

La ciencia se ha transformado radicalmente y su influencia económica, política y social es cada vez mayor. El siglo XX generó nuevas modalidades de ciencia: la macrociencia (Big Science) y la tecnociencia. El cambio es tan profundo que se ha producido una revolución tecnocientífica, aunque en un sentido diferente al de Kuhn. La actividad tecnocientífica se caracteriza por una estrecha vinculación entre científicos, ingenieros, técnicos, empresarios, políticos y, en muchos casos, instituciones militares. Las tecnociencias transforman ante todo a las sociedades, son indispensables para el poder y su emergencia suscita continuos conflictos de valores en las comunidades científicas y en otros sectores sociales. Tras analizar con detalle el desarrollo de las macrociencias y tecnociencias en el siglo XX (proyecto Manhattan, primeros ordenadores, exploración espacial, nuevas tecnologías de la información, proyecto Genoma, etc.) y caracterizarlas filosóficamente, este libro se centra en el análisis de la actual estructura de la práctica científica (informe Bush, sistemas nacionales de ciencia y tecnología, nuevo contrato social de la ciencia) y en la pluralidad de valores que guían la actividad tecnocientífica.

 FONDO DE CULTURA
ECONÓMICA
TLF: 71-92-47
PVP.
Bs. 200



FONDO
20+1



LA REVOLUCIÓN TECNOCIENTÍFICA

Javier Echeverría



Javier
Echeverría

La revolución
tecnocientífica



FONDO
20+1

Javier Echeverría Ezponda

(Pamplona, 1948) es doctor en Filosofía y licenciado en Matemáticas por la Universidad Complutense de Madrid. Ha sido profesor en la Universidad Politécnica de Madrid y en la Universidad del País Vasco. Actualmente es profesor de investigación "Ciencia, Tecnología y Sociedad" en el Instituto de Filosofía del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Fue vicepresidente de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas y presidente de la Sociedad de Lógica, Metodología y Filosofía de la Ciencia. Libros recientes: *Telépolis* (1994), *Cosmopolitas domésticos* (1995), *Filosofía de la Ciencia* (1995), *Introducción a la Metodología de la Ciencia: la Filosofía de la Ciencia en el siglo XX* (1999), *Los Señores del Aire: Télepolis y el Tercer Entorno* (1999) y *Ciencia y Valores* (2002). Premio Anagrama de Ensayo 1995, Premio Euskadi de Investigación 1997 en Humanidades y Ciencias Sociales y Premio Nacional de Ensayo 2000. ■

**Javier
Echeverría**

*La revolución
tecnocientífica*



FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
DE ESPAÑA

D.R. © 2003:
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA DE ESPAÑA, S.L.
Fernando el Católico, 86
28015 Madrid
e-mail: fondodeculturae@terra.es

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
Carretera de Picacho Ajusco, 227
14100 México, D.F.
www.fce.com.mx

Diseño de cubierta: Consegraf

Composición tipográfica: Pedro A. Molinero Molinero

Primera edición, 2003

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra, sea cual fuere el medio, sin el consentimiento por escrito de la editorial.

ISBN: 84-375-0551-8
Depósito legal: M. 25416-2003

Impreso en España

*A Héctor,
que tiene el talón de Aquiles en el corazón*

Prólogo

La revolución científica se inició en las últimas décadas del siglo XVI y se desarrolló a lo largo del siglo XVII. Sus impulsores (Copérnico, Galileo, Harvey, Descartes, Huygens, Leibniz, Newton y otros muchos) cambiaron radicalmente la concepción europea del mundo, rompiendo con los moldes aristotélico-escolásticos que habían predominado durante el medievo. El cambio fue lento y se produjo en algunos países europeos (Italia, Holanda, Gran Bretaña, Francia, Alemania), propagándose poco a poco al resto de Europa y al Norte de América. Afectó únicamente a algunas disciplinas (astronomía, matemáticas, física, medicina), que fueron la vanguardia del cambio filosófico y metodológico. Posteriormente, la matematización del conocimiento y la metodología experimental fueron llegando a las demás ciencias, con la consiguiente irrupción de nuevas teorías en química, biología, geología y, finalmente, en el ámbito de las ciencias sociales.

Para impulsar la nueva filosofía natural, inspirada en el programa baconiano, se crearon nuevas instituciones (Sociedades científicas, observatorios astronómicos, laboratorios, etc.), en torno a las cuales se aglutinaron las comunidades científicas emergentes. Las Universidades se opusieron al cambio, salvo raras excepciones, originándose célebres procesos y disputas entre los defensores de la nueva metodología científica y los mantenedores del método aristotélico y de la estructura medieval del saber. Como resultado de este largo proceso, la ciencia moderna se fue institucionalizando poco a poco, con notables diferencias según los países y las disciplinas.

A lo largo del siglo XVIII, los científicos encontraron importantes aliados en los impulsores de la Revolución Industrial, sobre todo en Gran Bretaña, donde la ciencia newtoniana tuvo una amplia difusión social. Con la Revolución francesa y la instauración de la educación obligatoria, la transmisión social de los conocimientos científicos quedó garantizada progresivamente, al par que se creaba un sistema de reproducción de las comunidades científicas. Durante el siglo XIX otros países europeos

siguieron el ejemplo francés, con lo que la ciencia se insertó en el sistema educativo europeo, culminándose la revolución científica. La Universidad Humboldt en Alemania y la *Polytechnique* francesa se convirtieron en modelos a imitar en todo el continente.

La primera revolución industrial se produjo en Gran Bretaña. Su impacto social, económico y político fue enorme en Europa. Uno de sus principales motores fue la tecnología. La ciencia sólo tuvo una influencia indirecta en el desarrollo industrial. Ambas revoluciones, la científica y la industrial, han sido constitutivas de la Era Moderna, junto con los profundos cambios políticos que llevaron a instaurar formas democráticas de gobierno en algunos países europeos, así como en los EEUU de América. Durante la Segunda Revolución Industrial, la alianza entre la industria, la tecnología y la ciencia se consolidó en algunos países (Gran Bretaña, Alemania, en menor medida Francia), generándose dos nuevas profesiones, la de científico y la de ingeniero. A lo largo del siglo XIX la ciencia y la tecnología interactuaron estrechamente, con mutuos beneficios, aun formando parte de sectores profesionales claramente diferenciados. Los científicos comenzaron a mostrar que sus conocimientos podían ser muy útiles para la industria y para la guerra. Los países que promovieron la colaboración entre la ciencia, la tecnología y la industria, se convirtieron en grandes potencias a lo largo del siglo XIX, en detrimento de antiguas potencias (España, Portugal, Turquía) que no dieron el paso a la nueva sociedad científico-industrial.

Tomando como referente estas dos grandes revoluciones de la Era Moderna¹, en este libro vamos a analizar un cambio no menos importante, *la revolución tecnocientífica*, que implica un nuevo modo de hacer ciencia. Se inició en los EEUU en la época de la Segunda Guerra Mundial, se consolidó con la Guerra Fría y, ulteriormente se ha ido extendiendo a otros países, en particular por Europa, Japón y Canadá. Nos centraremos

1. La tercera fue la revolución política, que instauró la democracia en dichos países (Inglaterra, EEUU, Francia, etc.) y el Estado de Derecho, creando Estados laicos, con separación de los tres poderes y principio de soberanía popular basado en la democracia representativa. La cuarta, el capitalismo, principal motor del desarrollo industrial, militar y colonial.

en los EEUU, puesto que, así como la ciencia moderna fue una creación europea, la tecnociencia contemporánea tiene una fuerte impronta norteamericana. Distinguiremos tres etapas. En la primera (1940-1965), emerge la macrociencia (*Big Science*), a la que consideraremos como la primera modalidad de tecnociencia. La investigación básica desempeñó un papel fundamental como motor de la macrociencia, sobre todo en el ámbito de la física, pero también de la química y las matemáticas. Tras una década de crisis y estancamiento (1966-1976), provocada por el fracaso norteamericano en la guerra del Vietnam y por la amplia contestación social que se suscitó en los EEUU y en Europa contra la macrociencia militarizada (mayo de 1968), en el último cuarto de siglo surgió la tecnociencia propiamente dicha, impulsada por algunas grandes empresas, más que por los Estados, y centrada en el desarrollo de nuevas tecnologías. La tecnociencia también procede de los EEUU, aunque se ha expandido rápidamente por otros países. La Unión Soviética no fue capaz de dar el nuevo salto, por falta de capacidad financiera y de tejido empresarial. Si consideramos a la macrociencia y a la tecnociencia como la primera y la segunda revolución tecnocientífica, respectivamente, cabe decir que el actual predominio militar, económico, político, diplomático y comercial de los EEUU proviene, entre otras razones, de su liderazgo tecnocientífico.

La ciencia no ha desaparecido. Las Sociedades científicas y la ciencia académica siguen existiendo. Sin embargo, sus dos nuevos retoños, la macrociencia y la tecnociencia, manifiestan un enorme empuje, hasta el punto de que algunos autores tienden a pensar que, hoy en día, todo es tecnociencia. Trataremos de mostrar que no es así, especificando las diferencias que hay entre la ciencia y la macrociencia, en primer lugar (capítulo 1), y entre la ciencia y la tecnociencia (capítulo 2). La revolución tecnocientífica difiere en aspectos fundamentales de las revoluciones científicas de las que habló Kuhn, motivo por el cual dedicaremos el capítulo 3 a precisar esas diferencias. Más que el conocimiento, transforma la práctica científico-tecnológica, generando una nueva estructura, los sistemas nacionales de ciencia y tecnología (SCyT), de los que nos ocuparemos brevemente en el capítulo 4, centrándonos en el sistema norteamericano, que sigue siendo el canónico. Aunque el desarrollo de la tecnociencia ha generado nuevas teorías científicas y grandes descubrimientos, los paradigmas básicos siguen subsistiendo en física, química,

biología y matemáticas. No estamos ante una revolución epistemológica ni metodológica, aunque haya habido grandes cambios en el conocimiento y en los métodos científicos, sino ante una revolución praxiológica. Por ello trataremos de analizar la nueva estructura de la práctica científico-tecnológica, que es la característica más acusada de la revolución tecnocientífica. Para ello trataremos de elucidar dos conceptos básicos: los *sistemas tecnocientíficos* y las *acciones tecnocientíficas*. Frente a la revolución científica del XVII, que modificó la estructura del conocimiento, la revolución tecnocientífica del siglo XX ha transformado ante todo la estructura de la *práctica científico-tecnológica*. En particular, han cambiado los sistemas de valores que guían la actividad científica, razón por la cual dedicaremos el capítulo 5 a la axiología de la tecnociencia. No es la única aproximación filosófica posible, pero a nuestro entender es una de las más claras y prometedoras. Los valores de la tecnociencia son mucho más amplios y complejos que los de la ciencia moderna. Los conflictos de valores son una componente estructural de la tecnociencia.

