1,9% frente al 3,2% de la media europea.

El Gobierno puso en marcha el Programa Info XXI, que no tuvo el impacto deseado por distintas causas que no voy a analizar. Posteriormente, creó la denominada *Comisión Soto*, que ha estudiado la situación y ha propuesto una serie de iniciativas a tener en cuenta.

Pero, además de los estudios y recomendaciones es necesaria la aprobación por el Parlamento de un *Plan de la Sociedad de la Información para la convergencia con Europa*, que comprometiera a todos los agentes afectados. Este Plan debería recoger *indicadores de control*, la *financiación* concreta de cada una de las acciones, así como la creación de una Comisión de *seguimiento* y contemplar mecanismos de *coordinación* y *cofinanciación* de las tres Administraciones (estatal, autonómica y local), y del sector de la tecnología de la comunicación.

Por último, señalaría como objetivo estratégico la realización de un *Programa de e-aprendizaje*, que permitiera utilizar el potencial de Internet en los procesos de enseñanza/aprendizaje.

12.8. Relaciones entre Ciencia y sociedad

El *progreso* científico y tecnológico ha avanzado a gran velocidad en los últimos años en numerosos aspectos, lo que ha originado un intenso *debate* público en distintos países sobre los beneficios, las implicaciones y los efectos que tienen o pueden tener estos avances para los ciudadanos, la sociedad o el medio ambiente. Este progreso continúa aumentando en la actualidad a un ritmo vertiginoso, por lo que es oportuno *abordar* una profunda *reflexión* sobre las nuevas relaciones entre *Ciencia*, *Tecnología* y *sociedad* con participación de todos los agentes implicados y, muy especialmente, de la sociedad civil.

Asimismo, se puede destacar que los conocimientos científicos y tecnológicos en el desarrollo de la economía y su utilización por el sistema productivo son el soporte básico del fenómeno de la *globalización* de los mercados y de la producción. Esta nueva situación precisa, hoy más que nunca, de *actuaciones políticas* contundentes para alcanzar los mayores efectos positivos posibles de la globalización so-

bre la sociedad y para eliminar los efectos negativos que este fenómeno ha producido o puede producir.

Si aceptamos, por tanto, la importancia creciente que tienen los avances científicos y tecnológicos en la sociedad, tendremos que concluir que sería conveniente la *participación de los ciudadanos en la toma de decisiones*, desde el conocimiento de estos avances, para realizar un *buen gobierno de la Ciencia*.

La Comisión Europea ha puesto en funcionamiento un Plan de acción *Ciencia y sociedad*, que se inscribe dentro de tres grandes debates comunitarios: la Estrategia de Lisboa para convertir a la Unión Europea en la economía basada en el conocimiento más dinámica y competitiva del mundo en 2010, la creación del Espacio Europeo de Investigación (EEI) y la aplicación del *Libro Blanco* sobre la gobernanza europea y el debate sobre el futuro de Europa.

Sus objetivos son la *promoción de la educación y la cultura científica* en Europa, el *acercamiento de la Ciencia a los ciudadanos* y la necesidad de una Ciencia responsable como núcleo de las políticas, analizando la dimensión ética de la Ciencia y las nuevas tecnologías.

España ha iniciado tímidamente acciones en este sentido, que habría que reforzar mediante la aprobación parlamentaria de un *Plan Español de Ciencia y Sociedad*, con objetivos similares a los contemplados en el resto de Europa, pero adaptados a la realidad española. En nuestro país es necesario un esfuerzo adicional para interesar a la sociedad en estos temas, debido a nuestro tradicional alejamiento histórico de los mismos, a pesar de las brillantes y significativas excepciones de todos conocidas.

Dentro de ese Plan deberían figurar algunas medidas adicionales a las ya iniciadas (celebración de Jornadas y Semanas de la Ciencia, Programas de Difusión y Divulgación de la Ciencia, etc.), como las siguientes:

- Creación de un *Consejo Español de Ética de Ciencia y Tecnología*, a través de una Ley tramitada en el Parlamento, como órgano independiente, consultivo y de información, que entienda de las implicaciones éticas derivadas de la Ciencia y la Tecnología en todas sus aplicaciones.
- Desarrollo de una *política de asesoramiento científico al Parlamento*, a través de la Fundación Española para la Ciencia y la

Tecnología (FECYT), que sirva también para promover el debate público sobre la Ciencia y la Tecnología.

- Diseño y realización de políticas dirigidas a avanzar en la *igualdad de géneros* para favorecer la presencia de la mujer en el Sistema de Ciencia y Tecnología. Para ello se elaborará un *Programa de Mujer y Ciencia*, que tenga en cuenta los trabajos realizados a escala europea, como el Informe ETAN, el Grupo de Helsinki o el Informe WIR 2003.
- *Impulso de actuaciones* (de investigación, de cooperación, de apoyo a las ONG, de acceso a medicamentos esenciales, de tratamiento de enfermedades olvidadas, etc.) a nivel nacional e internacional dirigidas a *solucionar* la dramática situación relativa a la *salud* que se vive en *países atrasados* y que afecta especialmente a personas que sufren una *pobreza severa*. Sirva a modo de ejemplo el hecho de que el 97% de las enfermedades transmisibles (sida, tuberculosis, malaria, etc.) se producen en estos países.

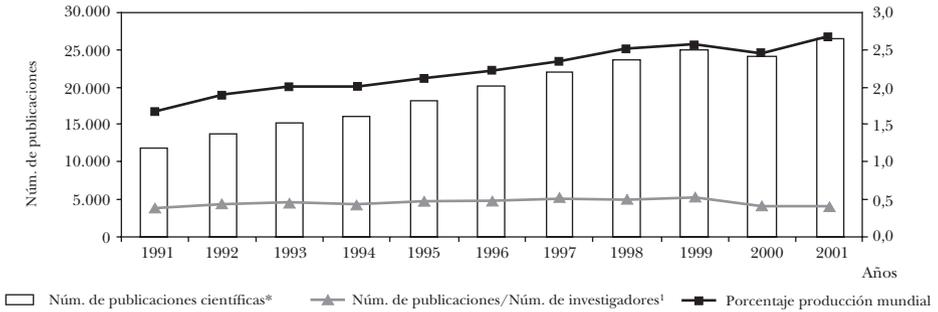
12.9. Conclusiones

Queda un largo camino por recorrer, pero hay *elementos positivos* para abordarlo. Tenemos buenos *investigadores*, como muestra el notable incremento de la producción científica española en cantidad y calidad (gráfico 12.4), aunque no sea similar en todas las áreas. Si a ello unimos una decidida apuesta de los poderes públicos para aumentar la financiación, mejorar la coordinación y la gestión, afrontar un ambicioso programa de *Recursos Humanos*, crear un clima favorable para la innovación empresarial y el desarrollo armónico de la Sociedad de la Información, habremos avanzado decisivamente para alcanzar la *meta* que nos proponemos: *igualarnos con los países europeos más desarrollados en Ciencia y Tecnología*.

Para conseguirlo, hay que realizar un *diálogo sincero y abierto*, que permita construir un futuro brillante para nuestra sociedad. Todos tenemos esa responsabilidad. Una *responsabilidad*, que no es exclusivamente expresar grandilocuentemente principios generales, sino también *trabajar con rigor y seriedad sobre aspectos concretos*. Se habla de

GRÁFICO 12.4: Producción científica, 1991-2001

	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Núm. de publicaciones científicas*	11.903	13.824	15.309	16.214	18.283	20.080	22.077	23.783	25.065	24.073	26.349
Núm. de publicaciones/ Núm. de investigadores ¹	0,41	0,46	0,48	0,44	0,50	0,50	0,53	0,52	0,54	0,43	0,43
Porcentaje producción mundial	1,68	1,91	2,01	2,02	2,12	2,23	2,35	2,51	2,57	2,44	2,69



¹ En equivalencia a jornada completa y sólo Administración Pública y Enseñanza Superior.

* De trabajos realizados en instituciones españolas, en las que al menos un autor pertenece a la institución.

Fuente: sci Search 1992-2002 (CINDOC).

un *Pacto de Estado* sobre la Ciencia. Yo estoy de acuerdo; pero tiene que ser un *Pacto* consistente, que contemple medidas concretas; la *letra pequeña de un Compromiso con los ciudadanos*.

13. La Ciencia en los programas y estrategias de los partidos políticos

Ana Mato Adrover

Portavoz del PP en la Comisión de Ciencia
y Tecnología del Congreso de los Diputados

EL conocimiento científico, desde la época clásica, se ha considerado una disciplina autónoma, generadora de invenciones y avances, independiente de ideologías, gobiernos y momentos históricos, y una especie de coto de intelectuales y sabios cuyos resultados no salían de ese estrato de la sociedad. Desde el Renacimiento, con el paso de los años, de los siglos, este conocimiento científico ha ido influyendo cada vez más en nuestras sociedades, se ha convertido en elemento de desarrollo, los inventos han facilitado la vida, las innovaciones han mejorado el bienestar de los ciudadanos. En definitiva, la Ciencia, su conocimiento y su aplicación se han convertido en un elemento básico para el progreso de las sociedades.

Y en este contexto, los representantes de los ciudadanos, los partidos políticos e instituciones públicas tenemos la responsabilidad de articular ese conocimiento y mediante la acción política convertirlo en beneficio y en una mejor calidad de vida para los ciudadanos.

Con este comienzo, quiero agradecer a la Fundación General de la Universidad Complutense y a la Fundación BBVA la oportunidad que me han brindado al participar en este libro y, al mismo tiempo, felicitarles por el momento elegido para la edición de este volumen. El barco de vapor en su momento, el petróleo, la electricidad o el teléfono fueron acontecimientos que cambiaron el desarrollo de nuestro mundo. Hoy, en el comienzo del siglo XXI, vivimos el apogeo de la Sociedad del Conocimiento; las nuevas tecnologías de información y comunicación, la Biotecnología, la Genética o los planes en I + D se presentan como los instrumentos para afrontar los retos que se nos van a presentar en este siglo. Ante este panorama, es realmente un acierto convocar en torno a este libro a todos aquellos sectores, responsables políticos, científicos, investigadores o uni-

versidades, que podemos influir para que todo el conocimiento científico tenga por objeto ponerse al servicio de la sociedad.

Dentro de *El conocimiento científico como referente político en el siglo XXI*, la aportación que debo hacer, se centra en la importancia que tiene la Ciencia en los programas y estrategias de los partidos políticos, por eso no quisiera desviarme mucho del capítulo. Durante las siguientes páginas voy a tratar de responder a este cometido desde ambos puntos de vista y, como no puede ser de otra manera, desde las ideas, convicciones y valores que representa el Partido Popular. En primer lugar haciendo una valoración de lo que la Ciencia significa o supone en la confección de nuestros programas electorales y de la manera de articular las demandas de la sociedad a través de nuestras propuestas. En segundo lugar, me centraré en el desarrollo de esas propuestas. En este punto, será necesario diferenciar el componente estratégico que supone la elaboración de un programa: sabiendo articular esas demandas antes mencionadas, acertando con las propuestas y las necesidades y presentando objetivos reales y alcanzables, de lo que supone la acción política de un partido que alcanza el Gobierno y debe ejecutar esos programas.

Los *programas electorales* vienen a ser las soluciones propuestas a las inquietudes de los ciudadanos, y es a través de los programas como mejor vemos en qué medida la Ciencia ocupa un lugar relevante en su proyecto político. Pero lo que realmente hace de ese compromiso una realidad es la acción política, es la ejecución de esas promesas. Y esto también tiene un componente estratégico fundamental, ya que cualquier estrategia política parte de una teoría basada en unas convicciones, teoría que queda reflejada en un programa electoral, pero que necesita de la confianza de los ciudadanos para poder llevarlo a la práctica. Y es esa práctica, esa buena práctica, la que otorga y quita credibilidad a los partidos, y sin esa credibilidad, sin esos objetivos cumplidos, de nada vale la mejor de las estrategias.

13.1. El conocimiento científico: una base para la acción política

Como se está poniendo de manifiesto en este libro, los avances en el conocimiento científico y el aprovechamiento de los recursos tecno-

lógicos son aspectos ineludibles en nuestros tiempos, y es evidente la creciente importancia de los conocimientos científicos y de las capacidades tecnológicas en todos los aspectos de la vida. Como el resto de ciudadanos, desde un partido político contemplamos que sin la Ciencia y la Tecnología moderna sería impensable no sólo el mantenimiento de los avances logrados, sino también el desarrollo futuro de nuestra sociedad.

Si antes el carbón o el petróleo, o hace poco la maquinaria, eran avances que determinaban el nivel de bienestar de la población, ahora la Ciencia y el conocimiento y su aplicación a través de la Tecnología son factores esenciales para el bienestar y el progreso de los pueblos (Foray y Freeman, 1992). Y si esto es así, los partidos políticos no podemos ser ajenos a ello, no podemos dejar el 100% de la I + D a la iniciativa privada o en su caso dejar de incentivarla, no podemos obviar nuestra obligación de usar estos avances para ofrecer soluciones y mejorar la calidad de vida. Hemos visto cómo el ámbito educativo puede ser un factor fundamental para transformar la enseñanza a todos los niveles, y así generar los recursos humanos cualificados que requiere uno de los países más desarrollados como es España; si hablamos de salud, la generación y aplicación del conocimiento científico se convierte en vacunas y mejores tratamientos o en tecnología al servicio de una mejor atención sanitaria; qué decir de la importancia que para el medio ambiente puede tener la Ciencia y la Tecnología, y favorecer los objetivos de desarrollo sostenible y de aprovechamiento y uso responsable de los recursos naturales.

Y en este contexto, los partidos políticos, cuando hacemos nuestras propuestas, o cuando mediante la acción pública las llevamos a cabo, necesitamos de ese conocimiento científico que con demasiada frecuencia se encuentra fuera de los partidos, lo cual es positivo y negativo al mismo tiempo.

Uno de los elementos de valor de un partido, uno de los más importantes, son sus cuadros internos, sus equipos, la capacidad de tener expertos en las diferentes disciplinas, y tener personas que abarquen todo el arco generacional. En este sentido, el Partido Popular desde 1989 ha tenido muy clara la importancia de este elemento para poder elaborar sus programas y, posteriormente, ocupar puestos de responsabilidad. Pero, el lector estará de acuerdo conmigo en que hay aspectos en la vida sobre los que le-

gislar, cada vez más, que requieren un conocimiento técnico (científico) que es muy difícil de encontrar en el seno de un partido. Esto es un déficit de los partidos que tiene diversas formas de corregirse.

Una sería el «fichaje» de expertos, lo cual le daría mayor peso y valor al partido y sus propuestas, pero por otro lado se podría producir el choque entre visión política y visión científica, es decir, en el caso de un científico vinculado directamente a un partido político, ¿dónde acaba el político y empieza el científico? Quizá esta reflexión pudiera extenderse a otras áreas de la vida.

Otra posibilidad es la *asesoría externa* al partido por parte de esos científicos para momentos clave. Cualquier partido que no mantenga un contacto permanente con los diferentes sectores de la sociedad es un partido al margen de la sociedad. Y en el campo de la Ciencia y la Tecnología, donde los avances y los cambios son constantes, el contacto debe ser continuo y profundo. El Partido Popular tiene establecido en sus Estatutos la existencia de unas Comisiones de Estudio, que se encargan de la formación y la recogida permanente de conocimiento; dichas Comisiones, obviamente, no están sólo formadas por personas vinculadas directamente al Partido, sino que expertos y conocedores de esa disciplina concreta aportan ideas frescas, innovadoras y, si se quiere ver así, *descontaminadas de cualquier orientación política*. Estas Comisiones funcionan de manera general a lo largo de la vida de un partido, pero adquieren especial e indispensable relevancia a la hora de preparar un proceso electoral. Es público que el Partido Popular ya ha emprendido las suyas de cara a las elecciones de 2004 y supongo que el resto de partidos estarán actuando de igual forma. Se trata de uno de los momentos más intensos de la vida de un partido, un momento de gran debate interno en el que el contacto con los sectores científicos se intensifica aún más si cabe, y en el que la multitud de propuestas que nos llegan son analizadas, valoradas y cuantificadas, así como estudiadas según su viabilidad y sus posibilidades reales y, claro está, deben ajustarse a los valores, ideas y principios que defiende el Partido.

Pero una de las bases principales de un partido moderno es, en estos momentos, los llamados *think tanks*. Se trata de llevar la asesoría a un nivel cualitativo superior. En España, la mayoría de

partidos están vinculados con fundaciones que les nutren de personas formadas, textos y propuestas políticas que se van renovando continuamente. En el campo científico han sido varias las actuaciones, desde ciclos específicos, estudios o libros como *Ciencia y Tecnología en España: bases para una política* (Ollero, Luque y Millán, 1998).

Vistas estas fuentes de información que generalmente todo partido utiliza, vemos que no es posible hablar de la Ciencia y su vinculación con los partidos políticos sin hablar de ideas, de valores, en definitiva, de ideología. Y esta precisión no es negativa en absoluto. La Ciencia o el conocimiento científico se diferencia de otras formas de pensamiento por su objetividad, racionalidad o sistematicidad, características complicadas de unir al pensamiento o a la ciencia política.

En democracia, los ciudadanos eligen a sus representantes según esas ideas y propuestas, los designan porque comparten una visión de las cosas, una concepción de la vida, un proyecto. Cuando un partido político diseña su estrategia electoral y ofrece las propuestas a los ciudadanos tras haberse nutrido del conocimiento científico necesario, está defendiendo explícitamente unos valores y unas ideas que han configurados esas propuestas. Por lo tanto, es en estos momentos cuando entra en juego el componente ético y moral que los representantes políticos debemos tener en cuenta a la hora de decidir sobre cuestiones científicas que repercuten en nuestras vidas y que afectan a cuestiones fundamentales del ser humano.

13.2. El compromiso del centro reformista con la Ciencia

En el XIV Congreso del Partido Popular establecimos las bases de nuestro proyecto de España para los próximos años. No se trataba del inicio de un nuevo proyecto sino la ratificación y, en parte, renovación de ese proyecto. Las ideas allí plasmadas son el resultado de la evolución de nuestro partido y el origen de las nuevas propuestas, también en el ámbito de la Ciencia y la Tecnología. Éramos conscientes del momento que vivíamos y los retos que se debían afron-

tar, y así definimos nuestro compromiso (XIV Congreso Nacional del Partido Popular, 2002):

- Defender la convivencia con pleno respeto a las ideas de los demás. Es la aceptación de los distintos criterios y posiciones ideológicas que una sociedad abierta y plural tiene; aceptar y defender que esta complejidad es una riqueza de y para la sociedad.
- Defender una España plural y la pluralidad como riqueza [...].
- Defender una educación que forme personas con espíritu crítico, con capacidad de análisis.
- Defender la modernidad entendida como apertura individual y social a las nuevas cuestiones que la evolución de la propia sociedad nos plantea. Entendida como esfuerzo colectivo a favor del progreso, como capacidad de innovación.

Estos puntos, extraídos de un Documento Político del Partido Popular, hacen referencia a las bases de nuestra ideología de centro reformista, pero si las trasladamos al plano científico, tienen el mismo sentido. Respeto a las ideas y a los criterios, sobre todo cuando en el campo de la Ciencia chocan a menudo innovación y ética; pluralidad como riqueza; educación; modernidad, progreso e innovación.

Y a partir de estas convicciones, desarrollamos nuestros programas. Al igual que el resto de los ciudadanos, me preocupo y reflexiono acerca de los nuevos fenómenos (genética, clonación...) que los avances científicos están provocando, y entiendo que los ciudadanos, a los responsables políticos, nos exijan rigurosidad en nuestros planteamientos, por eso creo que es básico el asesoramiento, al que antes hacía referencia, y así promover un progreso científico que combine la defensa del interés general y el respeto a la dignidad del ser humano.

El campo de la Biomedicina plantea importantes dudas éticas, a las que hay que responder con decisiones de carácter nacional, pues hablamos en muchos casos de derechos fundamentales de la persona. Estas dudas y estas reflexiones también han existido y existen en el seno de un partido como el Partido Popular; nuestros programas han reflejado nuestra posición en estos temas, y partiendo de estas consideraciones morales y éticas, y apoyados en los in-

formas de los expertos, en las consultas y órganos mencionados, los programas han sido un ejemplo de nuestro apoyo a la investigación científica y a la Biotecnología, especialmente en el campo de la medicina.

13.3. Un programa basado en la Ciencia y la innovación

A lo largo de estas páginas, una palabra está sobrevolando continuamente sobre cada planteamiento: innovación. Si existe un requisito obvio para ganar el futuro, éste es el de la *innovación*. La innovación supone, en un programa de centro reformista, incrementar el nivel de la Ciencia y la Tecnología; elevar 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; incrementar los recursos humanos cualificados, tanto en el sector público como en el privado; y aumentar el nivel de conocimientos científicos y tecnológicos de la sociedad española. Nuestras políticas en el ámbito científico han tratado de aproximar recursos humanos y económicos en política científica a la media europea, han buscado el apoyo a la innovación empresarial con incentivos fiscales y económicos, han ido encaminadas a impulsar y facilitar el desarrollo de proyectos de investigación de alcance con la participación multidisciplinar de Universidades, Organismos Públicos de Investigación y Empresas.

Por otro lado, las *Tecnologías de la Información y la Comunicación* (TIC) han redefinido numerosos procesos, laborales y humanos, de ahí que sea tan importante la inversión en tecnología y en infraestructuras. Creo firmemente que debe ser una prioridad en el futuro, como ha venido siendo hasta ahora —y que en los próximos años va a convertirse en uno de los ejes de programa de los partidos políticos en España—, la formación en nuevas tecnologías; es necesario llevar a cabo ese esfuerzo, así como dar prioridad a la *adecuación de las políticas tecnológicas e industriales en el seno de la sociedad, haciendo frente a las fortalezas y debilidades de nuestro entramado empresarial* (XIV Congreso Nacional del Partido Popular, 2002).

Desde el Partido Popular creemos que la *investigación científica* y el apoyo a las Universidades son el eje central donde se ejecuta la

mayor parte de la investigación pública. Asimismo, fortalecer las actividades del csic ha sido una prioridad en nuestros programas, consolidando un relevante papel en el sistema de I + D + I y favoreciendo el desarrollo de su programación científica basada en una investigación de calidad. Es un dato objetivo cómo se ha mejorado la formación de investigadores, mejorando su carrera profesional y reincorporándolos al sistema público español con programas como el Ramón y Cajal y a la empresa mediante el Torres Quevedo.

En las próximas páginas voy a desarrollar las propuestas principales que en los últimos años ha presentado el Partido Popular, y que están directamente relacionadas con el campo científico y tecnológico. Soy consciente de que un programa electoral no aparece entre los *libros más vendidos*, pero creo interesante que el lector pueda analizar cuál ha sido la línea de trabajo así como la estrategia que ha definido el Partido Popular para lograr los objetivos marcados. De esta forma, se podrá analizar el grado de coherencia y rigor que han tenido nuestras propuestas y nuestra acción política.

Tres son los puntos o ejes que propusimos en el programa y que están vinculados directamente con el campo científico:

- Desarrollar el *Plan Nacional 2000-2003* de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica (I + D + I).
- Incorporar al conjunto de la ciudadanía española a la Sociedad de la Información.
- La innovación como instrumento para una *protección más eficaz del medio ambiente*.

13.3.1. Balance del Plan I + D + I (2000-2003)

Desde que empezamos a diseñar nuestra política científica con criterios estratégicos, vimos que era prioritario la elaboración de un Plan plurianual, que aglutinara todas las políticas y proyectos para obtener una política científica ordenada, rigurosa y con criterio. Y siguiendo las orientaciones más modernas de las políticas científicas y tecnológicas, y con el asesoramiento de importantes órganos científicos, el Gobierno estableció los objetivos del Plan:

- Incrementar el nivel de la *Ciencia y la Tecnología españolas*. El objetivo básico era incrementar el tamaño del Sistema español

de Ciencia-Tecnología-Empresa (C-T-E), tanto en número de investigadores y tecnólogos como de empresas innovadoras y centros de I + D.

- Elevar la *competitividad de las empresas* y su carácter innovador. En este sentido, el objetivo era dotar al Sistema de C-T-E de mejores instrumentos financieros y fiscales que permitieran acelerar la incorporación de tecnología y la creación de nuevas empresas de base tecnológica.
- 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, haciéndola partícipe de los logros alcanzados.

Para conseguir esos objetivos estratégicos enunciados, se pusieron en marcha una serie de medidas durante el periodo de desarrollo del Plan. No creo necesario entrar en cada medida, pero sí en algunas más significativas y que han sido objeto de debate en el sector.

- *Propusimos en el Plan, un incremento sostenido de los recursos económicos y el fomento, al mismo tiempo, del incremento de la inversión privada, de manera que el gasto en I + D llegara al 1,3% del PIB en el 2003, y el gasto en I + D + I al 2% del PIB.*

Es cierto que no se ha llegado al ambicioso 1,3% del PIB, que España se ha quedado este año en el 0,98%, lo cual no debe ser desdenable si tenemos en cuenta el incremento presupuestario de la Función 54 (I + D + I), que se ha multiplicado desde 1996 a 2003 por un factor de 3,5, llegando en 2003 a 4.000 millones de euros o el incremento del presupuesto de los OPI.

- *Quisimos profundizar en los mecanismos de cooperación con las Comunidades Autónomas, con el fin de obtener la máxima sinergia entre el Plan Nacional y los planes regionales de I + D + I.*

En este punto, es importante recordar la firma de Acuerdos Marco con las Comunidades Autónomas, aunque sobre este tema trataré más adelante, pues me parece una de las claves de futuro de la política de I + D en España.

- *Se habló también de impulsar el incremento de la participación del sector empresarial en la ejecución de las actividades de I + D, para que supere el 60% en 2003 con la política de incentivos fiscales puesta en marcha.*

Este objetivo no se ha conseguido en su totalidad, nos hemos quedado, pues, en torno al 52%. Personalmente, creo que es donde debemos aunar más esfuerzos, aunque si atendemos al crecimiento anual de los gastos en I + D empresariales, en valores absolutos ha sido del 6,3%. También debemos tener en cuenta que los fondos públicos destinados a I + D empresarial han crecido un 38%, lo que demuestra que las Administraciones no han dejado de apoyar a la empresa y que, bien por la coyuntura internacional u otros motivos, han sido éstas las que han reducido sus recursos propios destinados a estas actividades.