La revolución tecnocientífica no sólo ha cambiado las ciencias y las tecnologías. Además, ha contribuido a generar un gran cambio económico y social, la *revolución informacional*, que se inició en las últimas décadas del siglo XX y que, previsiblemente, se seguirá desarrollando durante el siglo XXI. La vinculación entre la tecnociencia y la emergente sociedad de la información es estrechísima, por lo que dicha alianza puede ser comparada con la que mantuvieron la ciencia y la tecnología modernas con la revolución industrial. Estas dos nuevas revoluciones no tienen su origen en Europa, sino en los EEUU de América, que han pasado a convertirse en una potencia hegemónica en todo el mundo, en parte por su decidido apoyo a la tecnociencia. Así como la ciencia moderna fue europea, la tecnociencia es norteamericana, al igual que la revolución informacional. En el momento actual ambas revoluciones se expanden por otros países. Al hacerlo, surgen versiones diferentes de la tecnociencia, en función de las diversas culturas en las que se inserta. Cabe decir que el Primer Mundo está formado por aquellos países en donde estas dos nuevas revoluciones se han consolidado o están en avanzada fase de desarrollo. Al concepto moderno de desarrollo industrial, científico y tecnológico, hay que añadir la noción contemporánea de desarrollo tecnocientífico e informacional. Un país puede ser una potencia científica e industrial, y sin embargo estar subdesarrollado desde el punto de vista tecnocientífi-

co e informacional. Por ello entendemos que la tecnociencia es uno de los grandes desafíos del siglo XXI.

Los nuevos modos de producción de riqueza y conocimiento han modificado radicalmente las relaciones de poder y la distribución de la riqueza en los países, regiones y empresas. El poder militar, por ejemplo, requiere un alto desarrollo tecnocientífico e informacional. Conviene tener presente que la tecnociencia no sólo sirve para crear, descubrir, inventar y construir, sino también para aniquilar y destruir. Los vínculos entre la tecnociencia y las instituciones militares han sido y siguen siendo estrechísimos, y ello desde el origen de la macrociencia. Los seres humanos han desarrollado infinidad de conflictos bélicos a lo largo de la historia, pero la Segunda Guerra Mundial y las contiendas ulteriores en las que han participado los EEUU (Corea, Guerra Fría, Vietnam, Golfo Pérsico, Kosovo, Afganistán...) suponen una novedad radical: *la tecnociencia es una condición necesaria para la victoria militar*. Por muchos soldados y mucha valentía que se posea, la derrota bélica está garantizada si no se tiene un desarrollo tecnocientífico adecuado. Otro tanto cabe decir del ámbito empresarial, sobre todo en la época de la globalización. En resumen, la tecnociencia es una condición de posibilidad del poder económico y militar, razón por la cual los países más poderosos son los que tienen un alto nivel de desarrollo tecnocientífico e informacional. La curiosidad y la búsqueda de conocimiento pudieron estar a la base de la ciencia moderna. En cambio, la lucha por el poder es el motor de la tecnociencia contemporánea. Por ello acabaremos esta obra con una reflexión sobre la tecnociencia y el poder.

La revolución de la ciencia moderna ha sido ampliamente estudiada por historiadores, sociólogos y filósofos. La historia, la filosofía y la sociología de la ciencia se constituyeron a principios del siglo XX y se centraron en el estudio de la ciencia moderna, incluidas las revoluciones científicas del siglo XIX y principios del XX: química (tabla periódica, química orgánica), matemáticas (Análisis, geometrías no euclídeas, teoría de conjuntos), biología (Darwin, Mendel), Geología (Lyell) y Física (Einstein, teoría cuántica). La filosofía de la ciencia, que constituye el punto de partida de esta obra, ha sido ante todo lógica, epistemología y metodología de la ciencia. Por ello se ha ocupado del análisis y recons-

trucción del conocimiento científico, centrándose en los conceptos, leyes, hechos y teorías, instaurando la distinción teórico/observacional, subrayando los aspectos lógico-lingüísticos del conocimiento y desarrollando concepciones enunciativas del método científico, tanto lógico-deductivas como lógico-inductivas y estadísticas. Sin minusvalorar esa metateoría de la ciencia, que ha hecho grandes aportaciones a los estudios de la ciencia, pensamos que resulta insuficiente para abordar la tecnociencia. Puesto que la ciencia ha cambiado, convirtiéndose en tecnociencia, la filosofía de la ciencia ha de modificar considerablemente sus planteamientos, deviniendo *filosofía de la tecnociencia*. Para eso ha de centrarse más en la actividad científica que en el conocimiento, desarrollando una teoría de la acción científica y prestando mayor atención a la tecnología. El principal propósito del presente libro consiste en dar pasos en esa dirección, sin olvidar el punto de partida, pero abordando un nuevo objeto de reflexión, la tecnociencia, que difiere en muchos y muy relevantes aspectos de la ciencia y la tecnología modernas. Lo que decimos de la filosofía de la ciencia vale también para otros estudios de ciencia y tecnología, es decir para la historia, la sociología, la pedagogía, la psicología, la antropología, la política o la economía de la ciencia y la tecnología, aunque aquí no vayamos a ocuparnos de esas cuestiones. Si la ciencia ha cambiado, como mantendremos en estas páginas, los estudios de ciencia y tecnología también han de cambiar, prestando mayor atención a la ciencia del siglo XX, que ya es historia, aunque en buena medida sin hacer. Por ello nos limitaremos a un período de tiempo, el posterior a la segunda guerra mundial, y a un país, los EEUU, que es donde surgió la tecnociencia. Es seguro que la indagación del desarrollo de la macrociencia y la tecnociencia en la URSS, en Europa, en Japón y en otros países aportará matizaciones importantes a las tesis que aquí vamos a afirmar. Aun así, esperamos que esta primera incursión en la filosofía de la tecnociencia del siglo XX pueda aportar algo a los estudios de ciencia, tecnología y sociedad, no sólo a la filosofía de la ciencia. En conjunto, se trata de desarrollar los estudios de la tecnociencia, filosóficos, sociológicos, históricos, pedagógicos o de otro tipo, incluyendo estudios científicos sobre la tecnociencia (cientimetría, indicadores de desarrollo tecnocientíficos, etc.). Los estudios CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) constituyen el ámbito donde pueden confluír e interactuar todas estas perspectivas.

Nosotros nos ceñiremos ante todo a las cuestiones axiológicas, porque completan los estudios epistemológicos y metodológicos clásicos, y porque la Axiología de la Ciencia y de la Tecnología está mucho menos desarrollada. Resumiendo, en este libro expondremos las tesis siguientes:

1) A lo largo del siglo XX, y sobre todo a partir de la Segunda Guerra Mundial, ha aparecido y se ha consolidado una nueva modalidad de ciencia, la tecnociencia o megaciencia (*Big Science*)². Inicialmente usaremos ambas expresiones como sinónimas, aunque luego estableceremos matices diferenciales entre ambas.

2) Dicho cambio es lo suficientemente importante como para que podamos compararlo con la revolución científica moderna. Por ello hablaremos de revolución tecnocientífica, o mejor, de *revoluciones tecnocientíficas*, puesto que se producen en casi todas las disciplinas científicas, aunque de manera diversa en unas y otras.

3) La revolución tecnocientífica es uno de los motores principales, aunque no el único, de un cambio social y económico más profundo, la revolución informacional, que por su relevancia puede ser comparado a la revolución industrial. Dicho sucintamente: así como la ciencia fue vital para el desarrollo de la sociedad industrial, así también la tecnociencia es una componente básica de la sociedad informacional.

4) Los diversos estudios sobre la ciencia y la tecnología (históricos, filosóficos, sociológicos, políticos, culturales, antropológicos, económicos, etc.) han de afrontar el reto suscitado por la revolución tecnocientífica, dando lugar a los *estudios de la tecnociencia*. Esta tendencia ya se advierte en los últimos años del siglo XX, caracterizados por una profunda transformación de los estudios transdisciplinares de ciencia y tecnología.

5) En el caso de la filosofía de la ciencia y de la tecnología, perspectiva desde la cual se escribe este libro, es preciso ocuparse ante todo del análisis filosófico de la actividad tecnocientífica, en lugar de centrarse en el conocimiento científico o en los artefactos tecnológicos, como han hecho tradicionalmente la filosofía de la ciencia y la filosofía de la tecnología. Conforme a ello, haremos unas primeras propuestas para analizar la *estructura de la actividad tecnocientífica*. Para ello estudiaremos el mo-

2. La expresión *Big Science* fue introducida por Solla Price en 1968 en su libro *Big Science, Little Science* (trad. Española, *Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona, Ariel, 1973), aunque ya había sido propuesto en 1961 por Alvin Weinberg cuando dirigía el Oak Ridge Laboratory. Dicha denominación es usada habitualmente por los científicos.

mento que, por lo general, es considerado fundacional de la macrociencia, es decir el informe de Vannevar Bush (1945), en el que se diseñó el sistema científico-tecnológico que permitió la consolidación de la tecnociencia en EEUU, y posteriormente en otros países industrial, tecnológico y científicamente desarrollados.

6) La filosofía de la ciencia del siglo XX dedicó muchos esfuerzos a justificar el conocimiento científico, su objetividad y racionalidad. Una de las vías que siguió para ello fue la búsqueda de los fundamentos de la ciencia. Se sobreentendía que, puesto que la ciencia era conocimiento, dichos fundamentos (principios, leyes, estructura lógica de las teorías, base empírica, hechos) también debían ser conocimiento, o a lo sumo metodología para obtener conocimiento válido. A nuestro juicio, esta vía es inadecuada para indagar los fundamentos de la tecnociencia. Al problema filosófico tradicional de la justificación del conocimiento científico se le superpone otra cuestión, acaso más importante: la valoración de la práctica científica.

7) Por último, y prosiguiendo la línea seguida en publicaciones recientes³, nos ocuparemos ante todo de los valores de la tecnociencia (capítulo 5), por ser uno de los ámbitos donde la revolución tecnocientífica tiene mayor impacto. Criticando la neutralidad axiológica de la tradición positivista y la restricción a los valores epistémicos o valores internos de la ciencia (Laudan), afirmaremos y desarrollaremos la tesis del *pluralismo axiológico de la tecnociencia*, que incluye el supuesto de *conflictos axiológicos continuados* en la actividad tecnocientífica. Para analizar los valores de la tecnociencia en sus diversos contextos y situaciones usaremos dos instrumentos formales, las matrices de evaluación y las cotas o umbrales de evaluación. En el capítulo 5 mostraremos que los indicadores de ciencia y tecnología que se usan habitualmente en política científica son modalidades de dichas matrices, así como los diversos protocolos de evaluación que se utilizan en la práctica tecnocientífica cotidiana. La axiología proporciona un poderoso instrumento de análisis que aglutina e integra en un mismo marco conceptual a las diversas herramientas que se utilizan hoy en día para valorar las acciones tecnocientíficas y sus resultados. Esta será la aportación práctica más significativa de esta obra.