Concluyendo este punto, se puede decir que estas propuestas del año 2000 son, en muchos casos, realidades de hoy, y en otros tantos, proyectos en marcha. Ha habido objetivos que no se han alcanzado, cierto, pero los compromisos y la voluntad ha sido manifiesta. Así, en el año 2001, 125.750 personas estaban dedicadas a la I + D en nuestro país, lo que representaba el 6,9‰ de la población activa, mientras que en 1996 sólo era el 5,3‰.

En estos últimos años, ha habido un crecimiento en recursos humanos importante; cerca de 30.000 nuevos investigadores. Hemos pasado de 51.600 en 1996 a 80.100 en 2001, así como una duplicación de su número en la Universidad y en los OPI de 1996 a 2001.

Otro dato importante que muestra la realidad de los compromisos programáticos es el hecho de que entre los años 2000 y 2002, la financiación de los proyectos de investigación ha crecido de 158 millones de euros a 250 millones de euros, es decir, sube un 58%, mientras que la dotación media para cada proyecto se incrementó en un 30%, pasando de 62.000 euros a 85.000 euros. El número de proyectos creció en un 14% hasta casi 3.000 y se destinaron más de 500 millones de euros para infraestructuras en universidades y centros de

investigación durante ese periodo. Podemos hablar de la realización de 539 proyectos de centros tecnológicos (42 millones de euros) y 90 proyectos de parques (243 millones de euros) en los últimos tres años. Al mismo tiempo, podemos hablar de apuestas muy importantes como la financiación del GRANTECAN (Gran Telescopio Canario), o nuevos centros y grandes instalaciones como el sincrotrón o la apuesta internacional que supone el ITER (Instituto Tecnológico y de Energías Renovables).

En definitiva, hablamos de plasmar en realidades las promesas, ésa es la base de la estrategia de un partido y que comentaba al principio de estas líneas: la credibilidad.

13.3.2. La Sociedad de la Información del siglo XXI

A comienzos de 1996, España contaba con uno de los mercados de telecomunicaciones más cerrados y monopolísticos de toda la Unión Europea, uno de los precios de los servicios de telecomunicación más caros de toda la UE, así como un enorme déficit en infraestructuras y servicios. Podemos hablar y reconocer la brecha existente con los países europeos más adelantados y estar de acuerdo en lo que nos separa de la media europea, pero lo que no podemos hacer es negar los avances.

La situación española es fruto de nuestra estructura y las políticas llevadas a cabo en los años ochenta. Cuando en aquella época países como Alemania, Finlandia o Suecia apostaban por la inversión en nuevas tecnologías, en España la inversión se estancó. Las razones pueden ser varias: desacierto del Gobierno o una priorización de las necesidades de esa época en la que la innovación no supuso el peso que merecía. Esa distancia se ha ido acortando y, hoy en día, el sector de las telecomunicaciones es radicalmente distinto, y una política de telecomunicaciones decidida y planificada ha hecho posible el cambio. Desde 1996, las propuestas del Partido Popular han girado en torno a cuatro principios básicos:

- Favorecer la competencia con un nuevo marco regulador.
- Invertir en la creación de infraestructuras alternativas a las del operador dominante.
- Promover la innovación e impulsar la convergencia multimedia mediante la digitalización de todos los soportes de transmi-

sión de la información: Televisión Digital Terrestre, Radio Digital Terrestre, sistemas móviles de tercera generación (UMTS), etcétera.

- Fomentar el acceso de todos los ciudadanos a las redes de información (Internet).

El Partido Popular ha tenido como objetivo estimular el despliegue de unas infraestructuras abiertas de alta calidad en régimen de concurrencia, así como incentivar la demanda de aplicaciones y servicios que sirvan para el crecimiento del sector empresarial de la Sociedad de la Información.

Como defensora del mercado libre y de la competencia, entiendo que también en el campo de las telecomunicaciones, debe primar este principio, pero en el marco actual resulta imprescindible el papel proactivo de las Administraciones Públicas, mediante iniciativas legislativas y de incentivación que permitan, con el concurso de la iniciativa privada, acortar las diferencias con los países de nuestro entorno.

- Desde el Partido Popular propusimos *una sociedad con una Administración basada en la transparencia* y centrada en el ciudadano. *Con la ayuda de las nuevas tecnologías, los ciudadanos podrán acceder de modo instantáneo a las unidades de la Administración responsables de sus asuntos, sin necesidad de desplazarse ni de ajustarse a horarios fijos.*

Se trata de una labor compartida entre todas las Administraciones, pero los resultados están llegando como demuestra el hecho de que España se sitúe entre los primeros puestos de la Unión Europea en lo que a Administración Electrónica se refiere.

- Desde el comienzo de esta revolución tecnológica, hemos defendido la necesidad de crear *las infraestructuras adecuadas para impulsar el desarrollo de la economía digital*. Pensamos que era necesario ofrecer un marco legislativo flexible y adecuado para proteger los derechos fundamentales de los ciudadanos en términos de seguridad y privacidad en las transmisiones de datos, así como los derechos de propiedad intelectual.

En los últimos años se han extendido las redes de telecomunicaciones y se están cumpliendo con algunos de los objetivos del Plan Info XXI en este sentido, como es la eliminación de las líneas TRAC. También está creciendo la *red de puntos de acceso público* a las redes de telecomunicación que permitan el acceso de los ciudadanos a Internet y a los nuevos servicios de telecomunicación en núcleos rurales, bibliotecas, centros educativos, corporaciones locales, oficinas del INEM y otros centros públicos.

Se han adoptado iniciativas para alcanzar la cobertura integral del territorio por parte de las redes de telefonía móvil digital. La cuestión de las *antenas de telefonía móvil* es un ejemplo interesante de lo que ocurre cuando se ponen en contacto política y conocimiento científico. Ante un nuevo avance, siempre surge el temor, y el despliegue de antenas de telefonía móvil ha suscitado un debate en la sociedad española, que si bien ahora está algo más *descafeinado*, todavía se siguen sufriendo sus consecuencias. Hay numerosas zonas de nuestro territorio sin cobertura cuyos ciudadanos la reclaman, pero sus ayuntamientos se niegan a dar licencias para la colocación de dichas antenas. Como partido político, siempre somos sensibles a las inquietudes sociales, pero en el último año todos los estudios científicos, recomendaciones de la OMS y de la UE indican que las emisiones nocivas de las antenas son muy inferiores a las de un microondas, aparato común en todas las cocinas españolas. Los responsables políticos lo sabemos, y muchos ciudadanos también, no obstante, existe una parte de la población que no ha podido llegar a esta información y es obligación nuestra dársela, razonarle nuestras acciones y no impedir que el progreso continúe por el temor a perder 100 votos en unas elecciones municipales.

- Nos decidimos a impulsar el *desarrollo del comercio electrónico*. Se trataba de *aumentar la confianza en su utilización y prestar especial atención a la mejora y efectividad de los medios de pago, sistemas de cifrado y de seguridad*.

La aprobación de la *Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y Comercio Electrónico* (LSSICE), con polémica incluida, vino a ocupar ese vacío en nuestro ordenamiento jurídico y a incorporar al mismo la Directiva Comunitaria 2000/31/CE. Creo que es obligación de la

Administración Pública fomentar el desarrollo de las nuevas tecnologías y asegurar un marco jurídico para que usuarios y profesionales tengan una seguridad real en el uso de estos nuevos medios.

La LSSICE tenía como principal objetivo fijar un marco jurídico estable que favorezca el desarrollo de la Sociedad de la Información y el comercio electrónico en España, atendiendo a dos aspectos básicos. En primer lugar, la protección de los derechos de los usuarios, generando la confianza necesaria para potenciar el uso de las nuevas tecnologías y de los diferentes servicios accesibles a través de Internet, en especial del comercio electrónico. Y en segundo lugar, garantizar una seguridad jurídica a los prestadores de servicios de manera que puedan conocer con precisión sus obligaciones y el régimen de responsabilidad aplicable en cuanto a los contenidos que faciliten a través de Internet.

Las últimas medidas adoptadas —*Ley de Firma Electrónica* o las reformas del Código Penal en este tema— han favorecido el desarrollo de servicios y herramientas dirigidas a evitar el uso pernicioso de Internet, es decir, la difusión de contenidos ilegales o contenidos perjudiciales para la infancia y la juventud.

Al inicio de este punto decía que España sufre un retraso tecnológico con respecto al resto de Europa. El año 2000 supuso una nueva etapa en España en lo que se refiere a la política en Ciencia y Tecnología con dos hechos significativos. Por un lado, la creación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, aglutinando las competencias y ejerciendo una labor de coordinación básica y asimilando el modelo recomendado por la Estrategia de Lisboa y previamente puesto en marcha por algunos miembros de la UE. Y por otro lado, la puesta en marcha del tan conocido *Info XXI*, plan que respondía al compromiso del Partido Popular de sacar a España de ese retraso.

Son conocidos los aciertos y errores del Plan Info XXI, pero no creo justo reducir el Plan al número de alumnos por ordenador en las escuelas o que todo el mundo tenga ADSL en casa. Info XXI nace en enero de 2001 con 305 acciones, que no sólo tratan de alcanzar estos objetivos sino de dinamizar las nuevas tecnologías en España y que sus posibilidades beneficien al conjunto de la sociedad, pero no de una manera etérea o difusa, sino con planes concretos y medidas palpables.

Internet en la Escuela se está llevando a cabo con aportaciones de Red.es de más de 120 millones de euros; el programa *Ciudades Digi-*

tales Integradas se desarrolla con una aportación por parte del Ministerio de Ciencia y Tecnología de 50 millones de euros; la nueva Internet para la investigación, la *Red Iris2*, es ya una realidad conectada a la nueva red paneuropea de investigación de alta velocidad GÉANT con un acceso a 2,5 Gb/s; se han concedido 386 millones de euros en ayudas a proyectos presentados dentro del programa *PROFIT*; 5,7 millones de euros a proyectos del programa *ARTE/pyme II* o los proyectos del programa *PISTA*; se inició el proyecto de *Formación de ciudadanos en TIC*; se otorgaron ayudas por importe de 4,6 millones de euros para el programa *FORINTEL* y así un largo etcétera.

En definitiva, los últimos años son un claro ejemplo de los compromisos adquiridos por el Partido Popular. Con el objetivo de lograr un mercado de las telecomunicaciones sólido, que permitiera el pleno desarrollo de la Sociedad de la Información, se acometió desde 1996 la completa liberalización del sector, mediante la aplicación de un marco regulatorio que favorezca la apertura del sector a la competencia y la creación de nuevas infraestructuras. Así, nuevos operadores de telefonía fija y móvil entraron en el mercado, lo que ha beneficiado al usuario y ha permitido reducir las tarifas telefónicas.

Se han impulsado decididamente las telecomunicaciones por cable, ADSL e Internet móvil; según datos de 2002, el 47% de los usuarios de Internet usan cable o ADSL, y nuestra tasa de crecimiento es de las más altas junto a Francia y Portugal (Fundación Auna, 2003). Se ha apostado también por las comunicaciones por satélite; la puesta en marcha del tercer satélite Hispasat es una clara manifestación del compromiso con el futuro. El definitivo impulso a la televisión y la radiodifusión digital forman parte de la apuesta por la Sociedad de la Información.

El impulso de medidas que fomenten la plena incorporación de ciudadanos y empresas a la Sociedad de la Información ha sido una prioridad. La implantación de la tarifa plana de acceso a Internet, la creación de nuevos incentivos fiscales para la introducción de nuevas tecnologías en las empresas, han contribuido a la expansión de las nuevas herramientas de la información, pasándose de apenas 242.000 usuarios en marzo de 1996 a más de 7.800.000 en marzo de 2001.

Recientemente fueron publicadas las Conclusiones de la llamada *Comisión Soto*, una Comisión independiente, de profesionales de

reconocida solvencia a la que se le había encargado en los últimos cinco meses realizar un análisis de la situación española. En estas conclusiones ha quedado constancia de dos cuestiones muy relevantes. Por un lado, ha quedado reconocido el esfuerzo realizado por el Gobierno del Partido Popular desde 1996, y especialmente desde el año 2000, involucrándose de lleno en la estrategia europea *e-europe*. No es baladí hablar de liberalización de las telecomunicaciones, del mercado de ADSL, de los precios de la telefonía fija o el mercado de móviles. Y no lo es menos, reconocer el éxito de programas como *Internet en la Escuela*, de nuestra apuesta por la Administración Electrónica, reconocida por la OCDE, los avances en la incorporación de las nuevas tecnologías a la sanidad o en las pymes.

Las liberalizaciones llevadas a cabo han producido un 70,55% de reducción en tarifas de llamadas de telefonía fija y del 56,94% en llamadas de fijo a móvil desde 1996; a día de hoy, casi tenemos un móvil por ciudadano frente a los 900.000 teléfonos móviles existentes en 1996; más de un millón de líneas ADSL; más de un 30% de población internauta y más del 70% de las empresas tienen acceso a Internet (Fundación Auna, 2003).

Por otro lado, la Comisión nos ha dibujado el panorama a corto y medio plazo, así como los retos que debemos afrontar (CDSI, 2003). Estoy completamente de acuerdo con los expertos, pero personalmente me quedo con uno de los puntos: un mayor compromiso y liderazgo político.

La apuesta del Partido Popular quedó muy clara, como ya he comentado en otras ocasiones, cuando en el año 2000 (CDSI, 2003), José María Aznar creó el Ministerio de Ciencia y Tecnología. He mencionado varias veces este hecho, pero quisiera dedicarle un par de líneas. Hay quien lo llama propaganda o parafernalia mediática sin contenido, pero eso demuestra una cosa: el desconocimiento de lo que debe ser una apuesta basada en el rigor, en la estrategia y en los objetivos. La creación del Ministerio supuso la creación de un Departamento que iba a coordinar, gestionar y desarrollar todas las políticas de lo que llamamos *Sociedad de la Información*, y así, como se ha visto, mejorar su eficacia y eficiencia. Y ahora, tras las elecciones del 25 de mayo, muchos municipios y Comunidades Autónomas han creado una *Concejalía o Consejería de Nuevas Tecnologías o para la Sociedad de la Información*.

El paso era, necesariamente, ése, ¿qué era lo siguiente? Un Plan, un Proyecto; y dentro de las estrategias europeas, surgió Info XXI. Un Plan que, con sus virtudes y defectos, con sus aciertos y desaciertos, ha conseguido al menos dos cosas:

En primer lugar, introducir en el debate político algo por lo que siempre hemos apostado en el Partido Popular: el desarrollo económico y social de una sociedad moderna pasa, ineludiblemente, por la inversión y el desarrollo en nuevas tecnologías y en conocimiento. Y en segundo lugar, Info XXI supuso, ahora que acabó su vigencia, una importante base sobre la que fijar los nuevos proyectos, el nuevo Plan, tal y como recomienda la Comisión. Info XXI es en estos momentos nuestra herramienta y su valoración nos vale de diagnóstico, y las recomendaciones son nuestras líneas de trabajo. Ahora es labor del Gobierno ejecutar esas ideas.

Tenemos un reto por delante: situarnos en la media europea en usuarios de Internet, obtener un sector de las telecomunicaciones dinámico y competitivo, poseer un sector audiovisual plural, eficiente y de calidad, aprovechar, en definitiva, las ventajas que la Sociedad de la Información nos ofrece, para generar mayor bienestar y mayor riqueza y desarrollo para los ciudadanos.

Éste es el modelo del Partido Popular, y a día de hoy, el único modelo claro, serio y riguroso planteado en nuestro país. Las apuestas se demuestran con hechos, y las medidas llevadas a cabo, así como diferentes iniciativas legislativas, evidencian que la Sociedad de la Información en que creemos debe ser construida por todos, pero lo más importante, debe ser disfrutada por todos.

13.3.3. Nuevas oportunidades e innovación en Medio Ambiente

Otro de los aspectos que mencionaba al principio y que está muy ligado a los avances tecnológicos y científicos es la *política medioambiental*. Desde un partido de centro reformista, entendemos la política medioambiental como una apuesta continuada en favor de la calidad de vida y la salud humanas, la conservación y mejora de la vida en el planeta, y el uso sostenible de los recursos naturales. Nuestro compromiso comenzó a plasmarse en 1996, con el primer Gobierno del PP se creó el Ministerio de Medio Ambiente, y a partir de ahí comenzaron las propuestas y las políticas, conscientes de que la contaminación y el uso ineficiente de los recursos naturales em-

pobrecen nuestro país y deterioran nuestro entorno. Por ello, en el Partido Popular nos propusimos llevar a la práctica una política ambiental destinada a crear un entorno sano como factor de calidad de vida. Una política preventiva guiada por la protección y conservación de nuestro rico patrimonio natural, el ahorro y uso eficiente de la energía, la mejora del abastecimiento y la calidad de las aguas y la reducción de la contaminación industrial y urbana, de manera que nuestro desarrollo económico sea respetuoso con nuestro medio ambiente y con nosotros mismos.

Cuando hablamos de Ciencia o Biomedicina, todo el mundo entiende que pueda tratarse de patrimonio de unos pocos, de expertos y eruditos. Pero a la hora de hablar de mejorar nuestra calidad de vida y contribuir de manera responsable a la resolución de problemas a escala global, como el cambio climático, creo imprescindible la participación ciudadana y el compromiso de todos. Por eso, nuestra política medioambiental se basará en la colaboración, la participación pública, la información, la educación y la concienciación ciudadana. Porque entendemos que la protección del medio ambiente es una responsabilidad cívica y una responsabilidad de todos.

En nuestro programa de 2000, iniciamos nuestras propuestas en esta materia con una máxima: *La modernidad y el progreso de un país se miden también por la calidad de su medio ambiente*, y eso se ha traducido en una apuesta en la que la preservación y mejora del medio natural constituye una base esencial para garantizar la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras, y un desarrollo económico sostenible a largo plazo.

Si la salud de los ciudadanos puede y debe beneficiarse de los avances tecnológicos, la salud de nuestro entorno no tiene que ser menos. Son varios los frentes en los que estos avances pueden contribuir de manera significativa: lucha contra la contaminación —especialmente en materia de aguas y residuos urbanos— políticas de planificación y conservación de nuestros recursos naturales, y programas de acción que afronten nuestros desequilibrios históricos en la lucha contra la desertización y la restauración forestal o la garantía en el suministro de agua para evitar el colapso de nuestro desarrollo económico.

El Partido Popular desde el comienzo apostó por *el Plan de Fomento de las Energías Renovables (2000-2006)* para apoyar el desarrollo

tecnológico y el uso de estas fuentes energéticas que contribuyen a reducir la dependencia energética y la contaminación, herramientas también útiles para las *leyes de Envases y Residuos de Envases* y la *de Residuos*, que sentaron las bases para una gestión de los residuos eficaz, preventiva y moderna.

Como muestra de la vinculación que creo existe entre Ciencia y medio ambiente, es interesante reflejar aquí las líneas básicas que propusimos en el Programa 2000 del Partido Popular: «Para que el medio ambiente tenga una protección eficaz es preciso integrar las exigencias de protección del medio ambiente en todas las políticas productivas nacionales.»

- Se apostó por *incluir, en la nueva normativa de evaluación de impacto ambiental, la evaluación de planes y programas, el seguimiento de las Declaraciones de impacto y la adecuada participación e información de las partes implicadas, para garantizar una correcta y ágil aplicación de la legislación.*

Para una mejor gestión de los residuos, estamos viendo cómo nuevas técnicas y procedimientos innovadores contribuyen a dar más eficacia a estos procesos. Por eso, propusimos *desarrollar el Plan Nacional de Residuos Urbanos*.

Otra de las metas que nos propusimos fomentar fue la producción limpia y la reducción de la contaminación industrial, y este fin debe ser la base de una política industrial, con planteamientos estratégicos a medio y largo plazo. En este sentido planteamos:

- La revisión del *Plan Nacional de Residuos Peligrosos* para adaptarlo a la nueva legislación en vigor y fomentar la producción limpia y la gestión medioambiental en los sectores industriales.
- El desarrollo de una nueva normativa que facilite, conforme a las directrices europeas, el *Control Integrado de la Contaminación* en los sectores industriales.
- El apoyo a las pymes mediante programas de incentivos y ayudas para que adopten sistemas de gestión medioambiental, sean más competitivas y contribuyan a mejorar nuestro entorno.

En cuestiones como la reducción de la contaminación atmosférica y el ruido, es básico el desarrollo y uso de las *Energías Renovables*, a través del ya mencionado Plan de Fomento de las Energías Renovables y un nuevo Plan de Ahorro y Eficiencia Energética.

13.4. Perspectivas de futuro

Para concluir esta aportación a *El conocimiento científico como referente político en el siglo XXI*, quisiera hacer una serie de menciones no muy extensas a diversas cuestiones que serán objeto de debate político en el año 2004.

Coincidiendo con la elaboración de este libro, desde el Gobierno del Partido Popular, y más concretamente, desde el Ministerio de Ciencia y Tecnología, se están dando las últimas pinceladas al nuevo *Plan Nacional de I + D + I (PN 2004-2007)* que debe establecer los grandes objetivos en investigación científica y tecnológica y ordenar las actividades dirigidas a su consecución. Creo importante hacer una referencia a este plan por estar de actualidad y porque pronto deberán plasmarse en las convocatorias públicas de ayudas, actuaciones sobre grandes instalaciones científicas, participación en programas y organismos internacionales, y en las que los Organismos Públicos de Investigación (OPI) ayuden a su ejecución como consecuencia de su función de apoyo a la Administración General del Estado (AGE). Sabemos que se continuará el proceso iniciado en el vigente PN (2000-2003) de englobar todas las actuaciones que realiza la Administración General del Estado en la Función 54. Aprovechando el remate final del nuevo Plan, creo que se debería potenciar la integración de las actuaciones de las Comunidades Autónomas, con la interacción y la creación del Espacio Europeo de Investigación e Innovación (EEII), la incorporación de las actuaciones de los OPI y, por último, el incremento de la cooperación estable con el sector privado.

Asimismo, anteriormente señalaba la necesidad de *potenciar la integración de las actuaciones de las Comunidades Autónomas*. El desarrollo legislativo y normativo del Título 8.º de la Constitución Española y de los Estatutos de Autonomía de las Comunidades Autónomas desde su promulgación ha sido constante. Aun cuando las competencias en investigación y desarrollo pertenecen a la Administración General del Estado, éstas no son excluyentes con las de las Comunidades

Autónomas quienes, apoyándose en las competencias establecidas en sus respectivos Estatutos de Autonomía (en algunos casos claramente delimitadas), han apoyado el desarrollo de su propio Sistema regional de Ciencia-Tecnología-Empresa (C-T-E) como base de la prosperidad de las Comunidades Autónomas.

Este proceso continúa aún hoy día con la reciente promulgación de leyes de Ciencia y Tecnología en diversas Comunidades Autónomas, la consiguiente creación de órganos regionales de planificación y decisión en este ámbito, y la aprobación de planes regionales de I + D + I con diferentes denominaciones. Esfuerzo legislativo y normativo que se ha visto acompañado de la asignación de crecientes recursos económicos cuya distribución a los actores del Sistema regional de C-T-E es cada vez más tenida en cuenta por éstos a la hora de articular sus propias prioridades científicas y tecnológicas.

Aunque la intervención de las Comunidades Autónomas se realiza en todos los ámbitos del Plan Nacional de I + D + I (la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación tecnológica), la importancia que ha adquirido la innovación tecnológica en la última década es especialmente significativa. Con un tejido industrial, mayoritariamente constituido en España por pequeñas y medianas empresas (pymes), la importancia que tienen las Administraciones regionales, capaces de establecer un contacto directo con las pymes más cercanas, para posibilitar un correcto desarrollo de la región en términos de empleo y desarrollo económico, ha situado las actuaciones de las Comunidades Autónomas en innovación tecnológica en uno de los elementos fundamentales de cooperación y coordinación de actuaciones con la Administración General del Estado.

El reconocimiento de la importancia de la cooperación y coordinación de la Administración General del Estado con las Comunidades Autónomas ha quedado explícita en el proceso de elaboración del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2004-2007 con la inclusión de un objetivo estratégico específico (Reforzar la cooperación entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas y, en particular, mejorar la coordinación entre el PN y los planes de I + D + I de las Comunidades Autónomas).

Estoy convencida de que el desarrollo de este objetivo representará un paso más en el estrechamiento de las actividades entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas con

respecto a la situación lograda con el actual Plan Nacional de I + D + I 2000-2003, tanto en una mayor implicación de las Comunidades Autónomas en el proceso de elaboración del mencionado Plan Nacional como en el contenido mismo de las actuaciones contempladas, incrementando el ámbito de las mismas y su repercusión económica.

Por otra parte, un aspecto de gran importancia en relación con las Comunidades Autónomas es el relativo a la cohesión. Todas las políticas del Estado deben contribuir a la cohesión social y a la vertebración territorial como ha sido manifestado repetidamente en el desarrollo de nuestro ordenamiento legislativo. Las políticas de I + D + I no son ajenas a este objetivo colectivo. El concepto de *cohesión científica y tecnológica interterritorial* aplicada en este contexto es especialmente importante por la utilización que todas las Administraciones hacen de los fondos estructurales y por la necesidad de asegurar que las actuaciones financiadas por el Plan Nacional contribuyan a la mejora de la capacidad científica y tecnológica en todo el territorio nacional.

Teniendo en cuenta el marco legislativo ofrecido por la Ley de la Ciencia (Ley 13/1986) y los sucesivos acuerdos realizados hasta el momento, la cooperación y coordinación deberán realizarse según los siguientes principios básicos de actuación:

1. Cooperación de la Administración General del Estado en el desarrollo de la capacidad de las Comunidades Autónomas para la planificación de objetivos científicos y tecnológicos.
2. Cooperación de la Administración General del Estado en la evaluación y seguimiento de las actuaciones contempladas en los planes de I + D + I de las Comunidades Autónomas.
3. Voluntariedad en la firma de Acuerdos Marco y convenios específicos.
4. Bilateralidad en la negociación de actuaciones concretas.
5. Complementariedad de actuaciones entre los planes de I + D + I de las Comunidades Autónomas y el Plan Nacional de I + D + I.
6. Cofinanciación de las actuaciones.
7. Corresponsabilidad de las decisiones.
8. Estabilidad temporal de los acuerdos.
9. Transparencia de los acuerdos.