3. J. Echeverría, *Filosofía de la ciencia* (Madrid, Akal, 1995) y *Ciencia y Valores* (Barcelona, Destino, 2002).

Las ideas desarrolladas en este libro son fruto de diversos seminarios, cursos, conferencias y debates en los que el autor ha participado en los últimos años. Las facilidades recibidas del Instituto de Filosofía del CSIC, y en particular de su Director, José María González, me permitieron encontrar algo de tiempo para poner en limpio múltiples borradores y organizar ese conjunto de ideas, sugerencias y propuestas. El apoyo económico del Ministerio de Ciencia y Tecnología (Proyectos PB 98-0495-Co8-01 y BFF2002-04454-C10-01) posibilitó la organización de varios de esos seminarios y congresos, en los que tuve oportunidad de contrastar las tesis iniciales e ir las mejorando, gracias a las múltiples críticas recibidas, que agradezco profundamente. Francisco Álvarez y Armando Menéndez han sido quienes más estrechamente colaboraron conmigo, aunque otras muchas personas hicieron aportaciones de gran interés: Adelaida Ambroggi, Roberto R. Aramayo, Fernando Broncano, José Antonio Díez Calzada, Anna Estany, José Luis Falguera, José Ferreirós, Amparo Gómez, Marta González, José Luis González Quirós, Mercedes Iglesias, Carlos López Beltrán, José Antonio López Cerezo, José Luis Luján, Sergio Martínez, Javier Moscoso, Emilio Muñoz, León Olivé, Javier Ordóñez, Francisco Pérez, Ana Rosa Pérez Ransanz, Eulalia Pérez Sedeño, Miguel Ángel Quintanilla, Ana Rioja, Concha Roldán, Fernando Sáez Vacas, Jesús Sánchez, José Manuel Sánchez Ron, María Jesús Santesmases, Juan Vázquez, Jesús Vega, Ambrosio Velasco y Jesús Zamora Bonilla, entre otros. La Unidad Asociada entre la Universidad del País Vasco y el CSIC, que codirijo con Andoni Ibarra, fue otro de los foros donde se debatieron estas propuestas, al igual que la Unidad Asociada entre la Universidad de Sevilla y el CSIC, codirigida por Ramón Queraltó. Este libro no hubiera sido posible sin el apoyo decidido que dieron a su publicación María Luisa Capella y Héctor Subirats como anteriores responsables del equipo del FCE en España, así como sus sucesores, Juan Guillermo López y Ricardo Navarro, quienes tuvieron que sufrir alguna demora en la entrega del original. Pero quienes tuvieron mayor paciencia conmigo fueron Belén e Irene, ya en el ámbito doméstico, donde el ordenador estuvo demasiado tiempo encendido en los últimos meses.

A todos/as ellos/as mi más sincero agradecimiento.

I.

Ciencias, macrociencias y tecnociencias

I. MICROCIENCIA Y MACROCIENCIA

Derek J. de Solla Price, físico e historiador de la ciencia, impartió en 1962 las conferencias Pegram en el Laboratorio Nacional de Brookhaven, uno de los más importantes de los EEUU para la aplicación pacífica de la energía nuclear. En ellas se propuso introducir una metodología cuantitativa para el estudio de la ciencia. «¿Por qué no aplicar los recursos de la ciencia a la ciencia misma? ¿Por qué no medir y generalizar, plantear hipótesis y extraer conclusiones?» –se preguntaba al empezar¹. Conforme a su formación de físico, Solla Price se interesó por el tamaño y la forma de la ciencia, en lugar de centrarse en los contenidos, las teorías y los descubrimientos, como habían hecho los filósofos e historiadores de la ciencia desde principios del siglo XX. «Considerando la ciencia como una entidad mensurable» –decía– «intentaré calcular el personal científico, la literatura, el talento y los gastos a escala nacional e internacional»². A dichas magnitudes se les llama actualmente *indicadores del desarrollo científico* y tienen gran importancia para orientar las políticas científicas. Esta línea de indagación generó una nueva disciplina, la *Cienciometría (Scientometrics)*, que ha tenido gran desarrollo en la segunda mitad del siglo XX y forma parte de los estudios cuantitativos sobre ciencia y tecnología.

Los datos que presentó Solla Price, todos ellos referidos a los EEUU, le permitieron afirmar que la ciencia había crecido exponencialmente en tamaño durante el siglo XX. Dicho incremento afectó al número de científicos, las publicaciones, las novedades y descubrimientos logrados y también a la financiación de la actividad científica. Por poner un ejemplo, en los años 60 vivía el 80-90% de los científicos que jamás había habido en la historia. Ese crecimiento vertiginoso le llevó a proponer la

1. D. J. de Solla Price, *Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona, Ariel, 1973, p. 23.

2. Solla Price, *o.c.*, p. 24.

hipótesis de que la ciencia había entrado en una nueva fase, la Gran Ciencia o macrociencia (*Big Science*). La caracterizó mediante dos leyes matemáticas, ambas conjeturales y sujetas a contrastación empírica: la *ley de crecimiento exponencial* y la *ley de saturación*. La primera afirmaba que «la ciencia crece a interés compuesto, multiplicándose por una cantidad determinada en iguales períodos de tiempo»³. El período de duplicación del tamaño de la ciencia lo fijó en 15 años. La segunda ley matizaba la exponencialidad y proponía como modelo de crecimiento la *curva logística*, según el cual el crecimiento exponencial con duplicación cada 15 años no es más que el comienzo de una curva logística, que posteriormente llega a un techo o línea de saturación. A partir de dicha cota el crecimiento puede estancarse, en cuyo caso la ciencia entraría en una fase de senilidad, o bien puede recuperar el ritmo exponencial, entrando en una nueva fase de crecimiento acelerado⁴. Cuarenta años después, no cabe duda de que la segunda hipótesis ha sido la acertada.

Los datos y los modelos matemáticos propuestos por Solla Price han sido corregidos y afinados ulteriormente por los expertos en Cientometría, pero en gran medida siguen siendo válidos. Desde una perspectiva filosófica, lo que interesa es que la ley de crecimiento exponencial le llevó a proponer una *distinción conceptual* que ha tenido gran aceptación entre los científicos: por una parte existiría la Pequeña Ciencia (siglos XVII, XVIII y XIX) y por otra la Gran Ciencia (siglo XX). Ambas se distinguen por su ritmo de crecimiento, muy lento en el primer caso, muy rápido en el segundo. Conviene considerar si esa distinción entre dos tipos de ciencia se justifica filosóficamente y, sobre todo, si las diferencias de tamaño y ritmo de crecimiento son razón suficiente para introducir una distinción conceptual tan importante y si ésta es puramente cuantitativa, o también cualitativa.

La noción de macrociencia (*Big Science*) había sido sugerida el año anterior por Alvin Weinberg, quien había propuesto un criterio económico para definirla: para que un proyecto sea considerado como macrocien-

3. *Ibid.*, p. 37. Solla Price la consideró como «la ley fundamental para cualquier análisis de la ciencia» (p. 38).

4. La formulación más general de la segunda ley es: «Todas las leyes de crecimiento aparentemente exponencial son en último extremo logísticas, lo que implica un período de crisis cuyo punto medio se encuentra a la distancia aproximada de una generación» (*Ibid.*, pp. 64-65).

tífico es preciso que su realización requiera una parte significativa del producto interior bruto (PIB) de un país⁵. Conforme al criterio de Weinberg, la distinción entre ciencia y macrociencia es ante todo presupuestaria⁶. Solla Price aceptó este criterio económico, pero quiso precisarlo y formalizarlo. Para ello propuso un modelo matemático que justificaba la necesidad de incrementar considerablemente la financiación de la ciencia. La distinción conceptual que introdujo afirmaba que la investigación científica había entrado en un nuevo estadio histórico, razón por la que había que replantearse el problema de su financiación: «la ciencia de hoy desborda tan ampliamente la anterior, que resulta evidente que hemos entrado en una nueva era que lo ha barrido todo, a excepción de las tradiciones científicas básicas»⁷. Por último, Solla Price sugirió que su investigación no era más que un primer paso: «si hemos de caracterizar la fase actual como algo nuevo, distinto de la ciencia burguesa común a Maxwell, a Franklin y a Newton, no podemos basarnos únicamente en una tasa de crecimiento»⁸. Dejaba así abierta la vía para distinguir la macrociencia de la ciencia no sólo por su tamaño, sino también mediante criterios cualitativos y culturales.

La cuestión fue retomada en un Simposio organizado por la Universidad de Stanford en 1988, cuyas Actas han sido editadas por dos historiadores de la ciencia, Peter Galison y Bruce Hevly. Para Hevly, «la macrociencia no es ciencia hecha con instrumentos grandes o caros»⁹. Los altos presupuestos y los grandes instrumentos son indicadores del cambio, pero, según Hevly, la macrociencia se caracterizó desde el principio por¹⁰:

5. Alvin M. Weinberg, «Impact of large-scale science on the United States», *Science*, 134 (21 de julio de 1961), p. 164. Véase A. M. Weinberg, *Reflections on Big Science*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1967.

6. Este tipo de criterio para distinguir la macrociencia se convirtió en estándar. En el *World Inventory of 'Big Science' Research Instruments and Facilities* editado en 1986 por el Congreso de los EEUU, se hablaba de macrociencia para aludir a grandes aparatos científicos que hubieran sido construidos con posterioridad a 1920 y que hubieran costado como mínimo 25 millones de dólares, en dólares constantes de 1984.

7. Solla Price, *o.c.*, p. 34.

8. *Ibid.*, p. 50.

9. B. Hevly, «Reflections on Big Science and Big History», en P. Galison and B. Hevly (eds.), *Big Science: the Growth of Large-Scale Research*, Stanford, Stanford Univ. Press, 1992, p. 356.

10. *Ibid.*, pp. 356-357.

a) La concentración de los recursos en un número muy limitado de centros de investigación.

b) La especialización de la fuerza de trabajo en los laboratorios.

c) El desarrollo de proyectos relevantes desde el punto de vista social y político, que contribuyen a incrementar el poder militar, el potencial industrial, la salud o el prestigio de un país.

En dicho Simposio también se debatió el problema del origen de la macrociencia, así como su evolución ulterior. El propio Hevly apuntó otras peculiaridades de la macrociencia, que se han ido manifestando a lo largo de su evolución posterior¹¹:

d) La relación entre ciencia y tecnología ha tomado nuevas formas, que han influido en la naturaleza de ambas.

e) La macrociencia requiere la interacción entre científicos, ingenieros y militares. Galison confirmó este punto, al afirmar tajantemente que «es manifiestamente imposible examinar la gran ciencia sin tener en cuenta la ciencia de la guerra»¹².

Otros autores también presentaron propuestas para caracterizar la macrociencia. Robert W. Smith, por ejemplo, recordó que «entre las características que han sido identificadas en la gran ciencia están la politización, la burocratización, el alto riesgo y la pérdida de autonomía»¹³. Galison dijo que la megaciencia tiene muchas caras, por lo que su indagación es difícil y compleja. Todos los analistas apuntaron que la discontinuidad entre la ciencia pequeña y la grande es en parte ficticia, lo cual no impide la conveniencia de mantener dicha distinción. Panofsky, uno de los grandes promotores de la Gran Ciencia en la Universidad de Stanford (proyecto MARK III), dijo que «no hay conflicto entre la pequeña y la gran ciencia, y de hecho hay un continuo de escala entre las diferentes actividades»¹⁴. Con ello retomaba las tesis iniciales de Solla Price, insistiendo en que el tránsito de la ciencia a la macrociencia fue evolutivo, no revolucionario.

No faltaron autores que investigaron la emergencia de la megaciencia en Europa (el CERN) o en Japón (ciudad de la ciencia de Tsukuba), mostrando que hay diferencias culturales importantes en su desarrollo según

11. *Ibid.*, pp. 357-358.

12. P. Galison, «The Many Faces of Big Science», en Galison y Hevly, *o.c.*, p. 13.

13. R. S. Smith, «The Space Telescope», en Galison y Hevly, *o.c.*, p. 186.

14. W. K. H. Panofsky, «SLAC and Big Science: Stanford University», en P. Galison y B. Hevly, *o.c.*, p. 145.

los países y las disciplinas. En resumen, tanto los participantes en el Simposio de Stanford como otros autores que se han ocupado de esta cuestión, coinciden a la hora de usar el término «macrociencia» para aludir a una nueva etapa del desarrollo de la ciencia, pero difieren entre sí a la hora de definirlo. La mayoría de los estudiosos suscribirían la afirmación de Sánchez Ron, según la cual «la Gran Ciencia es un procedimiento de investigación característico de nuestro siglo»¹⁵, refiriéndose al siglo XX. Pero sobre las notas que definen a la Gran Ciencia las posturas son muy diversas. Inferimos de todo ello que merece la pena precisar conceptualmente las diferencias entre la ciencia y la macrociencia y optamos por una indagación filosófica. No en vano la filosofía se ha esforzado en elucidar los conceptos a lo largo de su historia.

En esta obra mantendremos que a lo largo del siglo XX no sólo han cambiado el tamaño y el ritmo de crecimiento de la ciencia, sino algo mucho más profundo, a saber: *la estructura de la actividad tecnocientífica*. La caracterización económica de Weinberg y los modelos cuantitativos de Solla Price son indicadores de dicho cambio, pero no son su causa. La emergencia de la macrociencia implicó un cambio profundo en la práctica científica, del que se derivan otros muchos cambios, algunos de gran envergadura. Por ello, mantendremos también la tesis de que a lo largo del siglo XX se ha producido una profunda revolución en la ciencia y la tecnología: una *revolución tecnocientífica*. Puesto que, al hablar de revoluciones científicas, la obra de Thomas Kuhn es de referencia obligada, no sólo nos ocuparemos de distinguir la ciencia de la macrociencia y la tecnociencia (capítulos 1 y 2), sino que también analizaremos la noción de «revolución tecnocientífica», distinguiéndola de las revoluciones científicas kuhnianas (capítulo 3). Dicho sucintamente, las revoluciones científicas que estudió Kuhn (Copérnico, Galileo, Newton, Lyell, Lavoisier, Einstein, mecánica cuántica, etc.) transformaron ante todo la estructura del conocimiento científico. La revolución tecnocientífica del siglo XX, en cambio, está basada en un cambio radical de la estructura de la actividad científica, y por ello tiene múltiples facetas a analizar, incluidos los cambios de teoría que de ella se derivaron. Dicho cambio de estructura trajo consigo un incremento del tamaño de la ciencia, pero

15. J. M. Sánchez Ron, *Falsos mitos: ciencia versus tecnología*, Fundación Repsol, 1998, p.36.

también modificó los objetivos de la ciencia, las comunidades científicas, los modos de organización de la investigación y los criterios de valoración de los resultados. En particular, produjo una profunda simbiosis entre ciencia y tecnología. Asimismo mantendremos que, tras la emergencia de la macrociencia, la progresiva empresarialización e informatización de la actividad investigadora generó a su vez un nuevo cambio cualitativo, que se ha manifestado sobre todo en el último cuarto del siglo XX. Por ello diremos que la macrociencia fue un preludio de la tecnociencia, o si se quiere una fase de transición. Filosóficamente hablando, el gran cambio experimentado por la ciencia en el siglo XX se analiza mejor si hablamos de tecnociencia. Por esta razón consideraremos a la macrociencia como la primera modalidad de tecnociencia.

2. EL ORIGEN DE LA MACROCIENCIA

A título de hipótesis, Solla Price aceptó que «los cambios cataclísmicos asociados a la segunda guerra mundial fueron los que iniciaron la nueva era y ocasionaron todas las diferencias importantes (entre la Pequeña y la Gran Ciencia)»¹⁶. Así pues, situó el comienzo de la macrociencia en la época de la Segunda Guerra Mundial, aun aceptando que la transición de la Pequeña a la Gran Ciencia fue gradual¹⁷.

Galison, Sánchez Ron y Seidel, entre otros, han señalado la importancia histórica que tuvo el diseño y construcción en Berkeley del primer ciclotrón por parte de Lawrence (1932)¹⁸. Consecuentemente, tienden a fechar el comienzo de la Gran Ciencia en la década anterior a la Segunda Guerra Mundial¹⁹. Efectivamente, el proyecto de Lawrence es un buen

¹⁶ *Ibid.*, p. 51.

¹⁷ *Ibid.*, pp. 36-37.

¹⁸ Otros autores, como Michael Dennis, han mostrado de manera convincente que establecer una frontera temporal entre la Pequeña y la Gran ciencia, así como señalar un origen histórico para esta última, implica creer en mitos. Ver M. Dennis, *A Change of State: The Political Cultures of Technical Practice at the MIT Instrumentation Laboratory and the John Hopkins University Applied Physics Laboratory, 1930-1945*, tesis doctoral en la John Hopkins University, 1990. Dicho autor afirma que ya había macrociencia en los años 30 en esas dos Universidades norteamericanas.

¹⁹ P. Galison, «The many faces of Big Science», en P. Galison and B. Hevly, *Big Science*, Stanford, Cal., Stanford Univ. Press, 1992, p. 3, R. Seidel, «The Lawrence Ber-

ejemplo de propuesta macrocientífica, aunque no hay que olvidar que los grandes ciclotrones y aceleradores de partículas fueron construidos a partir de 1940. Pero, desde nuestro punto de vista, el debate sobre el momento concreto en que surgió la megaciencia es vano. No estamos ante un descubrimiento que pudiera ser atribuido a una persona concreta, ni fechado y ubicado en un tiempo y lugar determinados²⁰, sino ante un *cambio en la estructura de la actividad científica*, que requirió un amplio lapso de tiempo para surgir, consolidarse y desarrollarse. La revolución tecnocientífica no la hizo una persona ni un Centro de investigación. Tampoco fue un cambio epistemológico, metodológico o teórico, al modo de la revolución científica del siglo XVII. Fue una transformación radical de la actividad investigadora que se produjo en varios centros de investigación a la vez, aunque en algunos cristalizó con mayor rapidez y claridad de ideas. Lo que es más, no sólo se produjo en los laboratorios y centros de investigación, sino también en otros escenarios (despachos de política científica, empresas, fundaciones, centros de estudios estratégicos, etc.). Por otra parte, la emergencia de la tecnociencia no sólo afectó a la investigación, sino también a la gestión, aplicación, evaluación, desarrollo y difusión de la ciencia, es decir, a la actividad científica en su conjunto. La revolución tecnocientífica fue un proceso prolongado y complejo, que todavía ahora se sigue produciendo, en la medida en que la tecnociencia sigue expandiéndose por diversos países. En cada uno de ellos adoptó modalidades diferentes, al igual que en las diversas disciplinas. Pero, aun así, hay una serie de rasgos comunes que permiten caracterizar la nueva estructura de la práctica científico-tecnológica, como veremos a continuación:

➤ Vayamos por pasos, retrotrayéndonos a la primera modalidad de tecnociencia, es decir a la *Big Science*. La macrociencia trajo consigo un

keley Laboratory», en *Ibid.*, pp. 21-45 y J. M. Sánchez Ron, *o.c.*, p. 38. El ciclotrón de Lawrence de 1932 tenía 30 cm. de diámetro y 1 millón de voltios de potencia. En 1939 se construyó en Berkeley un ciclotrón de 16 millones de voltios. El tamaño y potencia de los ciclotrones aumentó enormemente a partir de los 40, hasta llegarse al célebre proyecto –abortado finalmente por el Congreso de los EEUU en 1993– del Supercolisionador Superconductor, que hubiera tenido un túnel de 95 kilómetros de longitud, una energía 20 veces más alta que todos los existentes y un coste estimado de unos 8.000 millones de dólares.

²⁰ No se olvide que tanto Merton como Kuhn subrayaron que los descubrimientos científicos frecuentemente se producen de manera simultánea e independiente. Numerosas controversias históricas por la prioridad en el descubrimiento así lo atestiguan.

nuevo sistema científico-tecnológico y por ello los cambios en la práctica científica fueron numerosos e importantes. Algunas Universidades y centros de investigación norteamericanos (MIT, Berkeley, etc.) habían apuntado en esa dirección en los años 30. Por ello cabe hablar de varios ejemplos de macrociencia anteriores a la Segunda Guerra Mundial, como el Radiation Laboratory del MIT, el Klystron Laboratory de Stanford o el Radiation Laboratory de Berkeley. Sin embargo, el mayor auge de estos centros de investigación se produjo durante la guerra y en los años inmediatamente posteriores. Lo que estos centros pioneros apuntaron en la década de los 30 mostró su enorme eficacia durante la Guerra Mundial. El informe de Vannevar Bush, *Science, the Endless Frontier* (1945) aportó una teoría a dicho cambio, posibilitando la instauración de un nuevo sistema de ciencia y tecnología en los EEUU tras la Segunda Guerra Mundial. Dicho sistema CyT (SCyT) se consolidó en los años 50, primero en los EEUU y posteriormente en otros países, con las correspondientes variantes y especificidades.

Por tanto, situaremos el comienzo de la macrociencia en la época de la Segunda Guerra Mundial, subrayando que se produjo en los EEUU de América y en el ámbito de la físico-matemática militarizada, como muestran los cuatro grandes proyectos que consideramos como cánones iniciales de la Gran Ciencia: el Radiation Laboratory de Berkeley, el Radiation Laboratory del MIT, el proyecto ENIAC de la Moore School de Pennsylvania y, sobre todo, el Proyecto Manhattan (Los Alamos), auténtico paradigma de la macrociencia, que condujo a la fabricación de las primeras bombas atómicas²¹. Otros países (Alemania, Gran Bretaña) desarrollaron proyectos similares en la Segunda Guerra Mundial, e incluso

21. El Radiation Laboratory del Massachusetts Institute of Technology se fundó en 1940 y rápidamente se especializó en el proyecto radar, de gran alcance científico, pero también tecnológico y militar. Tras la guerra, los radares tuvieron gran aplicación en la aviación y navegación civil. Prosiguiendo con esta línea de investigación los laboratorios Bell descubrieron en 1947 el transistor, otro gran ejemplo de innovación tecnocientífica. En cuanto al proyecto ENIAC, permitió la construcción del primer ordenador multitaer, cuyo diseño fue hecho por von Neumann, pero cuya puesta en funcionamiento no hubiera sido posible sin la estrecha colaboración de físicos, matemáticos e ingenieros. Al igual que el Proyecto Manhattan, ambos proyectos fueron financiados por el Ejército Estadounidense y sus resultados permanecieron secretos mientras duró la guerra. Ver Sánchez Ron, *o.c.*, pp. 43-52 y Robert Seidel, «The Origins of the Lawrence Berkeley Laboratory», en Galison y Hevly, *o.c.*, pp. 21-45.

antes²². Pero durante la postguerra carecieron de recursos económicos y apoyo político para impulsar la tecnociencia. Esos países priorizaron la reconstrucción, en lugar de crear un sistema nacional de ciencia y tecnología que les llevara al liderazgo mundial en la época de la postguerra, como hicieron los EEUU. En el caso americano, la tecnociencia emergente contribuyó decisivamente a su victoria militar. Pero la decisión clave consistió en impulsar la nueva estructura organizativa de la macrociencia durante la postguerra, utilizando importantes fondos públicos para ello. Finalizado el conflicto bélico, el único país que estaba en condiciones económicas, políticas y militares para desarrollar la Gran Ciencia eran los EEUU. Por tanto, la macrociencia surge en los cuatro centros antes aludidos (y en otros que podrían mencionarse), pero la nueva estructuración de la actividad científica sólo se produce a partir de 1945, más concretamente con la aprobación del informe Bush y su progresiva puesta en funcionamiento.