En definitiva, se deben establecer mecanismos específicos de cooperación en el nuevo Plan Nacional 2004-2007 que, partiendo del principio de respeto a las competencias mutuas en I + D + I, aseguren que los procesos de definición y planificación de actuaciones relativas a Ciencia y Tecnología se constituyan en elementos clave para el fortalecimiento de las Comunidades Autónomas.

La cooperación entre la Administración General del Estado y las Comunidades Autónomas durante el desarrollo del PN 2004-2007 debe así retarse en un conjunto de actuaciones de interés mutuo que permitan optimizar los recursos disponibles y acelerar el desarrollo de los sistemas de C-T-E.

Por todo ello, creo que debemos fomentar esta cooperación entre Administración General del Estado y Comunidades Autónomas y espero que el fomento de la colaboración en materia de Ciencia y Tecnología entre Comunidades Autónomas ocupe un lugar importante en los Programas Electorales del PP.

Todos estamos de acuerdo en que las políticas de Ciencia y Tecnología constituyen un elemento de primordial importancia en el desarrollo de las sociedades modernas, porque hay una relación directa entre la capacidad de innovación de un país y su competitividad, lo que contribuye, sin ningún género de dudas, a mejorar el bienestar y la calidad de vida de los ciudadanos. Por ello, *desde el Partido Popular estamos convencidos de que la determinación de estas políticas ya no se puede hacer desde una perspectiva exclusivamente nacional.*

En el nuevo contexto de integración europea que supone la Unión Económica y Monetaria y en el escenario actual de crecimiento de nuestra economía, *España debe hacer un esfuerzo especial de convergencia para mejorar su posición en el escenario europeo e internacional de la Ciencia y la Tecnología.*

Los Consejos Europeos de Lisboa (marzo de 2000), de Santa María de Feira (junio de 2000) y de Estocolmo (marzo de 2001) adoptaron conclusiones para la instauración rápida del Espacio Europeo de Investigación y la Innovación, en una perspectiva de crecimiento económico sostenido, más empleo y mayor cohesión social, con el objetivo último de convertir en 2010 a la Unión Europea en la economía del conocimiento más competitiva y dinámica del mundo.

En el Consejo Europeo celebrado en Barcelona en marzo de 2002 se acordó que la inversión europea en I + D en 2010 debería alcanzar

el 3% del PIB, de forma que la inversión del sector privado se incremente hasta alcanzar dos tercios del total destinado a I + D en dicho año.

Durante la Presidencia española de la Unión Europea, en el primer semestre de 2002, se ha logrado la adopción del VI Programa Marco de Investigación, Desarrollo Tecnológico y Demostración (IDT), lo que redundará claramente en beneficio de la comunidad científica y tecnológica española y europea. Con un presupuesto total de 17.500 millones de euros —supone el 3,9% del presupuesto total de la Unión Europea— se constituye en la tercera medida política de mayor envergadura financiera (tras la política agraria común y los fondos estructurales).

Se trata, en mi opinión, de un enfoque novedoso con respecto al V Programa Marco, cuyos ejes son la concentración e integración de la investigación en siete áreas de alta prioridad, la estructuración del Espacio Europeo de Investigación e Innovación, fomentando la movilidad de los investigadores o la innovación, y el fortalecimiento de este Espacio a través de una mayor coordinación de actividades y políticas nacionales de investigación mediante la apertura progresiva de programas nacionales de I + D. En el VI Programa Marco está contemplado destinar 600 millones de euros a actividades de cooperación internacional en materia de investigación. En este sentido, el VI Programa Marco estará, además, abierto a la participación de instituciones públicas y privadas de todo el mundo.

13.5. Conclusiones

«El progreso no es algo seguro. Tampoco es continuo. Cada adelanto parece confrontar a la humanidad con nuevos desafíos que la obligan a realizar nuevos esfuerzos para superarse aún más y lograr lo imposible» (Rougier, 2001). Creo que esta frase define el estado actual del debate científico-político: a medida que el progreso y la innovación científica van solucionando unos problemas, se crean otros. Los partidos políticos debemos hacer ejercicio de reflexión y planificación para poder afrontar los retos que nuestro país abordará en las próximas décadas: importancia creciente de la Ciencia y la Tecnología como contribución al bienestar; profundizar en nuestra dimensión europea e internacional a través del VI Programa Marco y EEI, contri-

buir a impulsar la cultura de la innovación y estrechar la interacción entre el tejido empresarial y científico, así como aumentar la cooperación con las Comunidades Autónomas para impulsar la Sociedad del Conocimiento.

En los últimos años, el avance en Ciencia y Tecnología y su contribución al bienestar de la sociedad han hecho que los partidos políticos debamos reforzar nuestras fuentes de conocimiento para poder dar una respuesta argumentada a cuestiones excesivamente técnicas. Como todo partido político, la base de un programa y de una estrategia política son las ideas y los valores; el Partido Popular tiene los suyos y como partido democrático respetamos los valores e ideas que impulsan los programas de nuestros adversarios políticos, aunque por experiencias pasadas los creamos erróneos e incluso desfasados en algunos puntos. Creemos estar rodeados de los mejores expertos, estamos convencidos de su necesidad para formular nuestras acciones y propuestas a la sociedad española. Parafraseando a nuestro presidente José María Aznar, durante su intervención en el XIV Congreso, creo que «hemos sabido dar expresión política a muchas cuestiones razonables que piensa la mayoría de la gente. Las hemos puesto en práctica y estamos decididos a seguir haciéndolo».

Bibliografía

- AA. VV. (2002): *Balance del siglo xx*, Colección Veintiuno, Fundación Cánovas del Castillo, Madrid.
- CDSI [COMISIÓN DE ESTUDIO PARA EL DESARROLLO DE LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN] (abril, 2003): Recomendaciones de la CDSI «Aprovechar la oportunidad de la Sociedad de la Información en España».
- FORAY, D. y Ch. FREEMAN (1992): *Technology and the Wealth of Nations*, Londres, Pinter Publishers.
- FUNDACIÓN AUNA (2003): Informe «España 2003», Madrid.
- OLLERO TASSARA, A., A. LUQUE LÓPEZ y G. MILLÁN BARBANY (1998): *Ciencia y Tecnología en España: bases para una política*, núm. 41, Papeles de la Fundación para el Análisis y los Estudios Sociales (FAES).
- PIQUÉ I CAMPS, J. y M. SAN GIL NOAÍN (2002): «El Patriotismo Constitucional», Ponencia aprobada en el XIV Congreso Nacional del Partido Popular, 25-27 de enero, Madrid. *Programa Electoral del Partido Popular (1996-2000)*.
- RODRÍGUEZ HERRER, E. y J. M. SORIA (2002): «Hacia la nueva Sociedad del pleno empleo y las oportunidades», Ponencia aprobada en el XIV Congreso Nacional del Partido Popular, 25-27 de enero, Madrid.
- ROUGIER, L. (2001): *El Genio de Occidente*, Madrid, Unión Editorial.

QUINTA PARTE

LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN
Y LAS REFERENCIAS CIENTÍFICAS

14. La ética del periodista

Juan Fernández-Cuesta
Redactor-jefe de Sociedad (ABC)

«Conocimiento cierto de las cosas por sus principios y sus causas.» Es la primera acepción de la palabra *ciencia* en el *Diccionario de la lengua* de la Real Academia Española. Pero por ser la primera —al menos, en este caso— no parece ser la mejor. «Ciencia pura: Estudio de los fenómenos naturales y otros aspectos del saber por sí mismos, sin tener en cuenta sus aplicaciones.» Desde estas dos últimas líneas sí cabría la posibilidad de iniciar el debate, pues de debate se trata cuando la evidencia para científicos y periodistas es una palabra tan distinta.

Todo tiene su parte de verdad y su parte de mentira. Incluso esa segunda definición, porque cualquier científico que avance un paso en una dirección correcta tendrá siempre en cuenta las posibles aplicaciones de sus hallazgos, pero sí es completamente válida para un periodista que, guste o no, es el canal por el que se llega —casi siempre— al público. Combinar Ciencia y Periodismo es una de las variables que se aproximan más a la perfección, siempre teniendo en cuenta que la perfección no existe y la belleza de un mundo imperfecto. No son simples palabras, sino una realidad que, unida, podría ser la puerta para la ecuación perfecta.

Un científico puro, aquel que no dependa de nada ni de nadie, no existe. Un periodista, tampoco. Es el principio de una relación que debe ser imperfecta, pero llena de posibilidades para acercar el mundo de la Ciencia al público, porque no existe otro camino que la letra impresa, pero con matices. La Comisión Europea ha comprendido esta realidad, que está y estará interrelacionada con otros órdenes de la vida, aunque digan lo contrario. «Promoción de la educación y la cultura científica en Europa.» «Sensibilización del

público.» Son capítulos y apartados que forman parte de un plan de acción de la CE para que ambas profesiones desempeñen «plenamente su papel de información al público». Y añade: «Los unos con los otros», o, al menos, los unos junto a los otros. Pese a los científicos, debe ser la unión de una de las profesiones más reconocidas (científicos, evidentemente) con una de las más despreciadas. Así es la vida, llena de paradojas. Una vida que avanza sin freno para el mundo de la Ciencia, o con cierto freno, ese que marca la ética. Quizá debiera surgir la primera pregunta. ¿La Ciencia avanza más rápidamente que la propia vida? O acaso los seres humanos sólo nos damos cuenta del tiempo cuando los avances científicos, cuando las investigaciones nos muestran nuevas realidades. ¿Quizá sea tan sencillo paliar el hambre en el mundo a través de plantas modificadas genéticamente o sería más sencillo una mejor redistribución de los recursos? ¿Valdrían las dos posibilidades? Lo más cierto es que la Ciencia marcha por delante de la sociedad, pero la interrelación es necesaria. Pese a unos, quizá. Gracias a los otros.

Partimos de un concepto ya estudiado. Vista la situación de la carrera, la ciudadanía espera que se les salve de sus males, que el mundo científico marque el camino que hay que seguir, que todas las dudas que puedan surgir sean borradas gracias a los inventos, avances, descubrimientos... Pero siempre hay un límite. La ética: «Parte de la filosofía que trata de la moral y de las obligaciones del hombre.» Y la moral: «Pertenciente o relativo a las acciones o caracteres de las personas, desde el punto de vista de la bondad o la malicia.» Es una cuestión, pues, de sentimientos. Que es de lo que debiera tratar la vida. De personas, de sentimientos.

Los tiempos. Hay épocas, y quizá en la que nos movemos sea una de ellas, en que Ciencia, Moral y sociedad viven absolutamente desconectadas. Cada una tiene su tiempo. Y, desde el punto de vista social, el diálogo entre ellas se haya perdido. Elegir el sexo de los no nacidos es una posibilidad (creo) a tenor de lo leído en los últimos años. ¿Es ético? Quizá, no. Quizá incluso ni siquiera el público en general se lo crea. Pero será verdad. O es verdad. Y tanto como los avances científicos tienen un pie por delante de la sociedad como que los cambios sociales provocan nuevas necesidades científicas.

Cuando la sociedad no funciona, existe la Ciencia, es real. Cuando en el Tercer Mundo el hambre acecha hasta la muerte, es una

realidad que inventan plantas resistentes a las plagas o a la sequía, pero en ocasiones nos podemos preguntar si es una apuesta social o económica. ¿Y a quién le interesa? Es seguro que en el origen, ese científico puro, se busca el bien objetivo. No quedan más seguridades. Sólo que, entre tantas preguntas, asoma un periodista que quiere saber más, que no es cuestión de que pretenda referencias científicas, sino sociales, y que quiere transmitir un mensaje. Pero otra de las máximas es que cuando la información no es directa, siempre surgen y surgirán interferencias. Un diálogo entre Ciencia y sociedad es necesario, y el intermediario debe conocer el mensaje en origen y traducirlo. Uno es un intermediario.

«Un verdadero sistema de diálogo entre ciencia y sociedad» es lo que reclamaba la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología hace unos meses (en un estudio sobre la percepción social de la Ciencia), aunque con excesos: «La formación científica de los ciudadanos es, cada vez más, una exigencia de la democracia.» ¿Y cómo se logra una adecuada formación científica de los ciudadanos? A través de la difusión de la Ciencia por los medios de comunicación, que está suspendida por la sociedad. Lógico. Como sería lógico que dentro de veinte o treinta años, cuando miremos atrás, sea un aprobado. Estamos en la misma línea, y la Ciencia no es materia a corto plazo. La sociedad quiere más. Se quiere una cura para el cáncer. Se quiere cura para el sida. Se quiere todo. Habrá que echar la vista cincuenta años atrás, y recordar —aunque sólo sea pura imaginación— cómo se trató en su momento y en los medios generalistas el desciframiento de una molécula llamada ácido desoxirribonucleico en comparación con el día de hoy. ¿Qué supuso en su momento y qué supone hoy? Todo, ayer. Todo, hoy. Pero son tan distintas las percepciones...

Esa adecuada formación científica de los ciudadanos es un anhelo de la Comisión Europea y debe nacer «de una información comprensible y de calidad» prestada por los medios de comunicación y de la garantía de que exista «una difusión eficaz» de esas informaciones científicas. Aunque como hemos relatado en anteriores líneas, la propia CE se hace eco de que «las relaciones entre la Ciencia y los medios de comunicación suscitan a veces la polémica en ambas partes». Expone, en fin, varias acciones para mejorar la calidad informativa y, así, parece ser, mejorar las relaciones entre periodistas y científicos. Pero no creo que sea una cuestión concreta de dos colectivos.

El impacto que el eco de un avance puede provocar en la sociedad nos obliga a los periodistas a extremar las precauciones, pero en ningún caso se puede evitar que el mensaje llegue al fin distorsionado. No es un hecho aislado en el mundo de los medios de comunicación. Es propio de los medios en todos los órdenes: radio, prensa y televisión. Sólo si el mensaje que emite el político, el médico, el científico, el pintor, el deportista... es respetado al máximo, en toda su extensión, el canal habrá quedado limpio de interferencias. Es casi una quimera, pero repito que las actuaciones en este sentido no se diferencian si la información proviene de un Parlamento, un laboratorio o un estadio de fútbol. Aunque sí hay una diferencia. Hoy, en el mundo que nos ha tocado vivir, tiene mucha más trascendencia social un avance contra el sida o, por supuesto, el hallazgo del mapa del genoma humano, que cualquier diatriba política. Así lo reconocen hasta los políticos, con sanas intenciones: promoción del nivel de calidad del periodismo científico «merced a la creación de un premio especial para los que trabajan en el ámbito de la información científica al público».

Ya desde hace años se ha intentado pervertir la realidad. Esto es, que Ciencia y Periodismo caminasen unidos, que la Ciencia se integrase en la sociedad, que fuese una parte —y bien importante— de la aventura de la vida. Congresos, nuevos museos de Ciencia, exposiciones, seminarios... Como que la sociedad se integrase en la Ciencia, a través, por ejemplo, de asociaciones de pacientes, de organizaciones de consumidores, comités... Poco a poco, se han ido dando pasos en la dirección adecuada, aunque queda mucho. Recordemos algunas de las conclusiones de un congreso realizado en Granada sobre medios de comunicación y ciencia.

Parte del interés social por la ciencia puede estar provocado por la magnitud y la velocidad de los cambios sociales, estimulados en gran parte por los descubrimientos científicos. La ciencia, es cierto, puede cambiar nuestro destino como seres humanos. La información, en consecuencia, es una ayuda indispensable para el debate ético. En ese sentido, comienzan a vislumbrarse signos esperanzadores de quiebra del desencuentro tradicional entre la comunidad científica y la sociedad. Hay que desterrar la idea de que el debate científico concierne únicamente a los especia-

listas. Al mismo tiempo que la sociedad demanda más información, los científicos empiezan a dar muestras de interés por no trabajar aislados, aunque aún haya quien considere la divulgación científica como un detrimento intelectual. Ese mutuo y creciente deseo de comunicación puede estar afirmando los cimientos de una nueva ética científica. [...] Hoy, sin embargo, es notorio el enorme desequilibrio entre el interés ciudadano hacia la ciencia y la escasa oferta informativa. Comunicar a la sociedad lo que hacen los científicos ya no puede estar ligado a la voluntad personal, a la eficiencia de los gabinetes de prensa, a la mayor o menor simpatía del investigador, a la concepción más o menos social de su trabajo. Es un deber para unos y un derecho para los otros.

Como colofón, quedan un par de frases que se mantienen absolutamente de actualidad: «Los científicos deberían vencer sus resistencias a hacer comprensibles sus investigaciones, a hablarle a la sociedad de un modo diferente a como hablan a sus colegas; los periodistas, por su parte, deberían hacer un esfuerzo para mejorar su preparación y buscar una mayor especialización.»

Todos los elementos consultados coinciden en la existencia de tensiones. Tensiones que no nacen, creemos, de una información falta de calidad. No. Nuevos fenómenos, nuevas tendencias... y también, dudas, límites. La Ciencia abarca hoy todo, y la sociedad comprende cada día más cuando se habla de mutaciones genéticas, diagnósticos preimplantacionales, microorganismos utilizables como armas biológicas... Y de la libertad total de investigación la propia sociedad ha empezado a ponerse límites, a cuestionarse ciertos avances quizá porque el periodismo ya no sólo informa. Los periodistas especializados en el mundo científico informan y forman, son conscientes de que el público reclama una labor divulgativa para poder luego formarse una opinión propia. En este recodo quizá haya nacido la nueva ética, el interrogante, la duda. Y hoy hemos llegado a un punto sin retorno. La labor científica, ayer y hoy, es impagable; pero ayer todo valía y hoy se cuestiona casi todo. ¿Será por el uso político del conocimiento científico? Debemos volver, como ejemplo, a una cuestión ya presentada en estas páginas. El hambre en el mundo. Incluso organismos de Naciones Unidas han aposta-

do por los cultivos transgénicos como medio para acabar con esta lacra después de lustros de fracasos continuados, de falta de acuerdos, de muerte en el Tercer Mundo. Los intereses comerciales asociados a la Ciencia son una realidad. Y los políticos.

Ética, Política y Ciencia están en ocasiones irremediabilmente unidas, como ha sucedido en tiempos recientes en España con la modificación de la Ley de Técnicas de Reproducción Asistida para permitir el uso de embriones congelados con fines de investigación. La disciplina de voto del Partido Popular, mantenida incólume incluso en los peores momentos de esta legislatura, era rota de distintas maneras (voto directo en contra, inasistencia) por sus propios diputados.

Este mosaico de realidades debe llegar a la opinión pública, pero existen distintos instrumentos. Quizá la clase científica considera que la fórmula lógica para que el mensaje no se distorsione es que el propio científico se encargue de propagar el mensaje, pero no hay un solo mensaje: información, formación y opinión. Así, es imposible que el autor o autores del avance científico puedan cubrir todos los espectros en un medio de comunicación no especializado, e incluso en medios especializados deberán existir parcelas interdependientes en las que colaboren con profesionales de los medios para que la información llegue de la manera más adecuada y atractiva para informar y formar al público. Una tercera vía empieza a ser el mejor ejemplo de divulgación: la literatura científica, a la que quiero dedicar unas líneas por ser un doble acierto. Primero, por atraer al público hacia la Ciencia. Segundo, porque sus autores son a la vez protagonistas de una u otra forma de los hechos. *Genoma. La autobiografía de una especie en 23 capítulos*, de Matt Ridley, ha obtenido grandes críticas. «Genoma es una obra tan elegante, innovadora y lúcida como todo profano pudiera desear. Bienaventurados sean los que utilizan un lenguaje sencillo, porque ellos serán leídos», es el comentario que suscita el libro a *The Independent*. Y es que a lo largo de todas sus páginas tenemos decenas de ejemplos al buscar en la vida diaria, en los comportamientos humanos, en las decisiones políticas, la otra cara del hallazgo científico. Buena prueba de ello se encuentra en las páginas 139 y 140 y la explicación de la homosexualidad. *Adn. El secreto de la vida*, escrito por el Nobel James D. Watson y el doctor Andrew Berry, y en el que se introducen

ejemplos de personajes tan conocidos como Mick Jagger y Boris Becker (páginas 299 y 300) para hablar de las posibilidades de la huella genética, vive también entre los escritos de los últimos años que más pueden hacer para acercar la Ciencia a la sociedad.

Pero al final del camino, por ahora, quedan pocos engrarces entre Ciencia y sociedad para que ésta adquiriera una cultura científica básica. Quizá, dos: formación e información. Se dice, y con toda razón, que es imprescindible la adquisición de ciertos conocimientos generales, y para ello tendrán que ponerse una serie de elementos sobre la mesa, desde un sistema educativo europeo que procure despertar el interés y motivar a los jóvenes por las disciplinas científicas. ¿Cómo se logra? La Comisión Europea considera: «los métodos de enseñanza en general y de las materias científicas en particular tienen un impacto significativo en la actitud de los jóvenes para con las disciplinas científicas», por lo que se debe favorecer «el desarrollo y la experimentación de métodos pedagógicos destinados a estimular el interés de los jóvenes por la ciencia».

Las dos claves, pues, son formar e informar de forma adecuada para conseguir una relación estrecha entre Ciencia y sociedad. Pero si formar desde la primera edad puede y debe ser una actitud que contribuya a esa relación, modificar las claves informativas o impulsar un nuevo ejercicio de la información científica es una historia distinta. El presente de los medios de comunicación, la propia realidad socioeconómica del Primer Mundo, choca con algunas de las claves que se presentan y dicen imprescindibles para obtener réditos desde los medios generales en lo que se refiere a la divulgación científica. Periodistas especializados, sí, pero con reparos. Un periodista especializado que no se nutre también del mundo que le rodea, que no *bebe* de la sociedad, no podrá llevar a cabo su doble misión: informar y divulgar. Con información científica pura no se atrae al lector y sin tener en cuenta el entorno, el objetivo se convierte en un imposible. Las noticias científicas comparten espacio en la inmensa mayoría de los periódicos con temas sociales, educativos, médicos, tecnológicos, ambientales... Es lógico.

El Plan Nacional de Investigación Científica del Gobierno español aporta todos los ingredientes para los que consideran equivocada la decisión de que la Ciencia comparta espacio, por ejemplo, con la información ambiental o la sanitaria. Las principales líneas prio-

ritarias del Plan I + D + I son claras al respecto. Prioridad en varias líneas de investigación relacionadas con la salud: cáncer, sistema nervioso, rechazo inmunológico a los trasplantes... Hasta apostar por los temas sociosanitarios: influencia de la dieta en la prevención de enfermedades y el envejecimiento. También existe un área de recursos naturales, dentro de la cual se apoyará el desarrollo de tecnologías para el reciclado del agua de lluvia. Ejemplo perfecto, como las estaciones desaladoras de agua, cuando una parte de España vive un déficit hídrico casi crónico. La Ciencia aplicada al avance de la sociedad. En esa área se dedica un capítulo a la potenciación de estudios científicos sobre los efectos en los ecosistemas marinos de la explotación pesquera, y otro que relaciona las concentraciones de ozono y el cambio climático. Podemos seguir párrafos y párrafos, citando el desarrollo de nuevos componentes para comunicaciones ópticas, nuevos sistemas de gestión para pequeñas y medianas empresas, fuentes de generación de energía de futuro, materiales de protección y bioseguridad, sistemas integrados de información y comunicaciones...

Ciencia y sociedad, como decíamos, unidas. Tanto dentro de las páginas de un periódico, como en la calle, y en los despachos de los políticos, como es evidente. Y Ciencia y Política, también unidas. Sin una apuesta decidida del Gobierno de turno por la investigación científica, acabaría perdiéndose la labor informativa y formativa de los medios ante la falta de avances. Sin noticia, no hay tema. Uno de los grandes objetivos de este Gobierno es que al concluir el año 2007 el número de científicos por cada mil trabajadores sea de cinco y que en el año 2005, en las empresas el número de investigadores debe crecer dos puntos, de forma que el 27% de los científicos esté en el sector privado en ese año. Si además se cumplieren los objetivos en materia de Educación que se marca la Comisión Europea, gran parte del camino quedaría cubierto antes de que debamos preocuparnos por la relación entre científicos y periodistas. La CE ha creado un grupo de trabajo «con el objetivo de apoyar la elección de profesiones científicas y técnicas» y varias claves, entre las que destaco dos: «Aumentar el interés en las matemáticas, las ciencias y las tecnologías desde una edad temprana y motivar a los jóvenes a la elección de estudios y carreras en los ámbitos de las matemáticas, las ciencias y las tecnologías.»

Queda por completar el camino iniciado desde distintos puntos por científicos y periodistas para que lleguemos a un mismo término. Y es en el punto más peligroso de cualquier travesía donde más cómodo se le hace al periodista la relación con el científico. La fuente de la información. Cuando cualquier otra disciplina es motivo de duda, de un trabajo «sucio», de horas y horas de confirmación de informaciones, de reuniones, llamadas telefónicas, desmentidos... Todo se reduce a una revista científica. ¿O no? La principal fuente de información es la revista científica que, además, ha sido valorada previamente por otros científicos, los llamados «árbitros». Información directa y prestigiosa. Como decimos, con valoración previa incluida. Por tanto, acreditada, y sin intervención anterior del periodista. Es una cuestión científica. Las revistas permiten el acceso directo al estudio de los investigadores y además a través de una selección de los trabajos. ¿Dónde se ha publicado eso? Es una voz que desde hace años oigo decir a los especialistas en información científica, junto a otra cada vez más social: ¿Qué aplicaciones tiene? Si además el responsable último de publicar un experimento, un avance, un descubrimiento, es consciente del proceso inicial de evaluación, la labor de selección es más sencilla. Ahora hablan, además, de reglas no escritas. Dicen que las actividades científicas deben ser compartidas y de libre acceso público, a través, sobre todo, de las citadas revistas científicas ¿Qué es una revista científica? Nos llega una definición suficiente, que respetamos en su integridad, aunque pongamos luego los reparos:

Se caracterizan porque ofrecen un acceso directo a los estudios de los investigadores y tienen un prestigio fundamentado en la comunidad científica porque seleccionan los estudios que publican con un sistema llamado *Peer Review* (en lenguaje común, arbitraje). Cuando un grupo de investigadores envía un trabajo a una de estas revistas, los editores de estas publicaciones los remiten a un grupo anónimo de investigadores supuestamente los mejores en su campo. A esos evaluadores se les conoce con el nombre de *referees* (árbitros). Su obligación es acreditar los resultados, que la metodología empleada es correcta y que las conclusiones son válidas para el avance de una disciplina con-

creta. En la mayoría de las ocasiones, los trabajos originales son devueltos.

Lo que viene a continuación, si sucediera en una publicación diaria de carácter general, esa tensión que presuntamente se vive entre periodista y científico sería insufrible. ¿Por qué? «En algunas revistas, como *Nature* o *Science*, siete de cada diez trabajos recibidos son rechazados. Los científicos tratan entonces de publicarlos en otras revistas cuyo índice de impacto es menor. Todos los investigadores tienen como objetivo publicar en esas revistas porque saben que tendrán un mayor índice de impacto y reciben muchas citas.» Y hay más:

En muchas ocasiones, los referentes establecen cautelas o sugieren a los autores que demuestran tal o cual punto o que revisen su redacción. Este proceso de evaluación puede tardar meses. Corresponde finalmente a los editores de *Nature*, *Science*... decidir cuándo se publica, si merece ocupar un puesto en la portada, si es conveniente que vaya acompañado por un artículo escrito por un tercer investigador donde se contextualiza el trabajo... etc.

Por tanto, hablamos de un sistema imperfecto para el científico, sólo para el científico. No habrá periodista —excepto los más osados— que se atreva a poner trabas. ¿O sí? Incluso cuando se califica ese sistema de evaluación, pese a sus imperfecciones, «como el mejor de los posibles». O se dice que es «una garantía para los periodistas porque, si va a ser publicado en una revista de prestigio, es que ha sido sujeto a una revisión previa por expertos independientes». En este sentido, es lógico hacer referencia a un proyecto de investigación que desarrolla un equipo de la Universidad de Alcalá de Henares sobre nuevas contribuciones al hecho científico, avances o incluso descubrimientos que pueden ser calificados como prematuros:

El hecho de que los científicos presenten en ocasiones resistencia a los descubrimientos choca con el estereotipo del investigador como una persona de mentalidad abierta y como alguien siempre dispuesto a admitir nuevas contribuciones y teorías. Sin

embargo, se reconoce que, a veces, es difícil que las nuevas ideas o las observaciones sorprendentes sean aceptadas por la comunidad científica. Otra idea común es que algunos descubrimientos son prematuros y no encajan con el marco conceptual existente en una determinada disciplina. A veces esto origina una demora entre un descubrimiento y la aceptación de las nuevas ideas por parte de la comunidad investigadora.

Coincidiendo con ese proyecto del que es responsable Juan Miguel Campanario, cabe una reflexión: si casi dos decenas de artículos que aportaban grandes novedades en el mundo de la Ciencia fueron rechazados, qué cabría pensar del error de un periodista por muy especializado que fuera, o fuese... «Al menos 18 de los artículos que han sido posteriormente identificados entre los más citados de la historia de la Ciencia (según el *Science Citation Index*) fueron rechazados inicialmente por los editores y *referees* de las revistas científicas (Campanario, 1996).» Creo que es suficiente.

Un último apunte. Las consideraciones éticas obligan tanto al investigador como al profesional del periodismo, pero con una diferencia. En mi opinión, el investigador puede (no debe) esperar a que la consideración ética se establezca posteriormente a que se dé a conocer el avance científico. Lo que en ningún caso puede obviar (sí, luego, despreciar) el periodista por anticipado. Dignidad humana, integridad, sensibilidad, son conceptos necesarios, tan necesarios como las fuentes de la información científica. Fuentes, ética, información, relaciones científico-periodista... No es más, ni menos, que la propia vida.

15. La prensa como puente entre los laboratorios y la sociedad: el proyecto de la sección de Ciencia de *El Mundo*

Pablo Jáuregui Narváez

Jefe de la sección de Ciencia (*El Mundo*)

EN los periódicos españoles, la información científica generalmente suele enmarcarse dentro de la llamada sección de *Sociedad*, una especie de cajón de sastre donde la investigación con células madre, los últimos hallazgos antropológicos en Atapuerca o el descubrimiento de una nueva galaxia se ven obligados a compartir un mismo espacio informativo con otros temas tan dispares como el consumo de drogas, la violencia doméstica, la inmigración o los viajes del Papa. Sin embargo, dentro de este panorama más bien desolador, el 24 de septiembre de 2002 vio la luz una nueva y ambiciosa apuesta por la información científica en la prensa española. Aquel día, el periódico *El Mundo* decidió suprimir su sección de *Sociedad* y lanzar una nueva sección diaria de *Ciencia*, que separaría a partir de ese momento todos los temas relacionados con la investigación científica de las demás áreas con las que hasta entonces se encontraba entremezclada —y enormemente diluida— en las tradicionales páginas de *Sociedad*. Como responsable de esta joven sección de *Ciencia* en *El Mundo*, que acaba de cumplir su primer año de vida, en este artículo me gustaría ofrecer algunas reflexiones sobre cómo un proyecto periodístico de esta naturaleza puede fomentar ese diálogo tan necesario que pretende promocionar este libro entre los científicos, la clase política y los ciudadanos de nuestro país.

Muchos analistas que investigan la influencia social de los medios de comunicación han señalado que las diferentes secciones de un periódico implican formas de percibir, clasificar y organizar la realidad, dividiendo el mundo en diversas áreas de interés colectivo. Desde este punto de vista, la existencia de una sección diferenciada

de *Ciencia* constituye una forma de dar mayor relieve y protagonismo a este tipo de información, presentándolo como un área de actividad humana que se merece su propio espacio independiente. De esta forma, el hecho de que un periódico español de gran tirada como *El Mundo* haya creado una sección diaria de Ciencia sin duda puede contribuir a fomentar un mayor interés por la investigación científica entre los ciudadanos, y a promocionar la importancia de la Ciencia en la sociedad. Esta dimensión del periodismo como un instrumento eficaz para lo que José Ortega y Gasset llamó *pedagogía social*—es decir, la educación continua de los ciudadanos en una comunidad democrática, a través de los medios de comunicación— puede llevar a la prensa a desempeñar un papel crucial en la formación científica de la población, y a estimular debates políticos fundados en torno a los grandes interrogantes y dilemas éticos de la investigación.

Desde sus orígenes, éste ha sido precisamente el objetivo fundamental que ha inspirado la labor periodística de las personas que hacemos la sección de Ciencia de *El Mundo*. Así lo puso de manifiesto un editorial de nuestro periódico el primer día que salió a la calle esta nueva sección: «En esta nueva etapa pretendemos, por una parte, acercar a los lectores los enormes progresos que se están logrando, y por otra, generar polémica y aumentar la conciencia pública de los problemas y las promesas de la Ciencia. Con conocimiento de causa, los ciudadanos sabrán exigir más y mejor ante la Administración» (*El Mundo*, 2002: 3).

Como coordinador de la nueva sección de *Ciencia*, yo me expresé en términos similares en un artículo que publiqué el día de nuestro lanzamiento, para presentar a los lectores de *El Mundo* este nuevo proyecto de divulgación científica:

Mediante una sección diaria de ciencia (la única que existe en estos momentos en la prensa española), nuestro objetivo fundamental es convertirnos en un sólido puente informativo entre los centros de investigación y la calle. Los científicos ya no pueden ni deben encerrarse en una aislada torre de marfil, ya que la sociedad cada vez muestra más interés por la ciencia... Con esta nueva y ambiciosa sección, esperamos también contribuir a que la ciencia por fin adquiera la importancia que se merece en cualquier país moderno, desechando la arcaica filosofía del 'que inventen

ellos' al cubo de la basura de la historia española. Y al mismo tiempo, deseamos que nuestra labor periodística sirva para estimular un gran debate público sobre los grandes dilemas bioéticos que están provocando los avances de la ciencia a principios del siglo XXI... En definitiva, queremos que esta sección sea un espacio de aprendizaje en el que nuestros lectores puedan satisfacer su curiosidad científica, sorprenderse ante los grandes descubrimientos que sin duda aún están por llegar en las diferentes ramas de la investigación, y reflexionar sobre los grandes interrogantes del ser humano, el único animal que se hace preguntas sobre sí mismo y el mundo que le rodea. (Jáuregui Narváez, 2002: 33).

Finalmente, por su parte, el editor médico de *El Mundo*, José Luis de la Serna, también definió los objetivos de la nueva sección de *Ciencia* con un mensaje que de nuevo enfatizaba la capacidad del periodismo para elevar la cultura científica de los ciudadanos y fomentar debates políticos sólidos en torno a los grandes problemas de la investigación:

La ciencia en España ha sido durante mucho tiempo la Cenicienta de los medios de comunicación. A pesar de que el progreso de la ciencia es quizás el factor más importante en el aumento de la calidad de vida de toda la Humanidad y de que los avances biomédicos están contribuyendo de forma decisiva a que la longevidad se haya disparado en las últimas décadas, la atención que ha dedicado, y aún dedica, la prensa a este fenómeno es poco significativa... Los medios de comunicación pueden contribuir de forma decisiva a que los ciudadanos eleven su cultura científica y valoren más de lo que ahora lo hacen la trascendencia de la investigación... Acercar la ciencia a los lectores cumplirá un doble cometido. El primero es el de llevar a la audiencia historias muy atractivas, ya que se vislumbran progresos formidables. El segundo, como aconseja el doctor Jon Millar en su libro *Biomedical Communications*, el de provocar debate, generar polémica y alentar protestas entre los ciudadanos, con lo que aumentará el porcentaje de público atento a estos temas. Y eso es lo que hace falta para que los políticos comprendan que la ciencia es algo fundamental y lo apoyen de una forma más firme. (Serna, 2002: 36).

En definitiva, como reflejan estos tres textos *fundacionales*, la sección de *Ciencia de El Mundo* nació desde el principio para intentar dar un gran impulso a la información científica, otorgándole un protagonismo mucho mayor dentro de la estructura del periódico para promocionar un área que hasta ahora no había recibido toda la atención que se merecía por parte de los medios de comunicación. Mediante esta nueva estrategia informativa, hemos pretendido y seguimos pretendiendo contribuir a generar un mayor interés social por la investigación científica, que a su vez debería llevar a los ciudadanos a exigir *más y mejor ciencia* a la clase política.

Pero, ¿hasta qué punto hemos logrado estos ambiciosos objetivos? Sin duda aún es muy pronto para contestar a esta pregunta, y en cualquier caso ése es un veredicto que únicamente pueden dar nuestros lectores. De lo que no cabe duda es de que noticias científicas no nos han faltado en absoluto, sino que han sobrado en un año en el que se ha completado la secuenciación del genoma del ser humano y del ratón, la investigación espacial ha vivido momentos de grave crisis tras el trágico accidente del transbordador *Columbia*, la aparición y expansión del llamado virus del SRAS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo) ha generado una gran preocupación a nivel mundial, y en España el Gobierno finalmente ha presentado un proyecto de ley que permitirá a los científicos de nuestro país investigar con los embriones sobrantes de la reproducción asistida, tras un largo debate. El gran impacto social de todos estos acontecimientos refleja hasta qué punto el periodismo científico de calidad puede contribuir hoy a informar adecuadamente a la ciudadanía y estimular un gran debate público sobre los grandes problemas de la Ciencia actual.

Por mi parte, lo único que puedo asegurar como responsable de este proyecto periodístico es que la vocación que nos ha movido y nos mueve todos los días a las personas que trabajamos en la sección de *Ciencia de El Mundo* es la voluntad de intentar transmitir, de la forma más sencilla y amena, las noticias científicas más interesantes que surgen en los laboratorios de todo el planeta, procurando siempre regirnos por los siguientes principios: 1) basarnos en las mejores fuentes, es decir, las revistas científicas más prestigiosas; 2) intentar traducir lo mejor posible la complejidad de la jerga científica a un lenguaje comprensible para nuestros lectores; y 3) cuidar al má-

ximo la presentación de las noticias que publicamos, apoyándolas con gráficos e ilustraciones que atraigan la atención del lector a las páginas de Ciencia y le ayuden a comprender temas que con frecuencia son muy complejos. De esta forma, esperamos poder aportar durante mucho tiempo nuestro pequeño granito de arena a la educación científica de nuestro país, y contribuir a forjar una nueva unión entre investigadores, representantes políticos y ciudadanos.

Bibliografía

- EL MUNDO (2002): editorial publicado en *El Mundo*, 24 de septiembre de 2002, pág. 3.
JÁUREGUI NARVÁEZ, P. (2003): artículo publicado en *El Mundo*, 24 de septiembre de 2002, pág. 33.
SERNA, J. L. DE (2003): artículo publicado en *El Mundo*, 24 de septiembre de 2002, pág. 36.

Índice de cuadros

CUADRO 1.1.	Balance anual promedio de perturbaciones del CO ₂ en dos décadas recientes	46
CUADRO 1.2.	Evolución y características de los gases de efecto invernadero considerados en el Protocolo de Kioto	60
CUADRO 1.3.	Procesos importantes de realimentación	63
CUADRO 1.4.	El estado del conocimiento del cambio climático	71
CUADRO 1.5.	El IPCC y su interacción con los planificadores y responsables políticos	85
CUADRO 6.1.	Algunos casos de reflotamiento/extracción de pecios	223
CUADRO 6.2.	Opciones barajadas para la neutralización definitiva del pecio del <i>Prestige</i>	227
CUADRO 6.3.	Índices de cantidades de fuel por estratos de profundidad	233
CUADRO 8.1.	BCR CRMS available in 1999	294
CUADRO 8.2.	IRMM matrix CRMS in support of the Belgian <i>dioxin crisis</i>	294
CUADRO 10.1.	Análisis comparativo de diferencias estructurales	355
CUADRO 10.2.	Análisis comparativo de programas nacionales	359
CUADRO 12.1.	Datos comparativos de gastos internos totales en I + D respecto al PIB de investigadores por cada 1.000 habitantes ocupados en la Unión Europea, Estados Unidos y Japón	395
CUADRO 12.2.	Presupuestos de la Función 54 (Investigación)	397
CUADRO 12.3.	Gastos de Defensa en la Función 54. Presupuesto 2003	398
CUADRO 12.4.	Gastos internos totales en actividades de I + D en relación con el PIB, por sector de ejecución, 1990-2001	399
CUADRO 12.5.	Distribución de los Presupuestos de la Función 54 por Ministerios	400
CUADRO 12.6.	Las pérdidas presupuestarias por inexecución de la Función 54. Investigación científica, técnica y aplicada. Subsector Estado ..	403

Índice de esquemas y figuras

ESQUEMA 1.1.	El sistema climático: componentes, procesos e interacciones ...	40
ESQUEMA 1.2.	Evolución de la modelización del sistema climático	49
ESQUEMA 1.3.	Estructura del IPCC, 1997-2001	55
ESQUEMA 1.4.	Forzamiento radiativo medio anual del sistema climático del año 2000 con respecto a 1750	61
ESQUEMA 1.5.	Funcionamiento de la Asesoría Científica en Naciones Unidas	82
ESQUEMA 2.1.	Ciclos biogénicos. Representación de los ciclos biogénicos del C, N, P y S —que, entre otros, son el motor de la vida en la Tierra—. Se indica la incorporación al ciclo del C de las diversas moléculas de origen natural o industrial	90
ESQUEMA 6.1.	Posición de los tanques del <i>Prestige</i> y de su estado de carga declarado	213
ESQUEMA 10.1.	Marco de referencia para la definición de las políticas de I + D + I	334
ESQUEMA 10.2.	Condiciones de contorno para la elaboración del PN (PGE, entidades públicas/privadas, internacional)	339
ESQUEMA 10.3.	Ejes de elaboración del PN	341
ESQUEMA 10.4.	Ámbitos territoriales en la determinación de prioridades ..	347
ESQUEMA 10.5.	Superposición de ámbitos territoriales	347
ESQUEMA 10.6.	Actualización de los contenidos temáticos	350
ESQUEMA 10.7.	Evolución de la estructura de los programas nacionales	351
ESQUEMA 10.8.	Estructura del PN 2000-2003	353
ESQUEMA 10.9.	Estructura global del v PN de I + D + I 2004-2007	354
ESQUEMA 11.1.	European research programs on materials and industrial technologies	378
ESQUEMA 11.2.	Síntesis de los procesos de toma de decisión en la elaboración de un Programa Marco	381
FIGURA 6.1.	Inclinación del pecio de popa, la superficie de fuel en un tanque y un registro <i>butterworth</i>	229

FIGURA 7.1.	Vacuolización del pericarion neuronal en núcleos vestibulares de una vaca afectada de encefalopatía espongi- forme bovina	264
FIGURA 7.2.	Demostración de PrPsc en tejido nervioso mediante immunohistoquímica	265

Índice de gráficos

GRÁFICO 1.1.	Última generación de escenarios de emisiones del IPCC, 2000	66
GRÁFICO 1.2.	Concentraciones de CO ₂ en los últimos ciento sesenta mil años según los testigos de hielo y en los próximos cien años si emitimos como ahora	68
GRÁFICO 1.3.	El cambio de la temperatura del aire en superficie en los últimos ciento cincuenta años	69
GRÁFICO 1.4.	El cambio de la temperatura del aire en superficie en los últimos mil años	70
GRÁFICO 1.5.	Escenarios de aumento de la temperatura y del nivel del mar respecto a 1961-1990 para distintos escenarios de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y de aerosoles	72
GRÁFICO 2.1.	Modelización de la dispersión de SO ₂ industrial en la zona de la ría de Huelva	99
GRÁFICO 2.2.	La molécula de agua	103
GRÁFICO 2.3.	Algunas moléculas xenobióticas. Los xenobióticos se acumulan sobre la biosfera constituyendo una fuente importante de contaminación ambiental	110
GRÁFICO 5.1.	Distribución de fallecidos de SAR por edad y sexo	191
GRÁFICO 5.2.	Curva epidémica	192
GRÁFICO 5.3.	Distribución de casos por sexo y edad	193
GRÁFICO 5.4.	Supervivencia de los afectados por el SAR menores de 40 años	197
GRÁFICO 6.1.	Distribuciones relativas de n-alcanos en el fuel del <i>Prestige</i> y en muestras recogidas en la costa al cabo de un mes (Bermeo) y dos meses del vertido (Cabo Villano y Ovi-cedo)	232
GRÁFICO 6.2.	Resultados de simulación del enfriamiento del fuel en un tanque del <i>Prestige</i>	237
GRÁFICO 7.1.	Distribución de los casos de EEB en el Reino Unido	266

GRÁFICO 10.1.	Plan Nacional de I + D + I (2000-2003). Distribución porcentual de las subvenciones aprobadas por modalidades de participación	361
GRÁFICO 10.2.	Plan Nacional de I + D + I (2000-2003). Distribución porcentual de los anticipos aprobados por modalidades de participación	362
GRÁFICO 10.3.	Distribución porcentual de los recursos aprobados en proyectos y acciones especiales del PN 2000-2003, según áreas prioritarias identificadas en el PN 2004-2007	363
GRÁFICO 12.1.	Diferencia entre objetivos del Plan Nacional (2000-2003) y la evolución real del Gasto de I + D	396
GRÁFICO 12.2.	Evolución de los Presupuestos Generales del Estado (Función 54)	396
GRÁFICO 12.3.	Solicitudes de patentes, 1991-2001	407
GRÁFICO 12.4.	Producción científica, 1991-2001	413

Índice de mapas y tablas

MAPA 5.1.	Tasas ajustadas de afectación por el SAT	194
MAPA 6.1.	Distribución espacial de la concentración de hidrocarburos poliaromáticos totales en sedimento, en la plataforma de Galicia	234
MAPA 7.1.	Distribución geográfica de los casos de EEB en España	268
TABLA 6.1.	Viscosidad del fuel del <i>Prestige</i> según la temperatura	215

Índice alfabético

- abordaje integrado*, 306
acceso público, 427, 451
acción estratégica, 238, 352, 360, 361
accreditation of laboratories, 287
— for quality assurance, 291
aceite de colza desnaturalizado con anilina, 183, 187, 196
— *tóxico*, 27, 183, 188, 195
aceites comestibles, 184
— minerales, 184
ácido desoxirribonucleico (ADN), *véase* ADN
ácidos, 97, 98, 101, 195, 260
— nucleicos, 260
actividad científica, 23, 25, 127
— humana, 53, 114, 130, 152, 170, 456
— tectónica, 235
actuaciones de carácter estratégico, 329
— estratégicas en i + d, 330
— *políticas*, 410
— proactivas, 231, 234, 239
— reactivas, 221
Acuerdos Marco, 424, 436
acuíferos, 90, 107
adaptaciones, 136, 370
aditivos alimentarios, 314, 316
Administración, 23, 188, 199, 201, 204, 208, 306, 358, 373, 399, 426, 456
— Central, 401
— Electrónica, 426, 430
— General del Estado (AGE), 318, 325, 326, 329, 332, 333, 335, 350, 369, 400, 401, 402, 434, 435, 436
— norteamericana, 167
— Pública, 398, 413g, 428
Administraciones, 28, 94, 109, 216, 252, 304, 311, 312, 317, 318, 330, 335, 400, 401, 405, 407, 409, 410, 424, 426, 436
Administraciones autonómicas, 335, 402
— educativas, 409
— estatales, 373, 394
— Públicas, 348, 426
— regionales, 369, 407, 435
— — y locales, 328, 407
— territoriales, 328
ADN, 111, 138, 147, 159, 160, 161, 163, 171, 172, 174, 445, 448
— conservado, 147
— de la doble hélice, 161
— del padre, 138
— de los seres vivos, 111
adulteración de los piensos, 206
— de productos, 310
advisory bodies, 285
Aeronáutica, 357, 358, 359c
afección del Sistema Nervioso Central, 255
afectación neuromuscular, 191
Agencia Española de Seguridad Alimentaria, 299, 312, 316, 319
agricultura, 87, 89, 103, 106, 107, 108, 150, 160, 164, 168, 301, 306, 311, 388
agua, 46, 72, 90, 91, 96, 97, 98, 102-112, 114, 119, 124, 125, 126, 151, 213, 214, 218n, 225, 233, 235, 239, 240, 432
— en botellas *go flow*, 233
— para consumo humano e industrias, 104
— dulce, 103, 150
— de lluvia, 450
— para la naturaleza y producción de energía, 104
— per cápita, 105
— potable, 104, 105
— renovable, 103
— para riegos y desarrollo rural, 104
— de uso industrial, 105
aguas, 29, 91, 129, 432

- aguas abundantes, 107
- ácidas, 28
 - altamente contaminadas, 106
 - para la agricultura, 108
 - contaminadas, 105, 111, 113
 - continentales, 98
 - dulces continentales, 39
 - fluviales, 107
 - marinas y continentales, 93
 - oceánicas superficiales, 46c
 - potables, 108
 - residuales, 102, 103, 104, 106
 - subterráneas, 111
 - superficiales, 97, 107, 111
 - y su tratamiento, 108
 - urbanas, 106
- águila, 124
- aire, 38, 39, 46, 69g, 70g, 91, 93, 119, 225
- fósil, 39
- Alaska, 95, 96
- alcantarillado, 106
- alce, 133
- alelos deletéreos, 135
- recesivos deletéreos, 140
- Alerta Alimentaria, 308
- algas, 96, 112, 119
- alimentación, 150, 164, 186, 248, 249, 250, 253, 255, 256, 262, 266, 300, 301, 302, 303, 305, 308, 310, 311, 314, 315, 359c
- animal, 250, 308, 315, 316
 - humana, 249, 269
- alimento, 124, 125, 133, 138, 139, 140, 150, 151, 184, 186, 188, 200, 299, 300, 306
- alimentos, 90, 101, 104, 106, 108, 115, 125
- transgénicos, 151, 163, 165, 169, 170, 171
- almacenamiento submarino, 226
- aloenzimas, 137
- alternancias glaciación-interglaciación, 58, 59
- ambientes extremos, 100
- aminoácido distinto, 258
- metionina en el codón, 129, 258
- aminoácidos esenciales, 171
- análisis de riesgos*, 306, 317
- ANEP (Agencia Nacional de Evaluación y Prospec-
tiva), 403
- tecnológica, 408
- anfibios, 120, 129, 130
- anilina, 183, 187, 193, 195, 196, 198
- animales, 89, 101, 108, 109, 117, 129, 132, 136, 140, 144, 153, 162, 184, 198, 249, 250, 252, 253, 255, 258, 259, 262, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 306, 307
- de abasto, 301, 302
 - bovinos, 261, 269, 270
 - en cautividad, 142, 148
 - domésticos, 136, 141, 146, 148
 - de experimentación, 269
 - de granja, 184, 206
 - «huéspedes», 146
 - idénticos, 147
 - de laboratorio, 136, 146, 148, 265
 - en libertad, 149
 - modificados genéticamente, 147
 - muertos, 142, 148, 269, 270
 - de poblaciones naturales, 142
 - portadores asintomáticos, 267
 - de producción de carne, 262, 268, 269
 - de producción lechera, 261, 262, 268
 - salvajes, 145
 - transgénicos, 163
 - vivos, 143, 148
 - en zoológicos, 136
- anticuerpos, 162
- monoclonales, 163
- antioxidantes, 190
- apareamientos, 144, 145
- entre individuos emparentados, 136
 - con machos de otra especie, 119
 - entre parientes cercanos, 140
- apoyo, 326, 348, 370, 387
- a la AGE (Administración General del Estado), 434
 - a áreas de I + D, 328
 - de las Áreas de Recursos Naturales, 240
 - a la biotecnología, 421
 - a la capacidad de modelizar, 84
 - científico, 81, 374
 - a la CICT, 336, 337
 - a la coordinación de políticas de investigación, 385
 - a las desgravaciones fiscales, 340
 - a emprendedores y proyectos, 408
 - empresarial, 342
 - a las empresas, 409
 - a la explotación de la Propiedad Intelectual, 408