Algunos años después la URSS se convirtió en potencia nuclear, desarrolló su propio sistema SCyT y, por ejemplo, tomó la iniciativa en la exploración espacial con el lanzamiento del primer satélite artificial, el *Sputnik* (1957). Por tanto, la *Big Science* también se desarrolló en la Unión Soviética, pero con posterioridad. La competición científico-tecnológica entre las dos grandes potencias fue una de las características más significativas de la Guerra Fría y estuvo estrechamente vinculada a su rivalidad militar, política, industrial e ideológica. La competición por el dominio del espacio entre los EEUU y la URSS en los años 50 y 60 es un excelente ejemplo de macrociencia, al igual que la dura emulación entre el National Laboratory de Brookhaven y el CERN europeo (1952) en el campo de la física de pequeñas partículas. A partir de los 50, los ejemplos de macrociencia abundan, y a partir de los 80 se multiplican por los países económicamente desarrollados, aunque con diferencias significativas con respecto a la primera época de la macrociencia. La mayor presencia de las empresas privadas y la informatización de la actividad tecnocientífica caracterizan, entre otras cosas, a esta segunda época de la megaciencia, en la que se configura lo que propiamente cabe llamar *tecnociencia*. Por tanto, diremos que la macrociencia fue la precursora de la tecnociencia

22. Otro ejemplo de macrociencia durante ese período podría ser la Criptología, con proyectos británicos, alemanes, franceses y estadounidenses en competencia.

y que ambas se diferencian de la ciencia moderna (*Small Science*) en base a criterios cualitativos, no sólo cuantitativos. El objetivo de este capítulo consiste en delimitar esos rasgos diferenciales, que en muchos casos son cuestión de grado o de escala.

Partimos de la hipótesis de Solla Price: la nueva modalidad de actividad científica se configuró en los EEUU en la década de los 40. Aparte de los cuatro grandes proyectos que hemos mencionado, un momento clave es el Informe de Vannevar Bush sobre política científica (*Science, the Endless Frontier*, 1945), del que nos ocuparemos con mayor detalle en el capítulo 4. En dicho informe se afirmaba que la investigación básica es el motor de la innovación tecnológica y que ésta, con ayuda de la industria y de las agencias estatales, es condición necesaria para el progreso económico y social de un país, así como para la seguridad nacional. La investigación científica no se justificaba ya por la búsqueda de la verdad ni por el dominio de la naturaleza. Dichos objetivos, que caracterizaron la emergencia de la ciencia y la tecnología modernas, siguieron existiendo, pero surgieron otros nuevos, mucho más específicos de la tecnociencia. En concreto, se trataba de garantizar el predominio militar, político, económico y comercial de un país. A lo largo de esta obra mantendremos la tesis de que la tecnociencia se caracteriza ante todo por la emergencia, consolidación y desarrollo estable de un sistema científico-tecnológico que da un lugar a un *nuevo modo de producción de conocimiento*. A diferencia de la Primera Guerra Mundial, tras cuya conclusión se volvió a la actividad científica y tecnológica normales, el informe Bush diseñó un sistema científico-tecnológico de nuevo cuño que podría valer tanto para la paz como para la guerra²³. Entre otros aspectos, la tecnociencia se caracteriza por la *instrumentalización del conocimiento científico-tecnológico*. El avance en el conocimiento deja de ser un fin en sí mismo para convertirse en un medio para otros fines.

²³. En relación con el informe Bush y las iniciativas legislativas que le precedieron seguimos lo expuesto por Bruce L. R. Smith en su libro *American Science Policy since World War II* (Washington, The Brookings Institution, 1990).

3. MACROCIENCIA Y TECNOCIENCIA

La distinción entre Pequeña Ciencia y Gran Ciencia puede ser mejorada si se utiliza el término «tecnociencia» y se considera que la *Big Science* es la primera modalidad histórica de la tecnociencia, a la que luego han seguido otras, para cuya identificación hay que recurrir a otros criterios, aparte de los de tamaño y crecimiento propuestos por Solla Price.

Aceptaremos las propuestas de Weinberg, Hevly, Galison y Smith, pero intentaremos organizar mejor el sistema de rasgos distintivos entre ciencia y tecnociencia. La tecnociencia, por ejemplo, no sólo modifica la ciencia: también transforma la actividad tecnológica, industrial y militar, gracias al desarrollo de un sistema nacional de ciencia y tecnología que trasciende los límites de las comunidades científicas y genera *empresas tecnocientíficas*, superpuestas a las comunidades científicas preexistentes. Los indicadores propuestos por Weinberg y Solla Price, al igual que los criterios usados por Heavy, Galison, Smith y otros, no bastan para explorar a fondo el concepto de «tecnociencia». Por nuestra parte, la caracterizaremos mediante un conjunto de *rasgos distintivos*, con el fin de introducir un mínimo de rigor filosófico, que echamos en falta en buena parte de los estudios históricos sobre la macrociencia. Es preciso llevar a cabo un análisis conceptual detallado y desde varias perspectivas para distinguir adecuadamente entre ciencia, macrociencia y tecnociencia. Los criterios económicos, cientométricos y sociológicos establecen algunas diferencias, pero no bastan.

Empezaremos con la primera modalidad de tecnociencia, es decir con la macrociencia. Esta se caracteriza por los siguientes rasgos distintivos:

a) Financiación gubernamental

El Gobierno Federal de los EEUU decidió impulsar la investigación básica, involucrándose activamente en el fomento de la ciencia, todo ello con el fin de incrementar considerablemente el poder militar y comercial de los EEUU. Se rompía así una tradición de no intervención federal en los asuntos científicos, que se había mantenido durante el siglo XIX y comienzos del siglo XX. La investigación científica era responsabilidad exclusiva de las instituciones académicas, aunque solía estar financiada por

mecenas, fundaciones, algunos Estados de la Unión y algunas empresas. Por lo general, el interés de las empresas se orientaba casi exclusivamente a la investigación aplicada, conforme a las tradiciones de la industrialización norteamericana. En la época de la segunda guerra mundial se produjo un gran cambio en los EEUU y aparecieron organismos militares, comités políticos y oficinas gubernamentales, como la Oficina de Movilización Científica y Tecnológica, que comenzaron a impulsar fuertemente la investigación. Se producía así la entrada de nuevos y poderosos agentes en el ámbito del conocimiento, hasta entonces prácticamente monopolizado por las comunidades científicas. Para ello, se financiaron grandes equipamientos y macroproyectos de investigación, algo que estaba fuera del alcance de los medios económicos de las universidades y centros de investigación, salvo raras excepciones. La macrociencia surgió en torno a unos pocos centros y proyectos (Berkeley, MIT, Moore School, Los Alamos, etc.), todos ellos con fuerte apoyo militar o político. Las grandes necesidades militares suscitadas por la Segunda Guerra Mundial fueron decisivas a la hora de incrementar el tamaño de los proyectos y los medios de financiación. En lo que se refiere a la investigación básica, los EEUU estaban por detrás de Alemania y de otros países europeos. Se trataba de corregir ese retraso en pocos años, fichando para ello a los mejores científicos europeos, muchos de ellos con dificultades en sus países de origen a causa del ascenso del nazismo y el fascismo. Frente al tradicional mecenazgo de las Fundaciones o de los Estados, el Gobierno Federal y las Agencias militares decidieron invertir fuertemente en la investigación básica, siempre que ésta se vinculara estrechamente a las líneas que los nuevos agentes consideraban estratégicas.

b) Integración de científicos y tecnólogos

Para el desarrollo de esos macroproyectos se requerían grandes equipamientos e inversiones, así como equipos de investigación multidisciplinarios y de gran tamaño. Ello exigió la colaboración (no exenta de conflictos internos) entre científicos, ingenieros, técnicos y financiadores de la investigación. Un macroproyecto científico no sólo persigue objetivos ligados a la búsqueda de conocimiento científico. También pretende generar avances y mejoras en las tecnologías disponibles, de modo

que éstas fueran útiles a las instituciones financiadoras, y en particular al Ejército, la Armada y la Aviación. Por tanto, la macrociencia requiere que los ingenieros y los científicos colaboren estrechamente si quieren lograr sus objetivos respectivos, rompiéndose la separación disciplinar anterior.

c) Contrato social de la ciencia

Los EEUU reorganizaron sus Agencias y centros de investigación, contratando científicos, ingenieros y técnicos de gran prestigio para ello. Paralelamente, subcontrataban con algunas instituciones académicas y con las grandes empresas industriales la realización de dichos macroproyectos, siempre que los científicos, las instituciones y las empresas ofrecieran un alto grado de confianza, fiabilidad, competencia científica y eficiencia industrial. La investigación científica pasó a formar parte de una *industria de I+D*. Cada científico e ingeniero había de aportar sus conocimientos y destrezas a un proyecto conjunto que se desarrollaba por etapas previamente diseñadas y planificadas. La dirección de dichos proyectos tenía un papel fundamental, porque conocía los objetivos finales, fijaba las fases de desarrollo y los objetivos intermedios, mantenía las relaciones con los agentes financiadores y con los potenciales clientes, gestionaba los recursos humanos y materiales disponibles y firmaba nuevos contratos con expertos y empresas especializadas cuando ello era preciso para el buen desenvolvimiento de determinadas fases del proyecto. En resumen, la macrociencia no fue desarrollada únicamente por laboratorios, sino por un complejo de *industrias científicas* gestionadas y dirigidas conforme a modelos de organización empresarial y militar. A la ciencia académica se le superpuso un entramado industrial, político y militar que modificó radicalmente la organización de la investigación. Aun manteniendo su tradicional autonomía en los laboratorios, parte de la ciencia se industrializó, es decir, se convirtió en una empresa auxiliar de los grandes proyectos científico-tecnológicos. Como resultante de esta estrategia, se estableció lo que después fue llamado *contrato social de la ciencia* entre científicos, ingenieros, políticos, militares y corporaciones industriales. El informe de Vannevar Bush (1945) suele ser considerado como el texto fundacional de dicho contrato. Analizaremos su contenido con mayor detalle en el capítulo 4.

d) *Macrociencia industrializada*

Estos cambios tuvieron consecuencias directas en la práctica científica, debido a que los laboratorios que colaboraban en un macroproyecto de investigación pasaron a formar parte de auténticas *factorías científicas*, como ocurrió en los laboratorios que investigaban sobre radares y en el proyecto Manhattan²⁴. La investigación macrocientífica requiere grandes laboratorios, cuya construcción ha de ser realizada por las industrias, y cuyo uso es compartido por varios equipos de investigación. Se rompía así con la tradición de la ciencia académica, en la que cada institución o científico contaba con su propio laboratorio, surgiendo los equipamientos compartidos. Ello permitía optimizar los recursos, pero obligaba a coordinar las investigaciones de equipos distintos y a tener muy presentes los criterios de personas externas a las comunidades científicas. La emergencia de la macrociencia trajo consigo conflictos internos en las comunidades científicas: algunos se integraron en los macroproyectos de investigación, pero las críticas y las resistencias fueron muchas. El núcleo duro de la macrociencia se concentró en los despachos de dirección, donde se tomaban las decisiones principales. Con el tiempo, ello dio lugar a una burocratización de la actividad científica, hasta entonces desconocida. La época romántica de la investigación científica (Darwin, Mendel, Einstein, los esposos Curie, etc.) había concluido, entrándose en la etapa de la *macrociencia industrializada*. Obvio es decir que esta transición no se produjo en todas partes. La Pequeña Ciencia siguió existiendo, pero frente a ella emergió una nueva modalidad de producción de conocimiento, que fue considerada por las autoridades políticas como prioritaria. Entre la ciencia académica que siguió practicándose en la mayoría de las Universidades y la macrociencia industrializada por la que optaron algunas se fue abriendo paulatinamente una frontera.