- apoyo gubernamental, 81
 - a la I + D, 408
 - a las infraestructuras de servicios tecnológicos, 408
 - a la innovación, 333, 356, 361g, 362g, 421
 - a la investigación, 24, 342, 346n, 364, 405, 421
 - a la negociación, 381e
 - a las ONG, 412
 - a las OTRI (Oficinas de Transferencia de Tecnología), 407
 - de países, 168
 - al PM, 355c
 - a políticas comunitarias, 384
 - de políticas comunitarias, 368
 - a las pymes, 433
 - a la Red Iris, 359c
 - a sectores empresariales, 328, 358
 - del sistema público, 364
 - técnico y de gestión, 377
 - a la toma de decisiones, 84
 - a las universidades, 421
 - de Von Neumann y Charney, 47
- apoyos externos, 208
- aprehensión, 261
- ARAKAWA, A., 47
- áreas, 28, 97, 173, 185, 249, 329, 345, 348, 349, 351, 354, 355c, 356, 357, 358, 359c, 360c, 361, 362, 382, 385, 406, 412, 418, 455
 - abordadas por el PM, 348
 - de actividad, 351
 - afectadas, 187
 - de agricultura intensiva, 107
 - de alta prioridad, 438
 - científicas, 343, 356, 358
 - científico-tecnológicas, 352, 353
 - «Competitividad empresarial», 354
 - del conocimiento, 91
 - «Cooperación Internacional», 354
 - disciplinares, 358
 - «Equipamiento e Infraestructura científico-tecnológica», 354
 - de España, 268
 - «Fomento de la cultura científica y tecnológica», 354
 - horizontales, 353, 354
 - de I + D, 328, 358
 - de interés colectivo, 455
 - — estratégico, 357, 402
 - áreas de investigación novedosas, 356
 - de Madrid, 187
 - de materiales, 376
 - de la médula oblongada, 263
 - del PN, 353, 366, 370
 - en el PN 2000-2003, 353
 - «Potenciación de recursos humanos», 354
 - prioritarias, 343, 348, 349, 356, 361, 362, 363g, 364
 - de Química, 240
 - de Recursos Naturales, 240
 - relacionadas con políticas propias de la Administración, 358
 - — con sectores empresariales, 358
 - sectoriales, 351, 352, 353, 355c, 357
 - tecnológicas, 343, 356
 - temáticas, 356, 364
 - urbanas, 106
 - argali, 148
 - arqueos, 119
 - Arrhenius, S., 38, 39, 44, 45
 - arroz, 151, 184
 - arsénico, 101, 108
 - asesoramiento, 31, 251, 253, 254, 315, 320, 335, 408, 420, 422
 - científico, 248, 315, 411
 - asesoría externa, 418
 - asociaciones, 202
 - de consumidores, 169, 320
 - de enfermos, 208
 - de pacientes, 446
 - astenia, 185
 - Atalante*, 217, 218, 220, 240, 241, 242
 - ataxia, 256, 257, 259, 261, 263
 - atmósfera, 29, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46 y c, 48, 49e, 50, 51, 52, 54, 58, 59, 60c, 63, 71c, 75, 76, 77, 79, 91, 97, 98, 113, 114, 115, 150
 - de gases de efecto invernadero, 38
 - de materiales metálicos, 29
 - terrestre, 45
 - de la Tierra, 69
 - vertical, 48
 - atractor caótico, 78
 - autocontrol*, 306
 - Automoción, 357, 358, 359c, 361
 - autoridad científica, 186
 - avance, 24, 136, 176, 200, 264, 266, 385, 427, 443, 446, 451

- avance biotecnológico, 165
 — de la Ciencia, 170
 — en Ciencia, 439
 — científico, 25, 448, 453
 — del conocimiento, 24
 — de la innovación, 346
 — de la sociedad, 25, 450
 — en Tecnología, 439
 avances, 45, 46, 75, 111, 314, 393, 410, 411, 415,
 417, 418, 425, 430, 432, 444, 447, 450, 452
 — biomédicos, 457
 — en la cadena de producción, 314
 — de la ciencia, 457
 — científicos, 24, 32, 91, 92, 127, 168, 356, 411,
 420, 431, 444
 — en el conocimiento científico, 416
 — industriales, 51, 90
 — de la Medicina, 24
 — de la modelización, 50
 — en la modelización, 83
 — en salud, 302
 — de la seguridad alimentaria, 300
 — en las técnicas de obtención de datos, 39
 — técnicos, 91
 — tecnológicos, 92, 163, 356, 411, 431, 432
 AVERY, O., 159
 aves, 96, 108, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 138,
 154, 215, 259
 avestruz, 123
 Aznalcóllar, 27, 28, 101, 151, 245
 AZNAR LÓPEZ, J. M., 430, 439

 bacterias, 110, 119, 170
 — para la biorremediación, 151
 — con nutrientes, 226*n*
 — proteolíticos, 239
 — con virus radiactivos, 159
 bancos de gametos, 155
 banteng, 145
 BARNOUIN, B., 242
 barreras de polinización, 167
 bases de datos, 174, 319
 — de secuencias, 174
 batiscafo, 218
 — *Nautile*, 240
 — tripulado, 217
 BCR (*Bureau Communautaire de Référence*), 291
 Becas de Formación en Epidemiología, 199

 Becas de Formación de Personal Investigador,
 405
 — *post-doctorales en contratos laborales*, 405
 BECKER, B., 449
 BELLABY, P., 304
 benceno, 108
beneficios fiscales, 409
 BERRY, A., 448
 bienestar, 86, 91, 316, 359*c*, 409, 417, 431, 437, 438
 — animal, 315
 — de los ciudadanos, 415
 — de la población, 417
 — social, 91, 343
 — de la sociedad, 439
 — sociosanitario, 302
 bifenilos policlorados, 111, 113
 biocarburos, 101, 102
 biocombustibles, 101, 102
 biocracia, 161
 biodegradación, 95, 108, 109, 110, 226
 — aeróbica, 109
 — anaeróbica, 109
 biodiésel, 101, 102
 biodiversidad, 86, 93, 100, 117, 119, 121, 126, 127,
 150, 151, 153, 155, 170, 212, 360*c*
 — microbiana, 110
 bioetanol, 101, 102
 Bioética, 31
 bio-food, 275
 biogás, 101, 102
 Bioinformática, 174
 Biomedicina, 359*c*, 361, 420, 432
 biorremediación, 97, 111, 113, 151, 212, 221, 231,
 239
 biosfera, 39, 46*c*, 48, 50, 52, 54, 90, 91, 106, 108,
 109, 110, 111
 biota, 46*c*, 96
 biotecnología, 31, 100, 109, 110, 147, 149, 150,
 159, 161, 162, 164, 168, 170, 175, 321, 359*c*,
 361, 415, 421
 biotecnologías reproductivas, 141, 142, 148, 149
 biotransformación, 109
Bitas en proa, 220
 BJERKNES, J., 46, 47
 BOLIN, B., 45
 bongo, 145
 botellas *go flow*, 233
 BRIDGEMAN, J., 249

- brotes, 205, 308
 — de enfermedades de origen alimentario, 308
 — — — desconocido, 208
 — epidémicos, 204
 — infecciosos, 104
 — masivos de enfermedades, 105
 bucardo, 147
 BYRNE, D., 252
- caballo de Przewalski, 131, 145
 cadena alimentaria, 250, 254, 257, 269, 270, 304, 307, 311, 312, 314, 321
 — trófica, 101, 125
 CAICYT (Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica), 326, 331, 342
 calentamiento, 39, 44, 45, 49, 54, 57, 59, 60c, 61 y e, 62, 63, 67, 68, 69, 78
 calibration of instruments, 290
 calidad, 31, 65, 103, 105, 136, 139, 146, 165, 234, 244, 300, 313, 314, 329, 348, 380, 395, 409, 412, 422, 426, 431, 445, 447, 458
 — de las aguas, 108, 432
 — del aire, 91
 — para el campo académico, 364
 — científica, 384
 — de las contribuciones de los Estados, 383
 — de los fondos, 221, 234
 — de los huevos de las aves, 108
 — informativa, 445
 — media del sistema, 402
 — del medio ambiente, 239, 432
 — de los métodos de resolución, 76
 — de observadores, 220
 — del periodismo científico, 446
 — de las propuestas, 345
 — del semen, 137, 144
 — de *terceras partes*, 168
 — de vida, 126, 415, 417, 431, 432, 437, 457
 CALLENDER, G. S., 45, 51
 cambio climático, 31, 37, 38, 41, 42, 43, 49, 53, 54, 55 y e, 57, 59, 60c, 67, 71c, 73, 75, 76, 80, 85 y c, 86, 115, 116, 376, 432, 450
 cambios ambientales, 117, 130, 134
 — degenerativos, 263
 cáncer, 184, 344n, 445, 450
 canguros, 122
 canibalismo, 256
 cánidos, 259
- capa de ozono, 58, 130
 capital privado, 31
 carácter sistémico, 200
 carbón, 44, 46c, 61e, 97, 98, 114, 417
 carga tóxica, 193
 carnívoros, 136, 137
carrera científica, 405, 406
 caso-control, 186, 194, 195
 catástrofe, 29, 95, 96, 122, 163, 211, 212, 213, 215, 221, 243, 245
 — de Aznalcóllar, 245
 — del *Erika*, 226
 — del *Prestige*, 211, 212, 242
 catástrofes, 94, 96, 211, 243, 245
 — medioambientales, 95
 — naturales, 96
 caudal de fuel, 228
 caudales de fuga, 218, 229
 causa judicial, 201
 causas naturales, 67, 141
 cautividad, 131, 132, 136, 137, 141, 142, 144, 145, 148, 149, 154
 CCA (Comité Científico Asesor), 211, 212, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 229, 230, 231, 234, 235, 236, 237, 239, 240, 241, 242, 244, 245
 CDTI (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial), 335, 342, 355c, 386n, 408
 cebra de Grant, 145
 célula, 172, 176, 177
 — indiferenciada, 175
 — de información, 304
 — *madre*, 146, 175, 455
 — *multipotente*, 176
 — *pluripotencial*, 175
 — *pluripotente*, 175, 176
 — *totipotente*, 176
 — troncal, 31, 163, 175, 176, 177
 — *tronco*, 175
 — vegetal, 106
 células, 160, 163, 175, 178
 — en el adulto, 176
 — congeladas, 147
 — conservadas, 147
 — dendríticas foliculares, 261
 — es (células troncales embrionarias), 176
 — especializadas, 176
 — en el feto, 176

- células hijas, 175
 — M, 261
 — normales o patógenas, 172
 — con núcleo, 117
 — primitivas, 146
 — vivas, 161, 162
 cemento, 38, 46c
 CENIM (Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas), 235
 centrales térmicas, 98
centros de I + D, 335, 344, 402, 423
centros tecnológicos, 335, 404, 425
 cerdos, 123, 129
 cereales, 125, 126, 300
 cerebro, 252, 255, 256, 257
 cernícalo de Mauricio, 131
Certified Reference Materials, 274, 289, 290, 291
 CHARGAFF, E., 160, 161, 177
 CHARNEY, J. G., 46, 47
 CHASE, M., 159
 CHIRAC, J., 251
 ciclo del azufre, 49e
 — del carbono, 45, 49e, 63c, 64, 75
 — de credibilidad-no credibilidad, 85
 — de cultivo, 113
 — Gleissberg, 74
 — hidrológico, 44, 54
 — en materia de clima, 45
 — solar, 74
 — vital, 118
 ciclos, 39, 90
 — biogénicos, 90 y e, 91
 — biogeoquímicos, 45, 64
 — del carbono, 64, 89
 — cerrados o integrados, 107
 — de compuestos químicos, 49
 — específicos, 119
 — globales de los elementos, 107
 CICYT (Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología), 332, 333, 338
 CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas y Medioambientales), 28, 215n, 217, 236, 237g, 241, 244, 404
 Ciencia, 23, 24, 25, 26, 30, 31, 32, 33, 38, 55e, 81, 83, 84, 85 y c, 91, 92, 126, 127, 155, 159, 160, 164, 170, 300, 304, 315, 325, 326, 328, 331, 333, 336, 338, 343, 345, 382, 384, 393, 394, 395, 397, 400c, 404, 406, 410, 411, 412, 413, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 428, 432, 433, 435, 437, 438, 439, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 453, 455, 456, 457, 458, 459
 — Ciencia del clima, 39, 86
 — espacial, 358
 Ciencias, 450
 — de la atmósfera, 46
 — humanas y sociales, 360c
 — sociales, económicas y jurídicas, 360c
 — de la Tierra, 51, 360c
 — de la Vida, 31, 359c, 361
 científicos, 25, 29, 33, 44, 82, 86, 96, 150, 161, 170, 174, 201, 215, 243, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 254, 415, 418, 443, 444, 445, 447, 450, 451, 452, 455, 456, 458
 ciervo ibérico, 140, 143, 144
 CISAT (Centro de Investigación sobre el Síndrome del Aceite Tóxico), 188, 196
 clima, 39, 41, 42, 44, 45, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 57, 58, 64, 65, 67, 68, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 120, 150, 219, 220, 360c
 — de la Tierra, 37, 38, 52, 57, 87
 clonación, 142, 147, 148, 155, 420
 — en especies silvestres, 147, 148
 — por transferencia de núcleo, 147, 163, 177
Club Med, 384, 387
 CO₂ véase también dióxido de carbono, 44, 58, 60e, 61e, 68e, 114, 214, 235
 coagulación intravascular, 190, 191
 cobre, 101
 CODEX, 286, 313, 314
 — *Alimentarius*, 303, 312, 313, 318
cofre, 222
 — de hormigón, 225, 227c
 — metálico, 227c
 cohesión social, 385, 409, 436, 437
 colaboración internacional, 52
Columbia, 458
 combustibles, 84
 — fósiles, 38, 42, 44, 46c, 66, 98
 comercio, 124
 — de alimentos, 313
 — electrónico, 427, 428
 — de emisiones, 115
 — internacional, 303
 Comisión Europea, 74, 249, 250, 252, 253, 265, 306, 312, 314, 315, 338, 358, 367, 368, 373,

- 374, 375, 377, 379, 381e, 384, 389, 411, 443, 445, 449, 450
- Comisión Interministerial para el *Prestige*, 216, 217
- Comisión de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 54
- Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica, 27, 31
- Comité Científico Veterinario en Sanidad Animal, 253
- comités científicos, 248, 249, 250, 253
- common calibrant*, 291
- competencia, 26
- competitividad, 106, 325, 333, 345, 366, 408, 437
- empresarial, 343, 354
 - de las empresas, 421, 423
 - en las entidades públicas, 334
 - de la industria europea, 374
 - industrial, 330, 379, 384
 - internacional, 368
- comportamiento agresivo, 261, 263
- compromiso, 84, 342, 357, 416, 420, 429, 430, 431, 432
- del centro reformista, 419
 - con la Ciencia, 333
 - con los ciudadanos, 413
 - del Partido Popular, 428
 - político, 326, 332, 362
- compromisos, 116, 399, 424, 429
- de empresas, 387
 - financieros, 368
 - internacionales, 328
 - a largo plazo, 387
 - de países, 51
 - plurianuales, 365
 - políticos, 362
 - programáticos, 424
- compuestos, 109, 110, 112, 195, 196
- en los aceites, 196
 - aromáticos, 98
 - azufrados, 97, 98
 - en estaciones de servicio, 94
 - fluorados, 71c
 - del mercurio, 113
 - naturales, 109, 110
 - orgánicos, 109, 110
 - perfluorados, 38
 - compuestos químicos, 49, 94, 173, 192, 196
 - recalcitrantes, 111, 113
 - sintéticos, 109, 110
 - xenobióticos, 112
- comunidad, 119
- académica, 342
 - científica, 27, 28, 30, 43, 55, 58, 67, 73, 82, 83, 85c, 120, 122, 126, 127, 130, 134, 152, 155, 159, 243, 245, 260, 377, 394, 438, 446, 451, 453
 - democrática, 456
 - industrial, 162
 - investigadora, 453
 - médica, 183
 - política, 85c
- Comunidad, 315, 402
- Autónoma, 206, 207, 338
 - Europea, 168, 253, 374
 - de Madrid, 206
- comunidades científicas, 328, 329, 349, 364, 370, 386
- demersales, 233
- Comunidades, 402, 434
- Autónomas, 94, 199, 205, 253, 268, 312, 326, 327, 332, 333, 335, 337, 338, 341, 346, 348, 367, 369, 399, 401, 402, 405, 408, 423, 424, 434, 435, 436, 437
 - Europeas, 373
- concentración, 59, 60c, 68g, 112, 194, 196, 261, 337, 348, 385, 387, 438
- del CO₂, 58, 114
 - de los compuestos químicos, 192
 - del dióxido de carbono, 74
 - de los gases, 77
 - de hidrocarburos, 234m, 240
 - de oxígeno, 214, 235
 - pre-industrial del CO₂, 44, 59
 - de recursos humanos, 357
 - de testosterona, 137
- concentraciones, 38, 44, 45, 59, 64, 65, 75, 83, 112
- atmosféricas, 38, 41
 - de CO₂, 51, 68g
 - de contaminantes, 112
 - de disolventes orgánicos, 110
 - de gases, 43, 44, 65, 67, 69, 71c, 72g, 83, 115
 - de hidrocarburos, 233
 - de ozono, 450
 - planetarias, 74

- concentraciones pre-industriales, 59
- confidence, 273, 274, 277, 279, 287, 290, 292, 293, 295
- in Belgian, 294
 - of citizens, 279
 - of consumers, 295, 296
 - in the institution, 292
 - in measurement results, 291
 - of policy-makers, 284
 - in science, 273
 - in the scientific, 285
 - of society, 278
 - of users, 289
- consanguinidad, 128, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 144, 145, 149, 155
- Consejo Europeo, 374, 437
- — de Barcelona, 368
 - — de Gotemburgo, 385
 - — de Investigación, 366, 367, 368, 370
 - — de Lisboa, 388
 - Mundial del Agua, 104
- conservación, 27, 79, 118, 119, 122, 126, 127, 133, 134, 142, 143, 146, 147, 152, 155, 299, 304, 431, 432
- del ADN, 147
 - de la biodiversidad, 117
 - de la diversidad, 142
 - de una especie, 119
 - de especies amenazadas, 146, 147
 - — en peligro de extinción, 149
 - — silvestres, 143
 - de gametos, 143, 144
 - del hábitat, 152
 - de marsupiales, 143
 - del mundo natural, 127
 - de la naturaleza, 27, 31, 107
 - de nuestros recursos naturales, 432
 - del patrimonio histórico, 360*c*
 - de recursos genéticos, 143, 146
 - de semen, 141
- consorcios internacionales, 384
- Constitución Española, 404, 434
- consumo, 64, 65, 66, 105, 124, 125, 193, 262, 308, 313, 406
- de aceite, 183, 186, 187, 188, 189, 192, 194
 - de agua, 106
 - de alimentos, 261, 302, 307
 - de carne, 125
- consumo de cereales, 125
- de drogas, 455
 - de energía, 43, 64
 - extensivo de los huevos, 129
 - humano, 104, 105, 147, 184, 249, 252, 300, 307
 - individual, 188
 - de mayonesas, 302
 - de tejidos contaminados, 269
- contaminación, 29, 93, 103, 109, 112, 128, 151, 184, 222, 223, 224, 231, 249, 309, 431, 432, 433
- por aerosoles, 61
 - del agua, 91, 103, 126
 - ambiental, 108, 110*g*
 - antropogénica, 97
 - de la atmósfera, 91
 - atmosférica, 130, 434
 - industrial, 432, 433
 - — y urbana, 432
 - del mar, 97
 - medioambiental, 97
 - de origen indeterminado, 113
 - real, 98
 - de suelos, 91
 - de la zona, 96
- contracturas articulares, 190
- Convención Marco, 82, 85
- sobre el Cambio Climático, 42, 43, 55 y *e*
 - de la ONU, 115
- coordinación, 155, 237, 238, 240, 244, 305, 309, 312, 313, 317, 320, 328, 332, 345, 348, 349, 357, 365, 368, 369, 371, 374, 386, 388, 394, 400, 401, 404, 410, 412, 428, 435, 436
- *abierta*, 366
 - de actividades, 438
 - de la Administración General del Estado, 435
 - de la AESA, 320
 - científica, 244
 - de las Comunidades Autónomas, 401
 - estatal, 381*e*
 - de la gestión, 355*c*
 - global, 342
 - interministerial, 341, 365
 - internacional, 185
 - interterritorial, 319
 - de las OTRI, 407
 - de políticas, 375, 385
 - en seguridad alimentaria, 305

- coordinación de los trabajos científicos, 240
 - voluntaria, 366
- corrosión, 235
 - en aguas, 235
 - del casco, 222
 - en las planchas metálicas, 235
 - de los pecios, 235
 - de los restos hundidos, 221
- crecimiento, 59, 70, 71*c*, 102, 112, 124, 133, 162, 256, 395, 406, 424, 429, 437
 - asimétrico, 397
 - demográfico, 37, 64, 70, 122, 124, 139
 - de la economía mundial, 64
 - económico, 385, 437
 - fetal, 139
 - de gases, 80
 - de los gastos en I + D, 394
 - de los GEI, 83
 - intermedio de la población, 67
 - de los microorganismos, 96
 - de los núcleos urbanos, 310
 - de la población, 125, 126
 - poblacional, 152
 - en recursos humanos, 424
 - del sector empresarial, 426
- Cretácico, 57
- cría, 131, 132, 143, 148
 - de animales modificados genéticamente, 147
 - en cautividad, 131, 132, 137, 141, 144, 145, 149, 154
 - de especies amenazadas, 154
- crías, 131, 138, 139, 140
 - consanguíneas, 138
 - de las hienas, 131
 - vivas, 147
- CRICK, F. H. C., 159, 161
- criopreservación, 144
 - de gametos, 143
 - de semen, óvulos y embriones, 142
- criosfera, 39, 48, 52
- crisis alimentarias, 247, 252, 254, 301, 303, 309, 316, 319
- crudo, 93, 95, 97, 224*n*, 239
 - de Alaska, 95
- Cuaternario, 40, 57, 59
- cultivos, 106, 125, 150, 167
 - agrícolas, 43
 - celulares, 175
 - cultivos para la generación de biocombustibles, 102
 - GM y no GM, *véase también* transgénicos, 166, 167
 - de maíz y colza, 167
 - de tejidos, 175, 176, 177
 - tradicionales, 102
 - transgénicos, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 448
 - vegetales, 102
- Cumbre de Estocolmo, 114
 - Mundial Sobre Medio Ambiente, 114
 - de Río, 42, 55, 86
- curva epidémica, 192 y *g*
- datación isotópica, 53
- DDT, 108, 113
- delito contra la salud pública, 202
- delitos, 201
 - contra fraudes, 202
- democratic regulators, 276
- dendrocronología*, 39
- derrame, 96
 - en Alaska, 95
 - *Exxon Valdez*, 95
 - pleural, 189
 - de una sustancia peligrosa, 94
- desarrollo, *véase también* I + D e I + D + I, 203, 225, 319, 369, 384, 393, 395, 398, 401, 402, 404, 406, 408, 422, 431, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 449, 450
 - de los acontecimientos, 199, 202
 - de la capacidad de investigación, 199
 - del comercio electrónico, 427
 - controlado por los gobiernos, 330
 - cooperativo de la investigación, 201
 - de una crisis, 201
 - de las crisis alimentarias, 254
 - de la economía, 398, 410
 - de la *economía digital*, 426
 - económico, 369, 431, 432, 435
 - de *empresas de base tecnológica*, 408
 - de la enfermedad, 257
 - — bovina, 247
 - del Espacio Europeo de Investigación, 367
 - legislativo y normativo, 434
 - de sus medidas de seguridad alimentaria, 314
 - de modelos de predicción, 231
 - normativo, 318

- desarrollo en nuevas tecnologías, 431
 - de nuevos productos, 311
 - de una *política de asesoramiento científico*, 411
 - de sus políticas alimentarias, 318
 - de políticas conjuntas, 402
 - de su programación científica, 422
 - de protocolos, 232
 - de proyectos de investigación, 421
 - de la región, 369
 - de servicios y herramientas, 428
 - de los sistemas de C-T-E, 437
 - de sistemas complejos, 358
 - de la Sociedad de la Información, 394, 409, 428, 429
 - de las sociedades modernas, 437
 - socioeconómico, 369
 - sostenible, 374, 376, 385, 417
 - de una tecnología, 224
 - tecnológico (I + D), 326, 346, 375, 385, 433, 435
 - de los trabajos, 234
- desarrollos de la Ciencia, 315
- desastres naturales, 94
- descontaminación, 94
- descubrimientos, 120, 444, 452, 453, 457
 - científicos, 30, 446
- desertificación, 86, 101
- desertización, 90, 432
- desnaturalización, 222, 225, 227c
- detoxificación, 150
- dieta, 125, 150, 151, 450
 - mixta, 106
 - del niño, 186
 - vegetariana, 106, 125
- dinosaurios, 117
- dióxido de carbono, 38, 44, 45, 59, 60c, 71c, 74
- dioxin crisis*, 277, 292, 293, 294b
- dioxinas, 109, 184, 206
- disfagia, 190
- disolventes orgánicos, 110
- diversidad, 86, 118, 153, 189
 - biológica, 115, 153
 - de especies únicas, 123
 - genética, 139, 142, 149, 155
 - metabólica, 100
- hélice, 159, 161
 - del ADN, 159, 160
- Doñana, 27, 28, 275
- dragas *box corer*, 233
- Ebelmen, J. J., 45
- economía digital*, 426
- ecosfera, 93
- ecosistemas, 43, 71c, 72, 97, 107, 115, 119, 127, 150, 151
 - marinos, 97, 450
 - terrestres, 152
- edema endotelial, 191
 - pulmonar, 189, 191
- EEB (encefalopatía espongiiforme bovina), 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 257, 258, 261, 262, 263, 266 y g, 267, 268m, 269
- EEl (Espacio Europeo de Investigación), 326, 327, 366, 367, 368, 385, 387, 398, 411, 434, 437, 438
- efecto invernadero, 37, 38, 39, 41, 44, 45, 50, 54, 58, 60c, 61, 63, 65, 66, 67, 68, 69, 71c, 72g, 74, 75, 77, 80, 102, 114, 115
- efluentes, 105
 - industriales, 105
 - líquidos, 106
 - tóxicos, 106
- EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria), 315, 321
- eland, 145
- embriones, 25, 141, 142, 145, 155, 177, 458
 - congelados, 448
 - generados in vitro, 146
 - heterólogos, 145
 - humanos, 178
 - *partenogenéticos*, 177
 - *somáticos*, 177
- emergencias, 27, 28, 94, 95 244, 245, 320
 - alimentarias, 247, 318, 320
 - ecológicas, 27
 - medioambientales, 93, 95
- emisiones, 42, 43, 45, 46c, 49, 55, 60c, 64, 65, 67, 68g, 70, 71c, 72g, 74, 83, 86, 97, 114, 115
 - antropogénicas, 71c
 - por cambios de uso del suelo, 46c
 - gaseosas, 98, 102
 - de gases, 38, 42, 64, 65, 98
 - del IPCC, 66g
 - nocivas, 427
 - por quema de combustibles, 46c