24. Así lo señala Sánchez Ron, *o.c.*, p. 44: «sin la poderosa industria estadounidense no habría sido posible llevarlo a buen puerto». O, en relación con el ciclotrón de Lawrence: «en más de un sentido el laboratorio de Berkeley se parecía más a una factoría que a los gabinetes de otras épocas» (*Ibid.*, p. 40).

e) *Macrociencia militarizada*

Muchos de los macroproyectos científicos tuvieron apoyo y financiación militar, sobre todo en sus primeras fases de desarrollo. Por tanto, fueron secretos, contrariamente a la tradición de la ciencia moderna, basada en la publicación de los resultados de la investigación. Frente a la autonomía tradicional de los científicos a la hora de determinar lo que hay que publicar, las agencias militares de I+D introdujeron nuevos valores en la práctica científica (secreto, disciplina, lealtad, patriotismo, etc.). Durante la guerra mundial, un número importante de científicos e ingenieros fue militarizado. Este fenómeno se había producido en conflictos bélicos anteriores. La novedad consistió en mantener esa militarización parcial de la ciencia durante la postguerra. Muchos de los macroproyectos científicos siguieron teniendo financiación militar, tanto en la guerra de Corea (1950) como, sobre todo, durante la Guerra Fría. Aunque los resultados de algunos proyectos secretos (por ejemplo los ordenadores tipo ENIAC, o los radares) fueron transferidos a la sociedad civil, las Agencias militares diseñaron nuevos macroproyectos (sistemas de defensa, exploración espacial, energía nuclear, criptología, etc.) que siguieron permaneciendo en el ámbito de la macrociencia militarizada. De esta manera, algunas instituciones militares se convirtieron en agentes estables para la investigación científica y tecnológica²⁵. La macrociencia no sólo estuvo militarizada en su fase de emergencia, sino también, aunque fuera parcialmente, en las fases ulteriores de consolidación y desarrollo. Los sistemas de ciencia y tecnología de los países desarrollados incluyen siempre Agencias militares de I+D, al servicio de las cuales trabaja una parte significativa de las comunidades científicas²⁶.

f) *La política científica*

La emergencia de la macrociencia es concomitante con la aparición de las políticas científico-tecnológicas, públicas o privadas. Algunos cientí-

25. En 1955, el 80% de las inversiones del Gobierno Federal en I+D fueron canalizadas a través del Departamento de Defensa.

26. Por ejemplo, más del 50% de los matemáticos norteamericanos eran contratados en la década de los 80 por la National Security Agency o por Agencias militares.

ficos de prestigio dejaron los laboratorios y pasaron a gabinetes de dirección y asesoramiento, convirtiéndose en expertos en la negociación y diseño de políticas científico-tecnológicas. Surgió así un nuevo tipo de acción científico-tecnológica: el *diseño de políticas para la macrociencia*. Su principal acción consistió en organizar el Sistema de Ciencia y Tecnología (SCyT) y para ello tuvieron que acceder a las más altas instancias del poder político y militar, manteniendo también vínculos estrechos con grandes corporaciones industriales. Una empresa macrocientífica estaba obligada a integrarse en *lobbies* formados por científicos, tecnólogos, empresarios, militares y políticos. Como señaló el Presidente Eisenhower, los *lobbies* formados por científicos, ingenieros, militares y empresarios habían adquirido un gran poder político en los EEUU en los años 50. Las empresas macrocientíficas competían entre sí por la obtención de los grandes proyectos, razón por la cual sus vinculaciones con las esferas de poder era imprescindible. En resumen, la macrociencia supuso la plena vinculación de la ciencia con el poder (político, militar, económico): En particular, algunos científicos se convirtieron en asesores directos de la Casa Blanca, adquiriendo una considerable influencia.

g) La agencia macrocientífica

Frente a los grandes «hombres de ciencia» que hicieron la ciencia moderna, la macrociencia la hicieron grandes equipos coordinados que integraban sus respectivos conocimientos y destrezas en un proyecto común que tenía objetivos mixtos. En términos filosóficos cabe decir que *el sujeto de la macrociencia devino plural*, rompiéndose con el tradicional individualismo metodológico. Encabezando los equipos investigadores siempre había personas de gran prestigio científico, pero su papel fue el de directores de proyectos y agencias macrocientíficas, más que el de investigadores en el sentido clásico de la palabra. La macrociencia la hacen personas jurídicas, no personas físicas. Aquí radica otro de los grandes cambios en la estructura de la actividad científica.

Volveremos más tarde sobre esta última diferencia y añadiremos otras, pero los seis rasgos distintivos que acabamos de presentar pueden servir para una primera caracterización de la macrociencia. Conforme se fue consolidando el nuevo sistema científico-tecnológico, surgieron rasgos

específicos adicionales. Las inversiones públicas en I+D crecieron de manera continua hasta 1966, fecha en la que se produjo una crisis importante, coincidiendo con la llegada de la Administración Nixon. Con la Presidencia de Reagan el contrato social de la ciencia fue renovado y la financiación volvió a crecer, pero en base a criterios muy distintos a los de los años 50 y 60. En el último cuarto de siglo cabe hablar propiamente de tecnociencia, no sólo de macrociencia. El enorme incremento de la financiación privada será uno de sus rasgos distintivos²⁷, como veremos en el capítulo 2.

La caracterización anterior de la macrociencia puede ser criticada desde diversas perspectivas. Por ejemplo, cabe aducir que hay otros rasgos distintivos de la macrociencia, que no han sido mencionados. Asimismo pueden ser cuestionables algunas de las especificidades propuestas: hay casos en que la financiación privada de la investigación básica fue muy considerable, como veremos en el apartado 2.1. Este primer sistema de rasgos distintivos no supone más que una primera aproximación a nuestro objeto de investigación, que es la tecnociencia. La macrociencia no es más que una de sus modalidades, históricamente la primera.

Cabe también una segunda objeción, consistente en afirmar que todas esas peculiaridades que atribuimos a la macrociencia ya se habían manifestado anteriormente en la historia de la ciencia y la tecnología, aunque fuese a escala menor. También aceptaríamos esta crítica, puesto que, como veremos en el apartado 2.2, la atribución de dichos rasgos distintivos será cuestión de grados. Es posible buscar múltiples ejemplos históricos en los que ya se había producido la militarización de la ciencia, su conversión parcial en empresa, la simbiosis entre ciencia y tecnología, la aparición de nuevos modelos de dirección y gestión de la investigación, etc. Lo decisivo es que en la época de la Segunda Guerra Mundial y en los Estados Unidos de América se produjeron todas esas transformaciones a la vez, y a una escala hasta entonces desconocida, por causa del conflicto militar. Por ello hablamos de macrociencia: el alto grado de realización de los seis rasgos distintivos anteriores implica un cambio cuantitativo. Pero, además de todo ello, se produjo un cambio

27. En 1968, la industria norteamericana sólo invertía en I+D la mitad que el Gobierno Federal. A partir de 1980, pasó a invertir más, tendencia que ha proseguido en las dos últimas décadas del siglo XX, hasta llegar al 70% de inversión privada en la actualidad.

sistémico: surgió un nuevo sistema de ciencia y tecnología en los EEUU. Su progresiva consolidación durante la postguerra produjo un cambio de estructura en la actividad científico-tecnológica. Por tanto, siendo cierto que la emergencia de la tecnociencia dependió de un aumento de escala o grado, no es menos cierto que ese conjunto de transformaciones cuantitativas generó un cambio estructural, que se concretó en la emergencia de un nuevo sistema SCyT. La constitución del nuevo sistema científico-tecnológico fue una condición necesaria para que surgiera la tecnociencia en los años 80. A diferencia de la macrociencia, la distinción entre ciencia y tecnociencia no es una cuestión de tamaño o de escala, como veremos en el capítulo siguiente. La macrociencia surgió a la par que el sistema SCyT. El desarrollo ulterior de dicho sistema SCyT permitió la progresiva aparición de la tecnociencia.

La tercera objeción posible nos parece menos relevante. Cabe afirmar que durante toda esta época hubo grandes cambios en el conocimiento científico, no sólo en la práctica científico-tecnológica. Ello es muy cierto. Pero ya expusimos en el prólogo que nuestro propósito consiste en centrarnos en los cambios de estructura de la actividad científica, no del conocimiento científico. Abundan los filósofos e historiadores de la ciencia y la tecnología que se centran en este segundo aspecto. Por nuestra parte, hemos optado por un tema diferente y mucho menos estudiado. En el apartado siguiente intentaremos aclarar esta nueva perspectiva de análisis filosófico, oponiendo nuestras tesis a las de los defensores de la concepción teleológica de la racionalidad científica.

4. LOS OBJETIVOS DE LA MACROCIENCIA

Al reflexionar sobre la racionalidad científica, numerosos filósofos han pretendido definirla en función de los objetivos de la ciencia. Tal es el caso de Popper, Hempel, Lakatos, Goldman, Rescher, Newton-Smith, Levi, Laudan, Giere y otros muchos²⁸. Para Popper, por ejemplo, el objetivo último de la ciencia es la búsqueda de la verdad. Esta era entendida como un ideal regulativo, que nunca se alcanza, pero al cual es posible

²⁸. Sobre la concepción teleológica de la racionalidad científica, ver D. R. Resnik, «Do Scientific Aims Justify Methodological Rules?», *Erkenntnis* 38 (1993), pp. 223-232.

aproximarse paulatinamente siempre que se utilice una metodología falsacionista. Si una teoría ha soportado intentos de refutación numerosos y severos y ha sobrevivido a ese criticismo, tenemos razones para pensar que es más verosímil que otra que no ha sido puesta a prueba por el imperativo metodológico falsacionista. Para Lakatos, en cambio, la racionalidad de la ciencia se justifica por los hechos nuevos y sorprendentes que es capaz de explicar, así como por el incremento de su potencialidad heurística. Para Laudan, la clave de la racionalidad estriba en la capacidad para resolver problemas, motivo por el cual el objetivo de la ciencia consiste en proponer y resolver problemas. Otros muchos pensadores han defendido variantes distintas de esta concepción teleológica de la racionalidad, coincidiendo en que los objetivos de la ciencia justifican su racionalidad, aunque luego hayan diferido entre sí a la hora de precisar cuáles son esas metas u objetivos. Por su parte, la mayoría de los científicos han tenido a pensar que el conocimiento es un bien en sí y que la búsqueda de conocimiento (válido, contrastado, etc.) es la meta fundamental de la investigación científica.

Otro tanto cabe decir en el caso de la tecnología. Ha habido pensadores que han cifrado la racionalidad técnica en la búsqueda de la máxima eficiencia. Otros la han hecho depender del objetivo de ayudar a satisfacer necesidades humanas o de incrementar el nivel de bienestar y de adaptación al medio. Tanto en un caso como en otro, los filósofos de la ciencia y de la tecnología fundamentaban ambas modalidades de racionalidad en sus respectivas metas últimas, consideradas éstas como *internas* a la ciencia y a la tecnología. Fueren cuales fueren, la ciencia y la tecnología tenían sus propios fines, en base a los cuales se justificaba la racionalidad científica y tecnológica.

Con la llegada de la macrociencia, estas teorías de la racionalidad han de ser puestas en cuestión. Por utilizar la distinción weberiana, los fines de la ciencia y la tecnología dejan de ser valores últimos, para convertirse en valores instrumentales. Su consecución es deseable, pero por encima de ellos hay otros objetivos a alcanzar. El informe Bush deja esto muy claro, como veremos en el cuarto capítulo. Los objetivos de la macrociencia no son únicamente científicos, ni tampoco tecnológicos. Algunas de las metas de un macroproyecto científico pueden ser el avance en el conocimiento, o la invención de artefactos más eficientes, pero sobre estos objetivos priman otros, que son los que dan sentido a la financiación

y realización del proyecto: puede tratarse de mejorar la capacidad defensiva y ofensiva de un ejército, puede ser ganar una guerra, puede intentarse mejorar la productividad de un sector industrial, o simplemente incrementar el prestigio de un país, su nivel de seguridad o su posición en los mercados internacionales. En el proyecto Manhattan, por ejemplo, a los científicos les interesaba calcular la masa crítica en un proceso de fusión nuclear, cosa que lograron. Pero, por encima de ellos, los diseñadores del proyecto pretendían disponer de un arma de destrucción masiva que pudiera servir para ganar rápidamente la guerra o, ulteriormente, como arma de disuasión ante futuros ataques provenientes del exterior. Las industrias que colaboraron en el proyecto, entre tanto, generaron riqueza, beneficios económicos y, en su caso, puestos de trabajo.

Otro tanto cabe decir del proyecto ENIAC y de la mayoría de los programas macrocientíficos posteriores. Von Neumann quería diseñar y hacer operativa una computadora que pudiera resolver problemas no lineales, lo cual contribuiría enormemente a la resolución de relevantes problemas físicos y matemáticos. A Eckert, ingeniero jefe del proyecto, le apasionaba el desafío tecnológico planteado por la construcción de una máquina capaz de resolver múltiples problemas computacionales. Sin embargo, al Ejército del Aire que financiaba el proyecto le importaba ante todo que el ENIAC calculara con la máxima precisión y rapidez las trayectorias de proyectiles de larga distancia y que simulara con suficiente aproximación los procesos de dinámica de fluidos que se producen durante una explosión. Todos lograron satisfacer sus objetivos, en mayor o menor grado, pero, al igual que en el proyecto Manhattan, las finalidades militares prevalecieron sobre las científico-tecnológicas, tanto al diseñar el proyecto como a lo largo de su ejecución y, por supuesto, a la hora de aplicar las innovaciones resultantes: el ordenador y la bomba atómica. De manera similar, el programa de exploración espacial de la NASA se llevó adelante por razones de prestigio nacional en el contexto de la guerra fría, sin perjuicio de que su realización acarrearía también importantes descubrimientos científicos y avances tecnológicos indudables. Los objetivos propiamente científicos y tecnológicos estuvieron subordinados en todos esos casos a las metas de otra índole que habían definido los promotores y financiadores de dichos proyectos macrocientíficos.

Concluiremos que las acciones macrocientíficas tienen *objetivos plurales*, algunos de los cuales son científicos y tecnológicos, otros militares, empresariales o políticos. Con mucha frecuencia, éstos últimos son los de mayor peso efectivo, pese a ser «externos» a las comunidades científicas e ingenieriles. Ello implica una tensión continua en la actividad macrocientífica, que surge de su propia estructura, es decir, de la diversidad y heterogeneidad de sus objetivos, así como de la frecuente subordinación de los fines epistémicos y técnicos. A veces se logran puntos de equilibrio, de modo que todos salen relativamente satisfechos, a veces no. Lo que pocas veces ocurre es que los objetivos «propios» de la ciencia o de la tecnología sean los prioritarios, por mucho que haya acciones de política científica orientados exclusivamente a satisfacerlos²⁹. La actividad macrocientífica es sistémica y cada una de las acciones relevantes de política científica, incluidos los programas de promoción general del conocimiento, sólo adquieren sentido en función de la existencia de otras muchas acciones de política científico-tecnológica orientadas a satisfacer otros tipos de objetivos, algunas de ellas sin publicidad alguna y con mucha mayor financiación. Hay ocasiones en las que el fomento de la investigación básica es un puro adorno o complemento del sistema de política científico-tecnológica. Tal es el caso, por ejemplo, del fomento de la investigación el ámbito de las humanidades, salvo algunas excepciones, cuando la investigación adquiere valor estratégico.

La macrociencia no sólo la hacen los científicos y los ingenieros. Dichas comunidades forman parte de un complejo científico-tecnológico (sistema SCyT) previamente diseñado, en el que intervienen otros muchos agentes. Todo ello incide en la elección y provisión de los medios para llevar a cabo la investigación. Un investigador avezado ha de saber argumentar que, además de los logros propiamente científicos, de sus investigaciones podrán derivarse otros beneficios, que son los que de verdad interesan a los demás agentes involucrados en un sistema que promueve la investigación, el desarrollo y la innovación. La macrociencia se asienta en un complejo entramado de relaciones interprofesionales, no

²⁹. Esta afirmación vale incluso para el caso del CERN europeo, ejemplo de organización tecnocientífica dedicada en principio exclusivamente al avance del conocimiento y a la invención tecnológica. En el fondo, dicha iniciativa fue conjunta a los primeros proyectos de construir una Unión Europea, en principio comercial (y científica), luego económica y política.

en la autonomía de las comunidades científicas ni en el genio individual de algunas personas. Frente al modelo de la racionalidad instrumental, donde los fines de la actividad científica y tecnológica eran claros y distintos, las metas y objetivos de la actividad macrocientífica constituyen una estructura compleja, no exenta de tensiones internas y externas, porque dicha actividad está promovida por una pluralidad de agentes con intereses y objetivos muchas veces encontrados.

A nuestro modo de ver, dicha tensión se debe a la existencia de conflictos de valores en la actividad macrocientífica. El sujeto plural de la macrociencia guía sus acciones en base a una pluralidad de valores. En el proyecto Manhattan, por ejemplo, un físico podía intentar lograr objetivos propiamente epistémicos y un ingeniero objetivos tecnológicos. Pero los militares apoyaban el proyecto por su enorme importancia estratégica y los industriales que colaboraron por razones económicas. Los políticos, por su parte, tenían sus propios objetivos (minimizar las bajas propias mediante las bombas atómicas, mostrar el poder de los EEUU, ganar las elecciones, etc.). Para analizar adecuadamente la macrociencia es preciso partir de la hipótesis de que los macroproyectos científicos están guiados por una pluralidad de valores y objetivos, no por la búsqueda de la verdad o el incremento de la eficiencia. En algunas fases priman unos valores, en otras otros. Hay etapas en las que el científico o el ingeniero gozan de plena autonomía. En otras, en cambio, han de atenerse estrictamente a lo que se les exige. Un análisis axiológico de la macrociencia no puede ser monista, sino pluralista, precisamente porque la estructura de la actividad macrocientífica es plural, y ello en el seno mismo de la macrociencia, no fuera de ella.

5. EL CONCEPTO DE «TECNOCIENCIA»

La expresión «tecnociencia» es controvertida. Los científicos que se dedican a la investigación básica suelen mirarla con desconfianza, porque parece priorizar la tecnología y la investigación aplicada. Los filólogos la consideran un barbarismo, al mezclar dos raíces léxicas de procedencia griega y latina. Muchos filósofos de la ciencia prefieren seguir estableciendo líneas de demarcación claras entre la ciencia y la tecnología, temiendo que al hablar de tecnociencia la especificidad de la ciencia desaparezca,

siendo devorada por la tecnología. Otros, por el contrario, afirman que la tecnociencia es una realidad desde el siglo XIX, e incluso antes³⁰. Algunos historiadores de la ciencia, en cambio, tienden a aceptar dicha expresión³¹ y sociólogos de la ciencia como Bruno Latour la usan como denominación técnica. Por nuestra parte, consideramos que, una vez clarificada conceptualmente, dicha expresión es imprescindible para intentar comprender e interpretar algunos de los profundos cambios sucedidos en la actividad científico-tecnológica a lo largo del siglo pasado³².

El término «tecnociencia» fue propuesto en 1983 por Bruno Latour, con el fin de «evitar la interminable expresión *ciencia y tecnología*»³³. Latour planteó la pregunta «¿quién hace ciencia realmente?» e intentó mostrar que la ciencia no sólo la hacen los científicos, criticando para ello la distinción interno/externo, muy usada al reflexionar sobre la ciencia. Conforme a esa distinción,

30. Véase, por ejemplo, el libro de Eugenio Moya *Crítica de la razón tecnocientífica* (Madrid, Biblioteca Nueva, 1998) donde se dice que «entendemos por razón tecnocientífica aquel tipo de razón que legó a Occidente la Modernidad y cuyos dos fines principales fueron la búsqueda de la verdad y la eficacia» (p. 25). Otro tanto cabría decir, aunque con mayores matices, de Evandro Agazzi, al menos en su escrito «La techno-science et l'identité de l'homme contemporain» (Friburgo, Ed. Universitaires Fribourg Suisse, 1997).

31. Ya vimos la postura de Sánchez Ron sobre la Gran Ciencia. Dicho autor considera que «la Gran Ciencia ha caracterizado y caracteriza a una parte importante de la ciencia del siglo XX» (*o.c.*, p. 28) y que es «un procedimiento de investigación característico de nuestro siglo» (*Ibid.*, p. 36), distinguible de la ciencia tradicional por su «mayor tamaño, mayor potencia y mayor coste económico» (*Ibid.*, p. 39), aunque también utiliza a veces la expresión 'tecnociencia', al pensar que hay «dominios de la ciencia contemporánea en los que la distinción, al menos durante ciertos estadios y momentos de su desarrollo, entre ciencia y tecnología se desvanece considerablemente» ... «esta dimensión tecnocientífica de una parte importante de la ciencia contemporánea se muestra con especial fuerza en el Proyecto Manhattan» (*Ibid.*, p. 43).