- emisiones de SO₂ y NO_x, 98
 - sulfurosas, 71c
 - volcánicas, 114
- encefálo, 261, 263, 269, 270
- encefalopatía aguda, 189
 - caquetizante crónica, 259
 - espongiforme bovina, *véase también* EEB, 247, 254, 259, 261, 264f
 - felina, 258, 259
 - — espongiforme transmisible, 261
 - — espongiforme del visón, 258, 259
- encefalopatías espongiformes, 255
 - — transmisibles, 252, 253, 255, 258, 259, 309
- hepatógenas, 266
- endemismos, 153
 - europeos, 153
- energía, 37, 39, 41, 43, 44, 48, 58, 64, 72, 79, 90, 97, 101, 102, 104, 107, 112, 113, 114, 124, 125, 360c, 363g, 375, 432, 450
 - atómica, 161
 - nuclear, 161
 - solar, 41, 101
- energías, 66, 244, 359c, 362
 - alternativas, 101
 - renovables, 43, 66, 425, 432, 434
- enfermedad, 154, 172, 173, 183, 184, 185, 186, 189, 190, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 200, 202, 247, 248, 249, 251, 253, 256, 257, 258, 259, 262, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270
 - de Alzheimer, 174
 - bovina, 247, 250, 251, 255, 259
 - caquetizante crónica, 258
 - de Creutzfeldt-Jakob, 206, 249, 255, 256, 269
 - humana, 251
 - injerto-contrahuésped, 183
 - neurodegenerativa, 261
 - neurológica, 197, 256
 - en los niños, 186
 - de origen desconocido, 208
 - en la población bovina, 249
 - de scrapie, 261, 262
 - *de las vacas locas*, 254
 - *in vivo*, 266
- enfermedades, 71c, 105, 108, 164, 173, 174, 183, 208, 247, 252, 254, 255, 258, 259, 260, 261, 264, 266, 270, 450
 - ambientales, 200, 208
 - animales, 253
 - enfermedades autoinmunes, 196
 - de baja prevalencia, 208
 - infecciosas, 188
 - neurodegenerativas, 257
 - neurológicas, 247
 - olvidadas, 412
 - de origen alimentario, 308
 - — desconocido, 208
 - priónicas, 255
 - raras, 208
 - transmisibles, 255, 412
 - transmitidas por los alimentos, 308
 - enfriamiento, 57, 61e, 69, 78, 89, 236
 - de los aerosoles, 71c
 - del fuel, 236, 237g
 - *Younger Dryas*, 57
 - ensuring comparability*, 289, 290
 - environmental risks, 283
 - epibatidina, 130
 - epidemia, 183, 184, 185, 186, 187, 189, 190, 192, 193, 194, 195, 196, 198, 199, 204, 205, 207
 - de asma, 205
 - de fuente única, 192
 - humana, 258
 - de la neuropatía óptica, 207
 - en Reino Unido, 258, 262
 - del SAT, 200, 202, 204, 206, 208
 - del síndrome de Eosinofilia Mialgia, 207
 - epidemias, 104, 205, 207
 - tóxicas, 208
 - epizootia, 266
 - équidos, 259
 - ERICKSON, J., 45
 - Erika*, 224, 226, 227c
 - erosión, 102, 107
 - ESA (Agencia Europea del Espacio), 358, 362
 - escenarios, 41, 42, 43, 64, 65, 66, 67, 70, 76, 363
 - de aumento de la temperatura y del nivel del mar, 72g
 - de cambio, 64
 - del clima, 64
 - climáticos, 65, 70, 72
 - de *concentraciones*, 64
 - de crisis, 309
 - de *emisiones*, 43, 55, 64, 65, 66g, 67, 70, 72g
 - de *forzamientos*, 65
 - socioeconómicos, 71c
 - de *temperaturas*, 65

esclerodermia, 183, 190
 especie, 42, 81, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 126,
 128, 129, 130, 131, 132, 133, 137, 141-152, 154,
 155, 160, 259, 261, 415, 448
 — amenazada, 129, 140
 — de cabra, 147
 — humana, 25, 32, 58, 89, 90, 159, 248, 250, 251,
 255, 259, 269
 — de rana, 130
 — de tamaño superior, 123
 — terrestre, 123
 especies, 89, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123,
 124, 126, 128, 129, 130, 131, 132, 136, 137,
 142, 143, 144, 147, 148, 149, 150, 151, 152,
 153, 154, 165, 166, 198, 248, 250, 255
 — en aislamiento, 123
 — amenazadas, 146, 147, 148, 152, 154
 — de anfibios, 130
 — animales, 250, 252, 255, 258, 259
 — de animales domésticos, 148
 — — salvajes, 145
 — de aves, mamíferos y reptiles, 123
 — de caracoles, 131
 — comerciales, 212, 233
 — domesticadas, 150
 — ya extinguidas, 147, 149
 — extintas, 123
 — foráneas, 128
 — de gacelas, 137, 144
 — de grandes mamíferos, 121
 — de mamíferos, 132, 142
 — de monos, 259
 — originarias, 124
 — en peligro de extinción, 141, 142, 147, 149, 153
 — protegidas, 29
 — silvestres, 144, 147, 148, 165
 — — y amenazadas, 143
 — — de mamíferos, 144
 — de ungulados, 250, 259
 espermatogonias, 146, 147
 espermatozoides, 137, 142, 143, 144, 146, 147
 — anormales, 137
 — de ciervo ibérico, 143
 — congelados, 146
 estaciones desaladoras de agua, 450
Estado de Bienestar, 89
Estatuto del Personal, 405
 esteroides, 190
 estocasticidad demográfica, 133
 estrategia, 172, 241, 330, 406, 422, 430
 — complementaria, 149
 — de desarrollo sostenible, 385
 — electoral, 419
 — europea *e-europe*, 430
 — global, 339
 — informativa, 458
 — de Lisboa, 385, 411, 428
 — nacional, 387
 — de un partido, 425
 — política, 416, 439
 estrategias, 169, 416
 — europeas, 431
 — *nacionales*, 330
 — de los partidos políticos, 415, 416
 — superpuestas, 344
 estrato socio-económico, 193
 estructura, 214, 224, 227, 229, 232, 235, 325, 327,
 329, 330, 332, 339, 343, 352, 357, 366, 374,
 425, 458
 — administrativa, 338
 — del buque, 238
 — de canalizaciones, 223*c*
 — demográfica y genética, 134
 — interna de los programas, 355
 — del IPCC, 55*e*
 — de la Ley Presupuestaria, 365
 — no lineal, 80
 — de *lobbies*, 375
 — de las membranas celulares, 110
 — molecular, 173
 — morfológica compatible, 185
 — del nuevo PN de I + D + I 2004-2007, 353, 354*e*
 — del PN de I + D + I 2000-2003, 352, 353*e*
 — en red, 344*n*
 — del sistema público, 344
 — social, 141
 — de la UE, 373, 383
 — vertical de la temperatura, 45
 estructuras, 109, 225, 319, 335, 351, 352, 356, 379,
 387, 388, 408
 — del CR, 381*e*
 — europeas, 373
 — internas, 326
 — de los planes de I + D, 351
 — — de I + D + I, 350
 — de los planes nacionales, 350

- estructuras en profundidad, 234
 - de los programas nacionales, 351*e*
 - químicas, 109, 110
 - de salud pública, 199
 - supranacionales, 201
- estudios científicos, 131, 427, 450
 - prospectivos, 310, 318
- eucariotas, 117, 138
- European Council, 282
 - Parliament, 282
- eutrofización, 107
- evaluación, 43, 55, 72, 73, 83, 85, 92, 169, 205, 243, 306, 309, 312, 315, 321, 340, 344, 345, 382, 403, 404, 408, 409, 433, 436, 451, 452
 - de áreas económicas, 382
 - *biológica*, 239
 - de la catástrofe, 95
 - científica, 315
 - — y técnica, 92
 - de contenidos de bolsas de petróleo, 230*n*
 - de impacto ambiental, 433
 - integral biofísica y socioeconómica, 72
 - *oceanográfica*, 238, 239
 - de organismos genéticamente modificados, 309
 - de los riesgos, 169, 320
 - de técnicas y costes, 72
 - tecnológica, 92, 93, 98
- evaluaciones, 79, 377, 405
 - científicas, 82*e*
 - de riesgo, 305
 - de seguridad, 315
- exantema, 189
 - cutáneo, 186
- explosivos, 111, 113
- extinción, 43, 121, 122, 123, 124, 129, 130, 131, 132, 133, 137, 140, 141, 142, 147, 148, 149, 153, 154
 - de anfibios, 130
 - de aves, 122
 - basal, 121
 - de especies, 128, 149
 - de los grandes saurios, 57
 - masiva, 117, 121, 122
 - de numerosas especies, 123
 - de poblaciones de mariposas, 140
 - de su predador, 124
- extracción, 204, 223, 224, 226, 227*c*, 230, 236
 - *batch*, 226
 - extracción por bombeo, 226, 227*c*
 - del buque, 223
 - del fuel, 230
 - *on line*, 226
 - de pecios, 223*c*
- Exxon Valdez*, 95, 96, 111
- factor, 86, 105, 128, 196, 225, 327, 330, 385, 417, 423, 457
 - de bienestar, 409
 - de calidad de vida, 432
 - causal de los cambios climáticos, 61
 - económico, 104, 222
 - genético, 258
 - infeccioso, 258
 - de riesgo, 189, 196
 - tecnológico, 330
- factores, 40, 46, 52, 76, 77, 83, 128, 129, 130, 131, 137, 143, 215, 260, 261, 417
 - ambientales, 121, 134, 137, 138
 - astronómicos, 79
 - del clima, 78
 - climáticos, 77
 - de crecimiento, 162
 - externos de tipo astronómico, 76
 - — — geofísico, 76
 - genéticos, 140
 - hereditarios, 160
 - humorales, 196
 - internos de tipo geofísico, 76
 - metabólicos e inmunológicos, 196
 - de riesgo, 188
- false negative*, 289
 - *positive*, 289
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), 103, 163, 164, 168, 286, 303, 313, 318
- Farmacogenómica, 171, 172, 173
- fármacos, 147, 173, 174, 257
- fase, 32, 40, 53, 77, 172, 189, 221, 230*n*, 231, 237, 243, 381*e*
 - i, 221, 222, 230
 - ii, 196, 221, 230, 234
 - aguda, 189, 190, 191, 192, 196
 - crónica, 190, 191
 - de deterioro, 154
 - experimental, 146
 - final, 226

- fase de incubación, 265
 — intermedia, 189, 191
 — de neutralización, 218, 230
 — operativa, 222, 230
 — de recuperación, 139
 — residual, 214
 — *retórica*, 76
- fases, 78, 189, 221, 229, 239, 257, 262, 383
 — I y II, 231
 — clínicas, 189, 192
 — consecutivas, 215
 — de la enfermedad, 270
- fauna, 101, 107, 122, 143, 153
- fecundación, 137, 146
 — de gametos, 145
 — in vitro, 145, 146, 177
- FEICYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología), 335, 336, 411, 445
- felinos, 146, 250, 258, 259
- FERGUSON-SMITH, M., 249
- fermentación, 162
 — anaeróbica, 101
- fibrosis, 191, 192
 — dérmica, 183
- fitoplancton oceánico, 119
- fitorremediación, 112, 113
- flora, 101, 107, 122
- fluoroclorocarbonados, 114
- focas, 138
- fondo, 213, 214, 227, 233
 — del mar, 223*n*, 230
 — marino, 213, 214, 219, 227 y *c*, 228*n*, 229, 233, 235, 240
 — oceánico, 225
- Fondo, 397
 — *Extraordinario*, 395
 — Nacional, 333, 336, 341, 342, 369
- fondos, 221, 233, 234, 330, 370, 375, 395, 400, 402, 403
 — estatales, 332, 338
 — estructurales, 367, 399, 436, 438
 — financieros, 385
 — marinos, 221
 — nacionales, 370, 399
 — presupuestarios, 329
 — *públicos*, 395, 403, 424
- formación reticular, 263
- foros, 388
- foros intersectoriales e interterritoriales, 317
 — de opinión, 300
- forzamiento, 41, 49, 59, 63, 64
 — acumulativo, 44
 — de la duplicación del CO₂, 62
 — de invernadero, 74
 — radiativo, 44, 49, 58, 59, 60*c*, 61, 62
 — solar, 68
- forzamientos, 58, 63, 65, 80
 — antropogénicos, 61
 — no antropogénicos, 61
 — climáticos, 58
 — dominantes, 61
 — *a escenarios climáticos*, 65
 — externos e internos, 80
 — naturales, 61
 — negativos, 61
 — *radiativos*, 41, 48, 58, 59, 64, 65
 — del sistema climático, 54
 — variables, 41
- Fourier, J. B. J., 38, 44
- frisonas, 268
- fuel, 95, 96, 212, 213, 214, 215 y *t*, 218 y *n*, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229 y *f*, 230, 231, 232, 233, 236, 237*g*, 238, 240, 241, 243, 275
- fuga, 218*n*, 228 y *n*, 229, 242
 — residual, 219, 220, 230
- fugas, 218, 219, 220, 221, 222, 228, 230, 236, 241*n*, 243
 — masivas, 235
 — de proa, 241
- gacela de Cuvier, 144
 — dama, 144
 — dorcas, 144
- gacelas norteafricanas, 144
 — en peligro de extinción, 137
- GADJUSEK, D. C., 256
- gametos, 144, 145, 155
 — de fauna silvestre, 143
 — de guepardos, 143
 — de los machos, 144
 — masculinos, 142
 — en zoológicos, 143
- ganadería, 102, 150, 301, 306
 — bovina, 248
- ganglios del trigémino, 269

- GARCÍA OLMEDO, F., 170
- GARP (Programa de Investigación Atmosférica Mundial), 52, 54
- gases, 37, 38, 42, 44, 49, 59, 60*c*, 65, 83, 98, 113, 114, 115
- en la atmósfera terrestre, 45
- CH₄, 38, 60*c*
- CO₂, 38, 60*c*
- de efecto invernadero, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 50, 53, 58, 59, 60*c*, 64, 65, 67, 69, 71*c*, 72*g*, 74, 75, 77, 80, 102, 113, 114, 115
- N₂O, 38, 60*c*
- *radiativamente activos*, 37, 45, 71*c*
- gaur, 145, 148
- gen, 135, 173
- *merA*, 113
- de la N-acetil transferasa-2, 196
- genes, 119, 151, 159, 160, 161, 163, 172, 174, 175
- ADME, 174
- humanos, 172
- tangibles y manipulables, 160
- genoma, *véase Proyecto Genoma Humano*, 135, 139, 160, 171, 172, 173, 448, 458
- del animal muerto, 142
- humano, 172, 446
- paterno, 137
- Genómica, 171, 172
- comparada, 171
- *estructural*, 171
- *funcional*, 171
- genotipos, 119, 164
- germoplasma, 142, 143
- glaciaciones, 40, 57
- gliosis, 263
- globalidad, 24, 32
- globalisation, 287
- GMO (organismos modificados genéticamente), 166, 168, 169
- GRANTECAN (Gran Telescopio Canario), 425
- GRIFFITH, F., 159
- grupos taxonómicos, 120
- Guadamar, 28
- guepardo, 131, 132, 136, 144
- hábitat, 121, 126, 128, 129, 130, 132, 134, 142, 149, 152, 153, 154
- hábitos alimentarios, 256, 304
- hamsters, 259, 265
- harinas de carne y hueso, 248, 250, 252, 262, 266
- HENDERSON-SELLERS, A., 48
- hepatopatía, 190
- HERSHEY, A., 159
- heterocigosidad, 135, 138, 139, 140
- heterocigotos, *véase heterocigosidad*, 135, 139
- hibridomas, 162, 163
- hidrocarburos, 97, 109, 239
- en el agua, 240
- aromáticos, 95, 214, 233
- poliaromáticos, 234*m*
- saturados, 214
- en el sedimento, 233
- hidrodesulfuración, 98
- hipermetría, 259, 261, 263
- hipersensibilidad, 261
- hipertensión pulmonar, 190, 191
- Högbom, A. G., 45
- Homo sapiens*, 89
- homocigosidad, 135
- hongo, 130
- hongos, 120, 170
- hormigueos, 189
- HOYLE, F., 161
- huella, 74
- ecológica, 124
- genética, 449
- de un vertido, 232
- Huelva, ría de, 97, 99*g*, 101, 108
- HULBURT, C., 45
- humedales, 107, 121
- hundimiento, 211, 212, 213 y *e*, 214, 217, 218, 222, 227, 228, 229, 232*n*, 236, 238, 239, 240, 242, 243
- del buque *Prestige*, 211
- de la popa, 242
- IBÁÑEZ-ALDECOA, R., 95
- I + D (Investigación científica y desarrollo tecnológico), 23, 24, 26, 173, 237, 325, 326 y *n*, 327, 328, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 348, 349, 351, 353, 355*c*, 356, 357, 358, 359*c*, 362, 367, 368, 369, 370, 371, 375, 384, 386, 393, 394, 395*c*, 396*g*, 399 y *c*, 400, 401, 402, 403*c*, 404, 405, 406, 415, 417, 421, 423, 424, 437, 438
- de las Comunidades Autónomas, 367, 369

- i + d (Investigación científica y desarrollo tecnológico) empresarial, 343, 424
- empresariales, 424
- de las empresas, 408
- en los Estados miembros, 345
- europea, 375
- internacionales, 357
- militar, 398
- a nivel internacional, 344
- a nivel nacional, 368
- en los Presupuestos Generales del Estado, 365
- i + d + i (Investigación científica, desarrollo e innovación tecnológicos), 238, 325, 326 y n, 327, 328, 330, 334e, 335, 338, 339, 341, 342, 343, 349, 350, 352, 353, 354 y e, 355c, 356, 359c, 360, 361 y g, 362 y g, 366, 367, 369, 370, 371, 388, 389, 393, 396g, 403, 406, 422, 423, 434, 435, 436, 437, 450
- de las Comunidades Autónomas, 435, 436
- en España, 388
- españoles, 356
- en Europa, 389
- en el sector privado, 409
- IEO (Instituto Español de Oceanografía), 216, 217, 220, 231, 233, 237, 240, 241, 242, 244, 404
- Ievoli Sun*, 224
- IFCC (International Federation of Clinical Chemistry and Laboratory Medicine), 297
- IGN (Instituto Geográfico Nacional), 234, 241
- Illes Balears, 152, 268
- impacto, 239, 308, 310, 315, 410, 433, 446, 449, 452
- ambiental, 433
- en la competitividad, 408
- ecológico y ecotóxico, 239
- global, 313
- mecánico y químico, 239
- sobre el medio biológico, 238
- sobre las pesquerías, 242
- social, 458
- socioeconómico, 238
- impactos medioambientales, 239
- incendio, 205
- incendios, 114
- en fábricas y almacenes, 94
- inclusion principle*, 286
- incoordinación motora, 261
- indicadores, 328, 362, 363, 364, 365, 404, 408
- indicadores biológicos, 239
- *de control*, 410
- industria, 105, 106, 151, 219n, 301, 311, 312, 382, 386
- agroalimentaria, 312
- de la alimentación, 310
- alimentaria, 299, 303, 311, 315
- de alimentos y bebidas, 302
- biotecnológica, 169, 178
- europea, 368, 374
- farmacéutica, 174
- ganadera, 141, 147
- industrias, 98, 101, 104, 106, 195, 196, 201
- agroalimentaria y papelera, 102
- alimentarias, 303
- de salazones, 299
- INEM (Instituto Nacional de Empleo), 427
- infiltración mononuclear, 191
- infiltrado pulmonar, 185, 186
- infraestructuras, 355c, 408, 421, 424, 425, 426, 429
- de servicios tecnológicos, 408
- ingeniería genética, 100, 161, 165
- injerencia*, 127
- inmisiones de ácidos, 97
- inmunosupresores, 190
- innovación, 91, 217, 333, 338, 346, 353, 355c, 361g, 362g, 368, 369, 370, 401, 406, 407, 408, 420, 421, 422, 425, 437, 438, 439
- científica, 438
- empresarial, 356, 393, 412, 421
- en Medio Ambiente, 431
- tecnológica, 301, 325, 326n, 328, 338, 353, 354, 357, 369, 401, 402, 435
- inseminación artificial, 141, 144, 145
- insomnio familiar letal, 255
- Inspection and Certification bodies*, 288
- Institute for Reference Materials and Measurements, 287, 291
- instrumentos de financiación*, 340, 386
- insuficiencia respiratoria aguda, 185, 191
- interglaciaciones, 40, 57
- intoxicaciones, 302
- alimentarias, 302
- caseras-familiares, 302
- inversiones, 350
- en i + d, 357
- en el sector del agua, 108

- invertebrados, 153
 IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), 42, 43, 54, 55 y e, 56, 60c, 65, 66g, 67, 70, 73, 74, 81, 82 y e, 83, 84, 85 y c, 86
 ISO/IEC 17025, 292, 294
 ITER (Instituto Tecnológico y de Energías Renovables), 425
 ITGE (Instituto Tecnológico Geominero), 28
- JAGGER, M., 449
 JASANOFF, S., 278
 JOSPIN, L., 251
- Kierkegaard, S., 300
Kursk, 223c, 224, 227c
 kuru, 255, 256, 257
- labelling directives, 296, 297
 Laboratorio Nacional de Referencia de Encefalopatías Espongiformes Transmisibles de Zaragoza, 267
 lactorreemplazantes, 261
 lagomorfos, 259
 Langley, S., 38, 44
Legionella gormanii, 185
 LEITH, C., 80
 lemures gigantes, 123
Ley de Firma Electrónica, 428
 Ley de la Ciencia (Ley 13/1986), 325, 326, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 338, 339, 340, 342, 343, 345, 349, 353, 356, 370, 371, 385, 393, 436
 leyes alimentarias, 300
 — de Ciencia y Tecnología, 369, 435
 — comunitarias, 98
 — de *Envases y Residuos de Envases y la de Residuos*, 433
 — de Mendel, 160, 164
Libro Blanco, 314, 315, 338, 411
 — de la Seguridad Alimentaria, 306, 314
 liderazgo, 199, 377, 386, 387, 388
 — industrial, 384
 — político, 430
 limitación de emisiones, 49, 55, 86
límite de la predecibilidad, 76, 79
 lince, 142, 148
 lindano, 113
 líneas prioritarias, 355c, 356, 366
- Linneo, C., 120
 literatura científica, 183, 205, 207, 448
 localismo, 303
 lodos, 28
 — de depuradora, 102
 LORENZ, E., 77, 78, 79, 81
 LRU (Ley de Reforma Universitaria), 334
 LSSICE (*Ley de Servicios de la Sociedad de la Información y Comercio Electrónico*), 427, 428
- MACLEOD, C., 159
 MBARI Monterey Bay Research Institute, 227
 macrofitos, 113
 madera, 114
 maíz transgénico, 166
 malaria aviar, 71c, 123, 412
 mamíferos, 123, 124, 132, 138, 142, 144, 163
 — amenazados, 144
 — españoles, 153
 — marinos, 138
 mamut, 147
 MANABE, S., 46, 47
 manchas de fuel, 221, 231
 manipulación, 25, 33, 143, 311
 — de compuestos, 94
 — de embriones, 177
 — genética, 160, 161, 171, 178
 — génica, 162
 — de nuestro entorno, 127
 — social, 170, 171
Mar Egeo, 205
 marcadores de toxicidad, 192
 marco legal, 311, 331, 366, 371
 — — y administrativo, 327, 331
 — — alimentario, 312
 — — de la Ciencia y la Tecnología, 336
 marmota, 131
 material hereditario, 159, 160
 materiales, 29, 90, 225, 316, 357, 358, 360c, 363g, 376
 — biológicos, 377
 — contaminantes, 28
 — específicos de riesgo (MER), 249, 250, 252, 270
 — metálicos, 29
 — orgánicos, 112
 — de origen nervioso, 257
 — poliméricos, 225
 — de protección y bioseguridad, 450

- materiales radiactivos, 94
- MBARI (Monterey Bay Research Institute), 227
- MC CARTY, M., 159
- MCI (masa celular interna), 176, 177
- McKUSICK, V., 174
- measurement infrastructures, 287
- methods, 287, 289, 290, 293, 297
- medicamentos, 162, 173, 174, 313
- esenciales, 412
- potenciales, 162
- veterinarios, 314
- medio ambiente, 76, 89, 91, 92, 93, 94, 100, 101, 102, 109, 111, 112, 113, 114, 122, 126, 127, 150, 167, 168, 169, 239, 306, 311, 357, 358, 360*c*, 385, 410, 417, 422, 432, 433
- biológico, 238
- marino, 239
- medios de comunicación, 82, 169, 203, 247, 251, 254, 445, 446, 449, 455, 456, 457, 458
- médula, 252, 269, 270
- oblongada, 263, 264
- megafauna, 123
- Mendel, J. G., 160, 164
- mercurio, 101, 108, 113
- metales pesados, 101, 111, 112
- metano, 38, 44, 60*c*, 71*c*, 75, 84, 102, 114
- meteorólogos, 54
- métodos, 42, 94, 138, 162, 226, 299, 385
- de análisis, 232
- biológicos, 112
- de biorremediación, 221
- de congelación, 144
- convencionales, 165
- de detección, 74, 104
- de diagnóstico, 197, 262
- de enseñanza, 449
- de estimación, 120
- indirectos, 188
- laboratoriales, 264
- mecánicos, 95
- numéricos, 39
- *objetivos*, 85
- pedagógicos, 449
- de resolución, 76
- de trabajo, 208
- mialgias, 189, 190
- microbial food-poisoning, 277
- microbiota, 96
- microfiltración, 105
- microorganismos, 98, 101, 104, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 162, 447
- anaerobios, 102
- biodegradadores, 96
- degradadores, 96
- microsatélites, 138
- MILANKOVITCH, M., 40, 58
- mine of Baia Mare, 275
- mineralización, 109
- minería, 101
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 166, 253, 319
- de Ciencia y Tecnología (MCYT), 31, 96, 216, 237, 238, 241, 242, 245, 330, 331*n*, 337, 343, 352 y *n*, 365, 370, 381*e*, 394, 395, 400, 401, 403, 404, 409, 428, 429, 430, 434
- de Educación y Ciencia, 331, 342, 346*n*, 400
- de Fomento, 239, 240
- de Industria y Energía (MINER), 338, 341, 342, 343, 346, 351, 357, 358
- del Interior, 205
- de Medio Ambiente, 144, 431
- de Sanidad y Consumo (MSC), 187, 199, 217, 317, 344 y *n*, 400
- de Universidades e Investigación, 331
- MINTZ, Y., 47
- moas, 123, 124
- modelización, 46, 47, 48, 50, 54, 65, 80, 83, 99*g*, 238
- del ciclo del carbono, 64
- matemática, 75
- del sistema climático, 49
- modelos, 42, 43, 47, 48, 49, 50, 51, 56, 63, 64, 65, 70, 75, 76, 77, 79, 93, 135, 401
- de ámbito global, 47
- animales, 198
- atmosféricos, 47, 76
- *de balance de energía*, 48
- *de circulación general*, 48
- de clima, 42, 67
- climáticos, 47, 48, 49*e*, 65
- a escala del laboratorio, 198
- de gestión de recursos, 43
- numéricos, 56
- de predicción, 231
- de simulación, 52, 70
- MÖLLER, O., 45
- mortalidad, 184, 190, 197, 200

mortandad, 122, 129, 133, 137, 139, 140, 141
 — entre las crías, 131
 — embrionaria, 136, 137
 — de los individuos consanguíneos, 140
 — juvenil, 136
 — masiva, 139
 móviles de tercera generación (UMTS), 426
 movimientos atmosféricos, 79
 muflón, 144, 145, 148
 multiculturalismo, 376
 mundialización, 303
 músculo, 269
Mycoplasma pneumoniae, 185
Nanotecnología, 356

 National Academy of Sciences, 286
Nautilo, 217, 218, 219, 220, 228, 236, 240, 241
 nervio trigémino, 263
 — vago, 263
 NEUMANN, J. L. VON, 46, 47
 neumonía atípica, 185, 186, 187
 neuropatía óptica, 207
 — sensitivo-motora, 190
 — severa, 190
 neuropilo de la sustancia gris, 263
 neutralización, 218, 219, 221, 222, 227*c*, 229, 230, 231, 243
 — del fuel, 225
 — de los pecios, 221, 229
 NICOLIS, G., 79
 NIRENBERG, M. W., 178
nitrohumificación, 112
 NSF (National Science Foundation), 329, 403
 núcleos vestibulares, 263, 264 *f*
 nutrientes, 107, 111, 150, 226 y *n*

 obturación, 218, 220
 — experimental, 218, 219
 — de fugas, 218, 220
 — máxima, 243
 — provisional, 219, 221, 222
 OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), 96, 97, 338, 394, 430
 océano, 42, 45, 48, 50, 54, 75, 77, 84
Oceanografía Operacional, 221, 231, 241
 oclusión vascular, 191
 oil spills, 275

 oleil-anilida, 195, 196
 OMM (Organización Meteorológica Mundial), 51, 53
 OPI (Organismos Públicos de Investigación), 211, 237, 238, 245, 330, 333, 334, 346, 357, 366, 367, 385, 398, 404, 405, 408, 421, 423, 424
 opinión pública, 23, 28, 29, 31, 32, 204, 448
 Organización Meteorológica Internacional, 51
 organizaciones de consumidores, 304, 446
 ORTEGA Y GASSET, J., 456
 ortho-cresil fosfato, 184
 óryx de Arabia, 131
 osmolitos, 106
 oso panda, 148
 OTRI (Oficinas de Transferencia de Tecnología), 407, 408
 ovejas de Armenia, 139, 145, 258
 óxido nitroso, 38, 44, 60*c*, 71*c*
 óxidos, 97
 — de azufre, 97, 102
 — de nitrógeno, 114

Pacto de Estado, 413
 Paleolítico, 128
 PALMER, T. N., 80
 pantera, 137
 parestesias, 189
 Parlamento Europeo, 168, 250, 373, 376, 380, 381*e*, 382
Parques Científicos y Tecnológicos, 408
partenogénéticos, 177
 pasteurización, 300
 patogenia, 195, 196
 patógenos, 104, 105, 118, 130, 139, 140
 patrimonio, 100, 432
 — cultural, 151
 — histórico, 360*c*
 — natural, 150, 152, 432
 PCB (policlorados bifenilos), 184, 206, 293, 294*b*
 peces, 96, 126, 129, 239, 259
 pecio, 214, 218, 219, 220, 221, 222, 224, 225, 227*c*, 228, 229, 230, 235, 238, 243
 pecios, 214, 217, 218, 221, 222, 223*c*, 225, 227, 228, 229, 230, 234, 235, 236
 península Ibérica, 152
 péptidos, 162
 pérdida de biodiversidad, 127
 pesticidas, 108, 109, 111

petroleros, 97, 218, 232
 Peyer, J. C., 261
 PHILLIPS, N., 46, 47
 placas de amiloide, 257
 plagas, 164, 445
 plantas, 89, 101, 106, 108, 109, 112, 113, 114, 117,
 136, 151, 153, 162, 163, 164, 165, 169, 170, 445
 — cultivadas, 151
 — industriales, 98, 248
 — modificadas genéticamente, 444
 — petroquímicas, 98
 — de procesamiento, 98
 — transformadoras, 262
 — transgénicas, 107, 165, 166, 167, 169, 170
 — de tratamiento de aguas, 106
 — vasculares, 153
 PLASS, G., 45
 población, 43, 64, 65, 67, 90, 91, 118, 119, 125,
 126, 128, 133, 134, 135, 136, 138, 139, 140,
 141, 145, 164, 184, 187, 193, 199, 200, 201,
 207, 251, 254, 256, 264, 302, 312, 409, 417,
 427, 456
 — activa, 424
 — bovina, 249, 262
 — humana, 108, 123, 124, 125, 152, 163, 249, 258
 — internauta, 430
 — mundial, 124, 125, 126, 163, 168
 poblaciones, 118, 119, 124, 125, 126, 128, 129,
 130, 131, 132, 133, 134, 136, 137, 138, 140,
 141, 142, 143, 144, 145, 148, 149, 155
 — afectadas, 136
 — de aves, 96
 — cíclicas, 139
 — de ciervo ibérico, 140
 — de clones, 147
 — demersales, 216
 — de especies, 29, 212
 — genéticamente saludables, 135
 — de la gran mariposa, 134
 — humanas, 124, 126, 153, 174
 — locales, 118, 144
 — de mariposas, 140
 — naturales, 129, 131, 134, 136, 137, 138, 139,
 140, 141, 142, 145, 147, 148, 149, 154
 — de peces cíclidos, 129
 — pequeñas, 133, 134, 141, 154
 — de pequeño tamaño, 133, 134
 — de puma, 137
 poblaciones remanentes, 129, 154
 poderes públicos, 32, 199, 202, 303, 328, 412
 polimorfismo, 138, 173
 política, 24, 27, 82, 85_c, 91, 199, 202, 203, 243,
 244, 248, 251, 314, 330, 338, 348, 364, 370,
 374, 375, 409, 415, 416, 418, 419, 422, 427,
 428, 432, 438, 439, 446, 448, 450, 455, 458
 — agraria, 438
 — agrícola, 368
 — alimentaria, 314
 — ambiental, 432
 — *de asesoramiento científico*, 411
 — científica, 327, 374, 393, 400_c, 401, 421, 422
 — comunitaria, 367
 — de control de alimentos, 309
 — de Estado, 402
 — de los Estados, 380
 — extranjera, 373
 — de I + D, 375, 404, 424
 — *de incentivos fiscales*, 424
 — industrial, 433
 — de investigación, 97, 374, 375
 — en materia de seguridad, 314
 — medioambiental, 91, 431, 432
 — de Recursos Humanos, 406
 — de salud pública, 251, 252
 — de seguridad alimentaria, 314
 — de telecomunicaciones, 425
 — de la UE, 314
 políticas, 29, 51, 75, 82_e, 86, 91, 92, 185, 201, 211,
 247, 304, 331, 336, 344, 356, 358, 370, 371,
 375, 376, 383, 386, 388, 389, 400, 402, 406,
 410, 411, 412, 419, 422, 425, 430, 431, 433,
 437, 448
 — de adaptación, 86
 — agrícolas, 107
 — del agua, 103
 — alimentarias, 318
 — en el ámbito científico, 421
 — de Ciencia y Tecnología, 437
 — científicas, 86, 393, 422
 — científico-técnicas, 24
 — comunitarias, 358, 368, 376, 377, 384
 — demográficas, 43
 — de desarrollo, 401
 — del Estado, 436
 — europeas, 374, 383
 — de formación, 402, 406

- políticas de i + d, 344, 368, 371
 - de i + d + i, 334, 367, 406, 436
 - industriales, 330
 - de investigación, 375, 385
 - de limitación de emisiones, 86
 - medioambientales, 93
 - a medio y largo plazo, 405
 - nacionales, 114
 - — de investigación, 438
 - de planificación, 432
 - públicas, 357
 - sectoriales, 400
 - de Seguridad Alimentaria, 306
 - de subvención, 102
 - tecnológicas, 421
- pollutants, 284, 289
- popa, 213, 214, 218, 219, 224*n*, 227, 228, 229 y *f*, 230, 241, 242
- portadores asintomáticos, 267
- Pouillet, C. S. M., 38, 44
- precipitaciones, 103
 - globales, 43
- predecibilidad, 76, 77, 79
 - del clima, 76
 - climática, 79
 - de los impactos, 43
 - de los movimientos atmosféricos, 79
 - parcial, 74
 - del sistema del clima, 50
 - del tiempo, 76
- predicción, 64, 79, 80, 231
 - del aumento de concentraciones, 45
 - del clima, 64, 80
 - determinista, 41
 - a largo plazo, 76, 79
 - meteorológica, 79
 - del tiempo, 46, 47, 76
 - de las trayectorias de los vertidos, 221, 240
- predisposición genética, 173
- presión, 96, 129, 169, 203, 214, 216, 220, 222, 225, 260, 300
 - de la caza, 131
 - demográfica, 90
 - ecologistas, 165
 - mediática y política, 243
 - parcial de CO₂, 214
 - política, 203
 - política/mediática, 244
- presión social, 199
 - de la sociedad, 114
 - de tipo político, 203
- Prestige*, 95, 96, 211, 212, 213*e*, 214, 215, 216, 217, 221, 224, 227*c*, 230, 231, 232, 233, 235, 237 y *g*, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 245
- prevención, 168
 - de catástrofes naturales, 96
 - de la contaminación, 111
 - de la desertificación, 101
 - de enfermedades, 450
 - de riesgos, 143, 238
- Prevención de la Contaminación, 100
- PRIGOGINE, I., 79
- primates, 146
- principio, 24, 306, 307, 313, 426
 - de la libertad de investigación, 23
 - de *precaución*, 42, 170, 249, 252, 306, 307
 - de la *previsión* y *evaluación tecnológica*, 92
 - de la *prospectiva social*, 92
 - *quien contamina, paga*, 167
 - de respeto a las competencias, 437
 - *de solidaridad*, 402
 - de subsidiariedad, 374, 387
 - *transformante*, 159
- principios, 23, 114, 168, 244, 314, 316, 352, 377, 387, 418, 458
 - de actuación comunes, 316
 - básicos, 425, 436
 - de no discriminación y proporcionalidad, 307
 - éticos comunes, 376
 - de excelencia, independencia y transparencia, 244, 321
 - generales, 412
 - inspiradores, 407
 - de previsión, evaluación tecnológica y de *prospectiva social*, 98
 - de transparencia y de revisión múltiple, 82
- priones, 259, 262
- prioridad, 43, 220, 302, 305, 308, 380, 421, 422, 429, 438, 450
- prioridades, 23, 24, 99, 105, 152, 313, 325, 327, 330, 333, 340, 344, 347*e*, 348, 349, 358, 367, 382, 387, 388
 - científicas y tecnológicas, 326, 329, 340, 344, 345, 435
 - de financiación, 115
 - en i + d, 344, 356

- prioridades de investigación, 83
- en la investigación, 25
 - del Plan Nacional, 349, 386, 387
 - de los planes de I + D + I, 339
 - de las políticas comunitarias, 383
 - presupuestarias, 330
 - temáticas, 344
 - de la Unión Europea, 389
- proa, 213, 214, 218, 219, 220, 223*c*, 224*n*, 228, 229, 230, 241
- procesos, 23, 39, 40*e*, 50, 52, 58, 60*c*, 62, 63, 67, 75, 79, 100, 105, 111, 113, 119, 146, 174, 308, 315, 316, 318, 327, 331, 334, 348, 349, 353, 362, 370, 393, 408, 421, 433, 437
- biodegradativos, 109
 - biológicos, 106
 - de coordinación y cooperación, 348
 - de decisión, 26, 346, 381*e*
 - demográficos y ambientales, 128
 - de elaboración, 327, 329, 341, 342, 371, 375, 377
 - de enseñanza/aprendizaje, 410
 - de evaporación, 62
 - evolutivos, 117, 118, 119, 121
 - de fragmentación, 141
 - de gran escala, 56
 - importantes de realimentación, 63*c*
 - industriales, 100
 - — y agrícolas, 42
 - de intercambio, 79
 - legislativos, 375
 - microbianos, 101
 - patológicos, 255
 - de pequeña escala, 56
 - y productos químicos, 360*c*
 - químicos o bioquímicos, 225
 - — contaminantes, 100
 - de *realimentación*, 41, 75
 - de respuesta lenta, 62
 - — rápida, 62
 - de retroalimentación, 79
 - de rotura y hundimiento, 227
 - de selección, 118, 164
 - — sexual, 129
 - selectivos, 117
 - de sumidero, 60*c*
 - de superficie, 48
 - tecnológicos alimentarios, 321
- procesos de transferencia, 163
- de transformación, 262
- producción, 43, 72, 105, 106, 108, 125, 126, 162, 173, 262, 301, 302, 311, 314, 315, 410
- de alimentos, 104, 115, 301
 - agrícola, 72, 163
 - de carne, 268
 - de cemento, 38, 46*c*
 - científica, 400, 412, 413*g*
 - de energía, 104
 - de espermatozoides, 146
 - de fármacos, 147
 - industrial, 178, 360*c*
 - láctea, 263
 - lechera, 261, 262, 268
 - de leña, alimento y combustible, 150
 - limpia, 433
 - de maíz, 167
 - masiva de alimentos, 310
 - mundial, 413*g*
 - de poderosas armas de destrucción, 24
 - primaria, 306, 315
- productos, 100, 102, 108, 110, 162, 167, 169, 175, 212, 218*n*, 225, 262, 306, 310, 311, 316, 321, 393, 408
- alimentarios, 257, 309, 313
 - no alimentarios, 315
 - alimenticios, 303, 304, 305, 309, 317
 - biodegradables, 109
 - comestibles, 300
 - dietéticos, 316
 - finales, 248
 - génicos, 139
 - de mala calidad, 300
 - naturales, 170
 - nutritivos, 150
 - de origen marino, 101
 - químicos, 104, 105, 108, 360*c*
 - recalcitrantes, 109
 - de síntesis química, 108
 - tóxicos, 100, 196
 - transgénicos, 167
 - útiles, 162
 - vegetales, 165, 316
- Programa Eureka, 399
- Programa Marco, 346, 365, 368, 370, 375, 376, 380, 381 y *e*, 384, 385, 386, 387, 438
- propiedad intelectual, 377, 379, 385, 408, 426

- prospecciones petrolíferas, 219
- protección, 153, 205, 311, 317, 321, 328, 379, 422, 432, 433, 450
- de los alimentos, 310, 313
 - civil, 205
 - del conocimiento, 388
 - del consumidor, 270
 - de los consumidores, 252
 - de los derechos de las personas, 32
 - — de los usuarios, 428
 - eficientes, 129
 - del hábitat, 154
 - del medio ambiente, 93, 432, 433
 - del patrimonio cultural, 151
 - de las poblaciones naturales, 149
 - de productos vegetales, 316
 - de la propiedad intelectual, 385
 - y recuperación de especies, 142
 - de la salud, 93, 307
 - — pública, 257
- proteína, 173, 260
- PrP, 260
 - PrP^{Sc}, 260, 264
- proteínas, 159, 162, 171, 172, 174, 175, 262
- de las membranas plasmáticas, 143
 - protectoras, 106
 - secuestradoras, 106
- Proteómica, 174, 356
- Protocolo de Kioto, 42, 60_c, 66, 115, 116
- protocolos, 105
- Proyecto Genoma Humano*, 172, 173, 174
- prurito, 185, 189, 258, 263
- PRUSINER, S. B., 260
- quality assurance*, 274, 296
- radiación, 43, 58, 62, 113, 117
- emitida, 61, 62
 - entrante y saliente, 58
 - global, 58
 - infrarroja, 37, 44, 71_c
 - neta, 58
 - del planeta, 56
 - planetario, 48
 - recibida, 76
 - reflejada, 41
 - solar, 41, 45, 58, 113
 - terrestre, 54
 - ultravioleta, 130
- RAJOY BREY, M., 253
- rana, 130
- ratones, 198, 259, 265
- reacción, 198, 204, 215, 379
- científica, 27, 215, 216
 - mediática y social, 252
- realimentaciones, 41, 58, 62, 63, 71_c, 75, 83, 84
- reciclado del agua de lluvia, 450
- de material, 112
 - de nutrientes, 150
- recursos, 23, 24, 26, 56, 91, 94, 124, 126, 132, 150, 152, 307, 328, 329, 333, 336, 341, 345, 346, 354, 355_c, 357, 359_c, 361, 362, 363_g, 364, 367, 368, 369, 388, 389, 397, 401, 424, 444
- alimenticios, 139
 - de la biosfera, 91
 - científico-técnicos, 402
 - disponibles, 94, 149, 345, 348, 402, 437
 - económicos, 155, 245, 329, 330, 331, 334, 339, 340, 345, 349, 356, 369, 423, 435
 - epidemiológicos, 186
 - externos, 333, 398
 - de financiación, 386
 - financieros, 307
 - finitos, 91
 - genéticos, 142, 143, 144, 146
 - hídricos, 360_c
 - humanos, 94, 244, 253, 348, 353, 354, 357, 370, 403, 404, 417, 421, 423, 424
 - para I + D, 365, 371
 - naturales, 43, 89, 90, 122, 124, 126, 150, 360_c, 417, 431, 432, 450
 - del PN, 366
 - presupuestarios, 329, 331, 333, 337, 342, 350, 370
 - públicos o privados, 317
 - tecnológicos, 416
- Redes de Excelencia, 379, 386, 387
- reflotamiento, 223 y *c*, 224, 227_c
- remolacha monogermen, 164
- rendimiento agrícola, 125
- repercusión, 206, 239
- sobre la cadena trófica, 101
 - económica, 436
 - mediática y social, 251
 - medioambiental, 102
 - tecnológica, 31

- repoblación, 212
 reproducción, 119, 135, 148, 149, 198
 — animal, 163
 — de animales domésticos, 141
 — asistida, 143, 145, 147, 148, 149, 155, 458
 — de especies silvestres, 148
 — experimental, 259
 — masculina, 137
 — masiva, 149
 — natural, 147
 — de los recién llegados, 141
 — sexual, 117
 reptiles, 123, 124
 residuo de destilación, 214
 residuos, 90, 96, 101, 106, 107, 108, 111, 112, 125,
 313, 316, 433
 — biodegradables, 102
 — mineros, 27
 — sólidos urbanos, 102, 377
 — urbanos, 432
 — *zoo*-y fitosanitarios, 309
 resistencia, 164, 258, 452
 — estructural, 235
 — a parásitos, 139
 — a patógenos, 139
 — a la sequía, 107
 restauración, 94
 — forestal, 432
 — del hábitat, 126
 restos de fuel, 215, 232
 — de matadero, 248
 — de mazorcas, 164
 RICHARDSON, L. F., 46, 47
 RIDLEY, M., 448
 riesgos, 53, 64, 73, 81, 91, 128, 141, 144, 153, 154,
 163, 169, 170, 184, 201, 205, 211, 238, 248,
 299, 301, 304, 305, 306, 309, 310, 314, 315,
 317, 320
 — alimentarios, 306, 320
 — aparentes, 169
 — del cambio climático, 80
 — climáticos, 72
 — de contaminación, 222
 — contra la salud, 206
 — demográficos y ambientales, 133
 — de desintegración, 235
 — económicos y sociológicos, 74
 — emergentes, 314, 319
 riesgos globales ambientales, 86
 — innecesarios, 170
 — medioambientales, 92
 — microbiológicos, 309
 — potenciales, 43, 224, 307
 — químicos ambientales, 206
 — reales, 310, 317
 — sanitarios, 143
 rigor científico, 169, 244, 305
 rinoceronte, 131
 — judío, 131
 — negro africano, 131
 Río de Janeiro, 112
 risk management, 280, 281
 RODRÍGUEZ VILLANUEVA, J., 162
 ROSSBY, C.-G., 46, 47
 rotación de cultivos, 167
 RUBIO SANMILLÁN, L. A., 171
 salinización, 90
 salud, 90, 151, 166, 167, 197, 205, 206, 207, 217,
 239, 302, 306, 307, 314, 359_c, 361, 412, 417,
 450
 — ambiental, 200, 206
 — animal, 316
 — del ciudadano, 306
 — de los ciudadanos, 93, 302, 305, 311, 314, 432
 — de los consumidores, 308, 313
 — humana, 167, 168, 431
 — de nuestro entorno, 432
 — de las personas, 108
 — pública, 93, 183, 184, 186, 199, 201, 202, 205,
 206, 207, 248, 251, 252, 257, 310, 321
 — — general, 199
 sanidad, 89, 199, 311, 430
 — animal, 248
 sarcófago, 230
 SAT (Síndrome del Aceite Tóxico), 183, 184, 186,
 187, 188, 189, 191_g, 194 y *m*, 196, 197 y *g*, 198,
 199, 200, 201, 202, 204, 205, 206, 207, 208
 scrapie, 258, 259, 261, 262
 — ovino, 258, 259, 263
 sector, 65, 86, 201, 302, 319, 329, 398, 406, 408,
 423, 429
 — académico, 364
 — del agua, 108
 — de la alimentación, 311
 — audiovisual, 431

- sector de ejecución, 399*c*
 - empresarial, 338, 352, 357, 405, 424, 426
 - farmacéutico, 344
 - industrial, 357
 - primario, 306
 - privado, 312, 333, 345, 357, 398, 402, 403, 404, 405, 406, 409, 434, 438, 450
 - — español, 406
 - productivo, 393, 398, 400, 402, 405, 406
 - público, 333, 334, 357, 370, 394, 404, 405, 406, 421, 423
 - de la tecnología de la comunicación, 410
 - de las telecomunicaciones, 425, 431
- sedimentos lacustres, 39
- seguridad alimentaria, 200, 212, 247, 299, 321
 - jurídica, 377, 409, 428
- selección, 118, 164, 165, 198, 451
 - natural, 118, 135, 140
 - sexual, 118, 129
- sensibilidad* climática, 58, 62, 83
- sequía, 107, 134, 445
- simulación estacional, 48
 - realista, 49
 - regional, 76
 - del sistema climático, 63, 70
- síndrome cerebeloso, 257
 - de Eosinofilia Mialgia, 205
 - de Gertsman-Sträussler-Scheinker, 255
- Síndrome del Aceite Tóxico (SAT), *véase* SAT, 183
 - del Estrés Postraumático, 200, 203
 - Respiratorio Agudo Severo (SRAS), 458
- sismicidad, 214, 221, 222, 234, 235
- sistema de agregación o desagregación, 356
 - de alcantarillado urbano, 106
 - de alerta, 308
 - de beneficios fiscales, 409
 - — de investigación, 328, 364
 - científico, 25, 26, 27
 - del clima, 50, 53, 74
 - climático, 39, 40*e*, 41, 42, 43, 47, 48, 49*e*, 52, 53, 54, 61*e*, 63, 67, 70, 74, 75, 77, 79, 80, 84, 115
 - cuasi intransitivo, 80
 - de desgravación, 409
 - de diálogo, 445
 - dinámico, 76, 78
 - económico, 389
 - — moderno, 161
 - sistema educativo, 333
 - — europeo, 449
 - eficaz, 308
 - — de vigilancia epidemiológica, 308
 - de envasado, 143
 - español de I + D, 386
 - — de I + D + I, 388, 422
 - europeo, 384
 - de evaluación, 452
 - global, 67
 - de I + D, 403*c*
 - de I + D + I, 389
 - imperfecto, 452
 - de información, 308
 - inmune, 196
 - de investigación, 31, 83
 - judicial español, 202
 - de las Naciones Unidas, 53
 - nervioso, 260, 450
 - — central, 191, 255
 - permanente de vigilancia y alerta, 308
 - productivo, 387, 410
 - público, 325, 336, 342, 344, 346, 348, 357, 364, 365, 398, 409
 - — español, 422
 - real, 50
 - referencial, 27
 - de referencias, 27, 28
 - de seguridad alimentaria, 299, 304, 313
 - simulado, 50
 - socioeconómico, 87
 - de tasas, 106
 - tierra-océano-atmósfera, 77
 - vectorial de suma cero, 380
 - de vigilancia pasiva, 253
- Sistema de Ciencia y Tecnología, 397, 404, 412
 - — — español, 393, 394, 406
 - Coordinado de Intercambio Rápido de Información (SCIRI), 308
 - de C-T-E, 329, 332, 339, 345, 364, 366, 370, 371, 423
 - español de Ciencia-Tecnología-Empresa (C-T-E), 325, 326, 327, 328, 335, 336, 338, 339, 345, 422
 - Europeo de Red de Alerta Alimentaria, 308
 - Global de Telecomunicaciones (GTS), 52
 - Mundial de Observación del Clima (GCOS), 54
 - — — de los Océanos (GDOS), 54

- Sistema Mundial de Observación Terrestre (GTOS), 54
- Global de Telecomunicaciones (GTS) nacional de C-T-E, 328
 - Nacional de la Salud, 183
 - de Observación del Clima Global, 55e
 - regional de C-T-E, 369, 435
- sistemas de alerta, 308, 318
- de apareamiento, 133
 - básicos de control de la alimentación, 300
 - biológicos, 100
 - de ciclos cerrados o integrados, 107
 - científicos, 384
 - — e industriales, 384
 - de cifrado y de seguridad, 427
 - complejos, 358
 - de congelación, 301
 - continuos, 262
 - de control, 311, 312, 317
 - de C-T-E, 328, 437
 - de defensa, 106
 - dinámicos, 77
 - discontinuos, 262
 - ergódicos, 77
 - físicos, 77
 - — y biológicos, 73
 - de gestión, 100, 450
 - — del agua, 72
 - — medioambiental, 433
 - humanos, 73, 84
 - integrados, 450
 - mundiales, 54
 - nacionales de C-T-E, 367
 - — de vigilancia y control, 312
 - naturales, 73
 - — y humanos, 42, 56
 - de observación, 52, 83
 - de producción, 106, 108, 301, 302
 - — térmicos, 262
 - productivos, 93
 - públicos de investigación europeos, 382
 - regionales de Ciencia y Tecnología, 338
 - de seguridad alimentaria, 301, 313
 - transitivos, 77
 - de vigilancia activa, 265
 - y control, 248
 - *in vivo*, 174
- SMAGORINSKY, J., 46, 47
- sobreexplotación, 90, 124, 128
- sociedad, 23, 24, 25, 26, 27, 30, 33, 73, 81, 84, 85, 86, 87, 91, 93, 114, 151, 152, 160, 169, 170, 183, 199, 211, 238, 243, 248, 302, 305, 320, 343, 348, 393, 394, 410, 411, 412, 415, 416, 417, 418, 420, 421, 426, 428, 439, 444, 445, 446, 447, 449, 450, 455, 456
- actual, 81
 - científica, 205
 - civil, 410
 - democrática, 26, 29, 32
 - española, 26, 30, 184, 343, 421, 423, 427, 439
 - europea, 376, 386
 - GENAVIR, 217
 - moderna, 26, 431
 - mundial, 43
- sociedades, 27, 30, 384, 415
- científicas, 204, 205
 - democráticas, 26
 - europeas, 376
 - industrializadas, 122
 - modernas, 437
 - occidentales, 23
 - de los países avanzados, 328
- Sociedad del Conocimiento, 388, 389, 393, 406, 415, 439
- Española de Epidemiología (SEE), 205
 - de la Información, 86, 359c, 363g, 375, 394, 409, 410, 412, 422, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431
 - Internacional de Epidemiología Ambiental, 206
 - Italiana de Epidemiología, 205
- Sol, 37, 40, 76, 113
- sorgo enano, 164
- stability principle*, 286
- stakeholders, 204, 276, 279
- standardising*, 290
- subjectivisation*, 279
- submarino, 220, 223c, 228
- subpoblaciones bovinas, 269
- subsistemas, 39, 52, 59, 74, 79
- climáticos, 75
 - del sistema climático, 42, 48
- suidos, 259
- suelo, 38, 46c, 98, 108, 111, 112, 119, 129, 150, 261, 263
- suelos, 29, 42, 46c, 48, 52, 90, 91, 112, 113
- contaminados, 112, 113
- sumidero, 45, 60c

sumidero de carbono, 45
— de los gases de efecto invernadero, 75
sumideros de CO₂, 46c
supervivencia, 91, 135, 138, 150, 197g
— neonatal, 139

TABUENCA OLIVIER, J. M., 186

tarifa plana, 429
tasa de acceso a Internet, 410
— actual de extinción, 122
— anual, 124, 125
— de crecimiento, 124, 429
— — basal, 121
— de éxito, 132
— de extinción, 130
— — media, 121
— normal, 122
— de radiación, 41
— reproductora, 124
tasas, 106, 194m
— de crecimiento, 59
— de esterilidad, 137
— de extinción, 121
— — actual, 121
— de fertilidad, 137
— de mortandad, 133, 140
— — habituales, 122
técnicas, 72, 73, 97, 101, 105, 141, 146, 149, 163, 176,
224, 253, 264, 310, 433
— agronómicas, 113
— de alta y baja tecnología, 105
— biotecnológicas, 168
— citogenéticas, 165
— de clonación, 177
— complementarios, 111
— genéticas, 160, 161
— de identificación, 72
— de la ingeniería genética, 100
— inmunohistoquímicas, 264
— de inseminación artificial, 144, 145
— de investigación, 309
— medioambientales, 106
— moleculares, 138
— de obtención de datos del pasado, 39
— — de escenarios climáticos regionales, 72
— de obturación, 220
— de referencia, 264, 265
— de reproducción asistida, 147, 148, 149, 155

técnicas de reproducción animal, 163
tecnociencia, 30
tecnologías, 64, 66, 91, 92, 106, 142, 149, 222, 224,
306, 358, 374, 411, 421, 425, 426, 428, 429,
430, 431, 450
— agroalimentarias, 359c
— de alimentos, 359c
— de fermentación, 162
— de la información, 410
— — y las comunicaciones, 361, 409, 415
— informáticas, 359c
— limpias, 116
— medioambientales, 359c
— de servicios, 359c
— para la salud, 359c
— energéticas, 66
tejido, 261
— empresarial y científico, 439
— extraneural, 260
— industrial, 369, 435
— linfoide, 261
— nervioso, 265
— testicular, 147
tejidos, 175, 176, 177, 195, 249, 269
— animales, 270
— bovinos, 257, 269
— contaminados, 269
— extraembrionarios, 176
— humanos, 175
— normales, 172
— de riesgo, 257
temblores, 190, 259, 263
temperatura, 38, 43, 45, 48, 53, 61, 62, 64, 68g, 71,
72g, 113, 214, 215t, 218 y n, 220, 225, 228, 235,
236
— del aire en superficie, 38, 69g, 70g
— de la atmósfera, 45
— — en superficie, 45
— atmosférica, 58
— — global de superficie, 70
— de emisión, 97
— del fuel, 228, 236
— global media en superficie, 71
— — del planeta, 114
— media, 57
— — mundial, 63
— — — en superficie, 57
— — de superficie, 57

- temperatura del medio marino, 236
 — promediada en superficie, 57
 — de la superficie, 38
 — en superficie, 38
 — — promediada, 62
 — terrestre, 48
 — de la Tierra, 114
 temperaturas, 59, 65, 138, 139, 218*n*, 225
 — de aire y agua, 46
 — medias, 57
 — — planetarias, 57
teoría del clima, 56
 — de las ciencias de la atmósfera, 46
 — de fractales, 80
 — general de sistemas dinámicos, 77
 — de Milankovitch, 40
 terapia celular, 163, 175
 — funcional, *véase* Farmacogenómica
 — génica, 178
 — — humana, 165
 Tercer Mundo, 444, 448
Tercer Sector, 399
think tanks, 418
 TIC (Tecnologías de la Información y la Comunicación), 421
 tiempo meteorológico, 46
 Tierra, 37, 38, 42, 48, 50, 51, 52, 57, 58, 61*e*, 67, 69, 75, 76, 87, 89, 90*e*, 103, 113, 114, 117, 125, 163, 360*c*
 tigre de Tasmania, 147
 TNT, 112
 tortuga, 122, 123
 tracto espinal, 263
 — genital femenino, 146
 — reproductor, 144
 — solitario, 263
transcriptoma, 170
 transferencia, 202, 238, 310, 353, 354, 369, 393
 — de células o tejidos, 175
 — de conocimientos, 96, 402
 — embrionaria interespecífica, 145
 — de embriones, 141, 145
 — de fondos, 370
 — de genes, 151
 — de la información genética, 163
 — interespecífica, 145
 — de núcleo, 147, 148, 163, 177
 — — interespecífica, 148
 transferencia de tecnología, 100
 transformaciones redox, 101
 transmisión, 86, 247, 248, 250, 255, 258, 259, 269
 — del agente, 249, 251, 257
 — hereditaria, 89
 — horizontal, 163
 — masiva, 249
 tratamiento, 30, 81, 108, 111, 113, 128, 248, 260
 — de aguas contaminadas, 111
 — — residuales, 104, 106
 — — subterráneas y superficiales, 111
 — — urbanas, 106
 — biológico, 109, 111
 — de compuestos, 113
 — de contaminantes, 110
 — de enfermedades olvidadas, 412
 — de las fugas, 243
 — médico, 154
 — del PN, 333
 — químico, 98
 — de residuos sólidos, 377
 — sintomático analgésico, 190
 — térmico, 262
 — unificado, 351
 — uniforme, 352
 — de vertidos, 217
 tratamientos, 174, 190, 417
 — no antibióticos, 186
 — biológicos, 111
 — de descontaminación, 94
 — físicos, 94
 — físico-químicos, 111
 — con medicamentos, 173
 — primarios, 111
 — químicos, 113
 — de residuos, 96
 tricloroetileno, 111
 tropopausa, 58
 túbulos seminíferos, 146
 turón de patas negras, 131, 145
 Tyndall, J., 44
 UE (Unión Europea), 24, 101, 102, 113, 166, 167, 206, 247, 249, 250, 251, 252, 267, 305, 309, 310, 314, 318, 330, 345, 346, 348, 358, 366, 367, 368, 371, 373, 374, 381*e*, 384, 385, 388, 389, 394, 395*c*, 398*c*, 405, 406, 407, 411, 425, 426, 427, 428, 437, 438

- UNESCO, 53
- ungulados, 121, 128, 138, 139, 146, 154, 250, 259
- Unidad de Tecnología Marina, 220, 234
- uso sostenible, 105, 126, 431
- vacas contaminadas, 257
- domésticas, 145
 - *locas*, 27, 247, 254
 - de origen gallego, 251
 - de raza frisona, 269
- vacunas, 257, 417
- vacuolas, 255
- vacuolización, 257
- del pericarion neuronal, 263, 264f
- vapor de agua, 38, 44, 71c, 114
- variabilidad, 40, 43, 53, 54, 148
- genética, 128, 134, 135, 136, 137, 142, 143, 149
 - — individual, 135
 - interna, 41
 - — atmosférica, 80
 - natural, 68, 83, 84
- variables, 62, 443
- climáticas, 65
 - de peso, 224
 - socioeconómicas, 64
- variant Creutzfeldt-Jakob's Disease* (CJD), 295
- variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, 206, 249, 255, 269
- VCJD, *véase también* variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob, 255, 257, 269
- venta ambulante, 184, 192, 193, 194, 195
- VERNADSKY, V., 45
- vertebración interna, 333
- del PN, 369
 - territorial, 436
- vertebrados, 139, 153
- vertido, 28, 95, 96, 211, 212, 217, 229, 231, 232 y g, 238, 239, 243
- vertido de Aznalcóllar, 27, 28
- de Doñana, 28
 - del *Exxon Valdez*, 111
 - de fuel, 96, 221
 - masivo, 214
 - del *Prestige*, 217, 221, 231, 238, 240
 - de los productos tóxicos, 100
- vigilancia, 82e, 230, 248, 250, 251, 269, 308, 317
- activa, 251, 252, 265
 - científica y tecnológica, 344
 - y control, 248, 250, 254, 266, 312
 - — de las EET, 250, 253
 - epidemiológica, 308
 - especial, 153, 154
 - pasiva, 252, 253
- Vigilancia Meteorológica Mundial, 152
- de la Atmósfera Global, 52
- violencia doméstica, 455
- virus entéricos, 105
- lentos, 260
 - mortales, 139
 - radiactivos, 159
 - del SRAS (Síndrome Respiratorio Agudo Severo), 458
- viscosidad, 215 y t, 218, 226, 236 y n
- visión, 258, 259
- vitamina A, 151
- vitrificación, 113
- WATSON, J. D., 159, 161, 448
- WCRP (Programa de Investigación del Clima Mundial), 54
- WHITE, J. W. C., 87
- WHO, 286
- written standards*, 290
- xenobióticos, 110 y g, 196, 200

Nota sobre los autores

CÉSAR NOMBELA CANO es catedrático de Microbiología de la Facultad de Farmacia de la Universidad Complutense. Actualmente, preside el Comité Asesor de Ética en la Investigación Científica y Técnica, así como la Fundación Carmen y Severo Ochoa (por nombramiento testamentario del Nobel). Es director de la cátedra de Genómica y Proteómica y miembro del Consejo Asesor de la Agencia del Medicamento. Fue creador y director del Centro de Secuenciación de DNA de la UCM, miembro del Comité de Bioética de la UNESCO y de la Academia Europea, presidente del CSC, de la Federación Europea de Sociedades y de la Sociedad Española de Microbiología, así como del Consejo Nacional de Especialidades Farmacéuticas. Su labor de investigación se centra en el estudio de patógenos microbianos a nivel molecular. Ha publicado numerosos trabajos en revistas nacionales e internacionales.

JUAN JOSÉ BADIOLA DÍEZ es doctor en Veterinaria por la Universidad Complutense de Madrid (1975). En la actualidad, es catedrático de Sanidad Animal por la Universidad de Zaragoza. Su actividad académica e investigadora le ha llevado a formar parte de comités científicos y a realizar actividades de evaluación investigadora para la Comisión Europea —desde el año 1988 hasta la fecha—, destacando su labor en la *crisis de las vacas locas*. Actualmente, y desde el año 1996, es director del Centro Nacional de Referencia de las Encefalopatías Espongiformes Transmisibles en los animales. Autor de 70 artículos de investigación, es director científico y fundador (1984) de la revista de investigación veterinaria *Medicina Veterinaria*, y miembro de los comités editoriales de *Research in Veterinary Science* y *European Journal of Veterinary Pathology*.

LUIS BALAIRÓN RUIZ es Físico por la Universidad Complutense de Madrid y Meteorólogo del Estado, miembro del Comité Asesor de Ética de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), del Panel de Seguimiento de la Estrategia Andaluza ante el Cambio Climático, y de la Comisión de Medio Ambiente del Colegio de Físicos. Actualmente, es el jefe del Servi-

cio de Variabilidad y Predicción del Clima del Instituto Nacional de Meteorología (INM). Asimismo, durante los años 2000-2003, fue presidente de la Asociación Meteorológica Española. Los objetivos de su trabajo en el INM se centran en la caracterización de la variabilidad climática y en la obtención de escenarios climáticos regionales. Es autor de numerosos artículos científicos, divulgativos y capítulos de libros sobre cambio climático y energía.

JUAN FERNÁNDEZ-CUESTA LUCA DE TENA es licenciado en Ciencias de la Información por la Universidad Complutense. En la actualidad, es redactor-jefe de Sociedad del diario *ABC*, enviado especial a numerosos países europeos y americanos, así como crítico de vinos en el suplemento *Guía de Madrid*. Comenzó su carrera periodística en aquel diario en el que lleva dieciocho años. En sus inicios trabajó en las secciones de Deporte, Internacional y Nacional. Ha sido jefe de sección de Medio Ambiente y de Sociedad.

MONTSERRAT GOMENDIO KINDELAN es doctora en Zoología por la Universidad de Cambridge. Actualmente, es vicepresidenta de Organización y Relaciones Institucionales del CSIC. Su carrera investigadora se inició con el desarrollo de una tesis en la Estación Experimental de Zonas Áridas. Obtuvo una *studentship* de St. John's College para la realización de su tesis doctoral sobre reproducción en primates y una *research fellowship* en Cambridge. Fue profesora asociada en el departamento de Zoología de Cambridge y directora del Museo Nacional de Ciencias Naturales, en el que, desde 1973, formó un grupo de investigación centrado en la biología y ecología de la reproducción: evolución de estrategias reproductivas, evolución del cuidado parental, papel de la selección sexual en la especiación, reproducción en especies en peligro de extinción, efectos de la consanguinidad y conservación de la biodiversidad.

ALEJANDRO HERRERO MOLINA es doctor en Bioquímica por la Universidad Complutense de Madrid, y completó un doctorado en Ciencias y Tecnología de la Alimentación en el Massachusetts Institute of Technology. En la actualidad, es director del Instituto de Materiales y Medidas de Referencia. Cuenta con una amplia experiencia en la Universidad, la industria y la Administración Pública, así como en diferentes campos científicos relacionados con las Ciencias de la Vida, la alimentación, la química y la bioenergía.

PABLO JÁUREGUI NARVÁEZ es licenciado en Filosofía por la Universidad de Oxford, doctor en Ciencias Políticas y Sociales por el Instituto Universitario Eu-

ropeo de Florencia y Placa de Honor de la Asociación Española de Científicos. Actualmente, y desde 2002, es el jefe de la sección de Ciencia del diario *El Mundo*. Ha sido redactor en la sección de Sociedad (área Ciencia) y corresponsal científico del citado periódico.

JUAN RAMÓN LACADENA CALERO es doctor ingeniero agrónomo por la Escuela Especial de Ingenieros Agrónomos de Madrid (1963). Desde 1971, es catedrático de Genética de la Facultad de Biología (UCM). Fue colaborador científico del CSIC, profesor en distintas universidades españolas, fundador y presidente de la Sociedad Española de Genética, académico de número de la Real Academia Nacional de Farmacia y de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales del Instituto de España. Es autor de numerosos libros, artículos de investigación y monografías científicas sobre temas relacionados con la Genética (reproducción humana, manipulación genética, Proyecto Genoma, clonación, plantas y alimentos transgénicos, comportamiento cromosómico, etc.) y la Bioética.

GONZALO LEÓN SERRANO es catedrático de Ingeniería Telemática en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones de la Universidad Politécnica de Madrid. Actualmente, desempeña el cargo de Secretario General de Política Científica en el Ministerio de Ciencia y Tecnología. A lo largo de su trayectoria profesional, ha dirigido numerosos proyectos de investigación en varios programas europeos y nacionales (ESPRIT, ACTS, EUREKA, COMETT, VI Programa Marco de I + D, etc.), así como en diferentes empresas de telecomunicaciones en las áreas de software. Asimismo, ha sido subdirector general de Relaciones Internacionales de I + D, vicesecretario general del Plan Nacional de I + D y subdirector general de la Oficina de Ciencia y Tecnología de la Presidencia del Gobierno.

JAIME LISSAVETZKY DíEZ es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, científico titular en el Instituto de Química Médica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), diputado en el Congreso —por Madrid— y vicepresidente 2.º de la Comisión de Ciencia y Tecnología. Ha sido Consejero de Educación y Cultura de la Comunidad de Madrid, secretario general de la Federación Socialista Madrileña, portavoz del Grupo Socialista de la Asamblea de Madrid y senador.

EMILIO LORA-TAMAYO D'OCÓN es DEA-Diplôme d'Etudes Approfondies por la Universidad Paul Sabatier de Toulouse (Francia) y doctor en Ciencias Físicas

por la Universidad Complutense de Madrid (1977). Actualmente, y desde 1989, es catedrático de Electrónica de la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB). Fue presidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Ha participado en más de cuarenta proyectos nacionales e internacionales de I + D, incluyendo el de creación del Centro Nacional de Microelectrónica (CNM) de Bellaterra (Barcelona), y ha presidido el Comité Científico Asesor en relación con la catástrofe del hundimiento del buque *Prestige* (diciembre de 2002-febrero de 2003).

ANA MATO ADROVER es licenciada en Ciencias Políticas y Sociología por la Universidad Complutense de Madrid. Desde 1980 ocupa cargos directivos, primero en Alianza Popular y, posteriormente, en el Partido Popular; actualmente, es coordinadora de organización del Partido Popular. A lo largo de su andadura política ha desempeñado diversos puestos: vicesecretaria de Acción Electoral, asesora en el Gabinete del Presidente de la Junta de Castilla y León, diputada autonómica en la Asamblea de Madrid, coordinadora de Participación y Acción Sectorial, portavoz de Transportes y Comunicaciones, así como de Ciencia y Tecnología. Desde enero de 1999, es miembro del Comité Ejecutivo Nacional y presidenta de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología del Partido Popular.

M.^a PURIFICACIÓN NEIRA GONZÁLEZ es licenciada en Medicina y Cirugía por la Universidad de Oviedo, y doctora en Endocrinología y Enfermedades Metabólicas por la Universidad René Descartes de París. Actualmente, es presidenta de la Agencia Española de Seguridad Alimentaria. Antes de ocupar dicho cargo, trabajó en la Organización Mundial de la Salud (OMS), desarrollando su labor en distintos puestos de responsabilidad relacionados con la prevención, el control y la erradicación de enfermedades infecciosas. Autora de numerosas publicaciones especializadas, ha realizado labores de gestión y coordinación sanitarias en países africanos (Mozambique y Ruanda) y colaborado en diversos proyectos de asistencia humanitaria en campos de refugiados centroamericanos durante los conflictos armados de Nicaragua y El Salvador.

JEAN AUGUSTE PAUWELS es doctor en Ciencias Químicas por la Universidad Pública de Gante. Ha sido director científico en EURATOM (Bruselas), en la Oficina Central de Mediciones Nucleares (OCMN, Bélgica) y jefe de la unidad de Materiales de Referencia del Instituto de Materiales y Mediciones de Referencia (IMMR). Ha formado parte del Consejo de Administración de la International

Nuclear Target Development Society (INTDS) y de los comités científicos de diversas ediciones de su Congreso mundial y del Coloquio Internacional sobre Muestreo de Sólidos. Fue organizador y presidente del comité científico del Congreso Internacional sobre Materiales de Referencia Biológicos y Medioambientales. Sus principales temas de interés giran en torno a la medición de sustancias no metálicas en metales no férricos, desarrollando un método innovador para la determinación del nivel de oxígeno en el molibdeno, establecimiento de la vida del neutrón y producción y certificación de materiales de referencia certificados (MRC) para la dosimetría de reactores nucleares.

MANUEL POSADA DE LA PAZ es doctor en Medicina y Cirugía por la Universidad Autónoma de Madrid. En la actualidad, es el director del Centro de Investigación sobre el Síndrome del Aceite Tóxico y Enfermedades Raras (CISATER), y del Centro Colaborador de la OMS en Epidemiología de las Enfermedades relacionadas con el Ambiente. Ha sido vocal de la Comisión Clínica en el Plan Nacional del Síndrome del Aceite Tóxico (SAT), asesor técnico de apoyo a la investigación y coordinador general internacional del programa de Investigación sobre el SAT. Impulsor de la actividad investigadora del SAT y coordinador de las diversas especialidades afines a esta intoxicación y demás enfermedades raras, es autor de numerosas publicaciones científicas, nacionales e internacionales, sobre temas de epidemiología, salud pública, SAT y enfermedades raras.

JUAN LUIS RAMOS MARTÍN es doctor en Biología (Bioquímica) por la Universidad de Sevilla. Actualmente, es director y profesor de investigación en la Estación Experimental del Zaidín (EEZ), editor del *Journal of Bacteriology* y miembro de los comités de Reflexión y Emergencias del CSIC. Ha sido profesor asistente en el departamento de Bioquímica (Sevilla), becario postdoctoral EMBO en la Unidad de Fijación de Nitrógeno (Brighton), investigador asociado en el departamento de Bioquímica Médica (Ginebra) y colaborador e investigador científico en la EEZ (Granada). Su labor investigadora se centra en biorremediación medioambiental y restauración, ecología microbiana, genética y biología molecular de microbios y fisiología y metabolismo de *pseudomonas*.

RAFAEL RODRÍGUEZ-CLEMENTE es doctor en Ciencias Geológicas por la Universidad de Barcelona. En la actualidad, es profesor de Investigación y coordinador institucional del CSIC. Ha sido delegado del CSIC ante la Comisión Europea y colaborador de ésta en temas de relaciones científicas con los países del área mediterránea y evaluador de proyectos europeos. Su actividad inves-

tigadora se centra en temas vinculados con políticas científicas españolas y europeas, gestión de la Ciencia, relaciones científicas internacionales, recubrimientos y capas delgadas cerámicas, crecimiento cristalino, producción de materiales particulados, etc.

EDUARDO ROLDÁN SCHUTH es doctor en Ciencias Biológicas y licenciado en Veterinaria. Actualmente, es científico titular del CSIC en el Museo Nacional de Ciencias Naturales, coordinador del Banco de Germoplasma de Especies Silvestres Amenazadas e investigador responsable de varios proyectos de investigación financiados con fondos públicos nacionales e internacionales. Especialista en Biología y Biotecnología de la reproducción de mamíferos, ha realizado estancias postdoctorales en la Universidad de Hawai, en el AFRC Institute of Animal Physiology and Genetics Research (Cambridge) y en el Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC; asimismo ha sido *Senior Research Scientist* del Babraham Institute (Cambridge).

La interacción entre la ciencia y la tecnología con el resto de la estructura social no es un proceso simple, en contra de lo postulado por el antiguo modelo lineal. No basta con crear conocimiento; es preciso tejer además una compleja red de relaciones entre la universidad, los laboratorios públicos, las empresas, los medios de comunicación y las instituciones culturales. Este libro aborda algunos aspectos de esa red, cuya comprensión es necesaria para transitar con éxito por las próximas décadas. Merece la pena leerlo.

Antonio Fernández-Rañada

Facultad de Física
Universidad Complutense de Madrid

En la *sociedad del conocimiento*, el asesoramiento científico resulta imprescindible para la adecuada toma de decisiones en el ámbito político. Prestigiosos representantes de los principales sectores implicados en la contribución del conocimiento científico y técnico a la planificación, adopción y ejecución de políticas presentan en estas páginas su visión y experiencia, dentro de una ambiciosa y cuidada selección temática. Este volumen aporta información, valiosa y actualizada, sobre problemas de alcance global, emergencias, catástrofes, aseguramiento de la calidad, difusión y gestión del conocimiento. Por todo ello, debe representar una referencia esencial para científicos, gestores, planificadores, políticos y otros agentes sociales interesados en las respuestas que la Ciencia puede aportar a los problemas de la sociedad.

Miguel García Guerrero

Director del Instituto de Bioquímica Vegetal y Fotosíntesis
Universidad de Sevilla-CSIC

Fundación **BBVA**



Foro Complutense

ISBN 84 - 95163 - 89 - 6



9 788495 163899