32. Ya publiqué una primera tentativa de caracterización de la tecnociencia en 1999 (*Introducción a la metodología de la ciencia*, Madrid, Cátedra, pp. 317-320), en el presente libro procuro precisar y mejorar aquellas propuestas.

33. En el libro *Science in Action*, Buckingham, Open University Press, 1983, trad. española en Barcelona, Labor, 1992, p. 29. No pretendemos afirmar, sin embargo, que Latour haya sido el primero en utilizar dicha expresión, que seguramente ha sido usada por muchas personas sin conocer la propuesta de Latour, y en un sentido distinto al del pensador francés. Incidentalmente, el autor del presente libro ya usó el término «tecnociencia» en 1982, en algún artículo de prensa. Una investigación histórica mostraría con seguridad que otros autores también lo han usado antes e independientemente de Latour.

— dentro de la ciencia son activos los científicos, es decir los investigadores, fuera de ella los políticos, hombres de negocios, profesores, abogados, etc.

— la ciencia se hace ante todo en los laboratorios experimentales y se perfecciona en los congresos y revistas científicas, donde la comunidad científica discute y se pone de acuerdo sobre las propuestas que, provenientes de los laboratorios, considera aceptables y válidas, aunque sólo sea a título de conjeturas.

— una vez elaborado, ese conocimiento se difunde a la sociedad y se aplica para resolver cuestiones prácticas. En este momento la ciencia genera tecnología, la cual se identifica con la ciencia aplicada. En este momento es cuando la ciencia entra en contacto con la sociedad. Hasta entonces, la actividad científica ha sido interna.

Según Latour, este modelo de *difusión de la ciencia*³⁴ es inadecuado y la pretendida frontera entre el interior y el exterior de la ciencia es ficticia: «todos nuestros ejemplos han esbozado una mezcla constante, hacia uno y otro lado, entre el mundo exterior y el laboratorio»³⁵. Latour tiene razón al criticar dicho modelo, y en particular al negar la identificación entre tecnología y ciencia aplicada. Algunos filósofos de la tecnología también han insistido en que esa identificación es errónea³⁶, puesto que abundan los ejemplos históricos en los que la tecnología tiene sus propios *paradigmas y trayectorias tecnológicas*, por usar las denominaciones propuestas por Nelson, Winter y Dosi³⁷. Por nuestra parte, consideramos que la ciencia y la tecnología han sido autónomas entre sí hasta la emergencia y consolidación de la tecnociencia, sin perjuicio de que hayan establecido vínculos muy estrechos a lo largo de la revolución industrial³⁸.

34. B. Latour, *o.c.*, p. 162.

35. B. Latour, *o.c.*, p. 154. La identificación entre tecnología y ciencia aplicada puede encontrarse en la obra de F. Rapp *Filosofía analítica de la ciencia* (Buenos Aires, Ed. Alfa, 1981), así como en algunos escritos de Mario Bunge.

36. Véanse los libros de Durbin y Mitcham o, entre los autores españoles, los de Sanmartín y Quintanilla, escritos todos ellos en la década de los 80. En la última década del siglo XX la distinción entre tecnología y ciencia aplicada es habitual en filosofía de la tecnología y en los estudios CTS.

37. R. Nelson y S. Winter, «In search of a useful theory of innovation», *Research Policy*, 6 (1977), pp. 36-76; G. Dosi, «Technological paradigms and technological trajectories», *Research Policy*, 11 (1982), pp. 147-162.

38. Para un análisis de las relaciones entre ciencia y tecnología en la primera revolución industrial, en particular en Gran Bretaña, ver A. Elena y J. Ordóñez (eds.), *Después*

El inconveniente de las tesis de Latour consiste en que, empeñado en negar la identificación entre tecnología y ciencia aplicada, así como la distinción interno/externo, acaba confundiendo la ciencia, la tecnología y la tecnociencia. Leyendo su *Ciencia en Acción*, parecería que toda la ciencia se ha convertido en tecnociencia, tesis ésta a la que nos oponemos estrictamente. Ni el despliegue de la Gran Ciencia impidió que durante el siglo XX se siguiera haciendo Pequeña Ciencia ni la irrupción de la tecnociencia ha devorado a la ciencia y la tecnología. La técnica artesanal, la ciencia y la tecnología siguen existiendo. De lo que se trata es de analizar la nueva modalidad de actividad científico-tecnológica, no de pensar que todo es tecnociencia. Tal es, a nuestro entender, el principal inconveniente de las tesis de Latour sobre la tecnociencia: arrasan con los matices y diferencias entre las técnicas, las ciencias, las tecnologías y las tecnociencias.

Por otra parte, el problema no radica en la oposición interno/externo. Dicha distinción puede ser metodológicamente útil en algunos momentos, aunque, desde nuestra perspectiva, es preferible hablar de *sistemas tecnocientíficos abiertos* que interactúan con la sociedad en ámbitos muy diversos: laboratorios, despachos de I+D, direcciones de política científico-tecnológica, aulas, publicaciones especializadas, revistas de divulgación, prensa científica, redes telemáticas, etc. En general, conviene hablar de *redes científico-tecnológicas* más o menos consolidadas e imbricadas en las sociedades, pero nunca aisladas en torres de marfil. No hay que olvidar que dichas redes son transnacionales, por lo que la tecnociencia tampoco está inmersa como subsistema en una sociedad determinada, sino que incide en varias sociedades a la vez, y de manera diferente en cada una de ellas, en función de sus peculiaridades culturales y sociales. Como ya hemos indicado en otro lugar³⁹, otra de las principales insuficiencias de Latour y los sociólogos del conocimiento científico estriba en que utilizan una noción muy ambigua de «sociedad». De poco sirve decir que lo social esté presente en los laboratorios (lo cual es obvio) o que la ciencia, la tecnología y la sociedad están estrechamente vinculadas si no se aclaran mínimamente las nociones de «ciencia», «tecnología» y «sociedad». Los sociólogos del conocimiento científico han hablado mucho de

de Newton: ciencia y sociedad durante la Primera Revolución Industrial, Barcelona, Anthropos, 1998.

39. J. Echeverría, *Filosofía de la Ciencia*, Madrid, Akal, 1995, p. 29.

ciencia, y más recientemente algo de tecnología, pero muy poco de sociedad. Leyendo sus escritos, parecería que la noción de sociedad que utilizan es clara e intuitiva, lo cual está muy lejos de ocurrir.

Otro autor que utiliza sistemáticamente el término «tecnociencia» es Gilbert Hottois⁴⁰. Para introducir la noción de tecnociencia, Hottois se apoya en diversos autores, los cuales, utilizaran o no dicho término, habían señalado en los años 70 y 80 esta convergencia progresiva entre la ciencia y la tecnología. Valgan las siguientes citas para resumir esta tendencia generalizada:

H. STORK: «Esta distinción (entre ciencia y técnica), aparentemente clara, está puesta en tela de juicio por el creciente entrelazamiento de las ciencias naturales y de la técnica, que se manifiesta tanto como una tecnificación de la ciencia como una cientifización de la técnica»⁴¹.

W. BARRET: «La nueva ciencia es, por su esencia, tecnológica»⁴².

J.J. SALOMON: «De igual modo que la ciencia crea nuevos seres técnicos, la técnica crea nuevas líneas de objetos científicos. La frontera es tan tenue que no se puede distinguir entre la actitud del espíritu del científico y la del ingeniero, ya que existen casos intermedios»⁴³.

F. GROS: «La interdependencia entre los progresos en la biología básica y farmacología es total: la farmacología depende de todas las adquisiciones en biología, los medicamentos son y serán, cada vez más, un elemento fundamental para la investigación básica»⁴⁴.

J. LADRIÈRE: «Por sus profundas raíces, la actividad tecnológica contemporánea está ligada a la práctica científica. Por otra parte, esta unión

40. Ver G. Hottois, *El paradigma bioético. Una ética para la tecnociencia*, Barcelona, Anthropos, 1991.

41. H. Stork, *Einführung in die Philosophie der Technik*, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1977, p. 41, citado por Hottois, *o.c.*, p. 20.

42. W. Barret, *The Illusion of Technique*, New York, Anchor, 1978, p. 202, citado por Hottois, p. 21.

43. J. J. Solomon, *Science et politique*, p. 136, citado por Hottois, p. 21.

44. F. Gros, F. Jacob y P. Royer, *Sciences de la vie et société*, Paris, Seuil, 1979, p. 147, citado por Hottois, p. 23.

es tanto más patente cuanto más se la asocia a formas avanzadas de tecnología» ... «Parece, pues, que hay un carácter específico en la tecnología contemporánea: su interacción estrecha con la ciencia. Esto plantea, de inmediato, dos cuestiones. Por un lado, nos lleva a preguntarnos, considerando la intensidad de esta interacción, si existe aún verdaderamente una distinción entre ciencia y tecnología y, por otra parte, explicar cómo es posible esta interacción. Aparentemente, la frontera entre ciencia y tecnología se difumina cada vez más»⁴⁵.

Podrían mencionarse otros muchos autores que han subrayado esta convergencia entre ciencia y tecnología, llegando a cuestionar la existencia de fronteras entre ambas. Cuanto más especulativos y ontológicos son dichos filósofos, más tienden a identificar ciencia y tecnología, prescindiendo de las diferencias. El talante reduccionista es muy habitual y en este caso se manifiesta tomando la parte por el todo. La creciente vinculación entre las actividades científicas y tecnológicas es muy cierta. Mas no hay que olvidar que sigue habiendo ámbitos científicos y tecnológicos en donde este proceso no se produce. No todo es tecnociencia. Hay diferencias importantes entre la ciencia, la técnica y la tecnología. El mayor riesgo conceptual consiste en hacer omnicompreensivo el término «tecnociencia», defecto en el que muchos autores incurrirán. Algunos sitúan la tecnociencia en la época de Newton⁴⁶, incurriendo en un claro anacronismo, es decir, proyectando sobre el pasado los modelos actuales de la tecnociencia.

A lo largo de este libro pretendemos clarificar y precisar el concepto de tecnociencia, distinguiéndola de la técnica, la ciencia y la tecnología.

45. J. Ladrière, *Les enjeux de la rationalité*, Paris, Aubier-Unesco, 1977, pp. 55-56.

46. Tal es el caso de Steven Weinberg, por ejemplo, aunque en su caso es un defecto disculpable, por tratarse de un físico en activo (Premio Nobel de Física en 1979), no un historiador ni un filósofo. Ver su libro *Facing Up: Science and its Cultural Adversaries*, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press, 2001, p. 21. Porque el Laboratorio de Greenwich fuera una institución de gran tamaño dedicada a la investigación científica o porque Newton y sus seguidores atribuyeran gran importancia a los instrumentos científicos y colaboraran con las instituciones militares no se debe inferir que la tecnociencia surgió con la Royal Society. No basta con un rasgo distintivo de la tecnociencia (el tamaño, la mutua mediación entre ciencia y tecnología) para afirmar la aparición de la tecnociencia. Lo importante es precisar el sistema de rasgos distintivos de la tecnociencia, no una diferencia específica, como ha sido tradicional en filosofía. Este error metodológico es el que suele impulsar a muchos pensadores a afirmar que «hoy en día, todo es tecnociencia». No es así.

Lo haremos paso a paso, puesto que dicha noción abarca aspectos muy diversos, y si se quiere heterogéneos.

6. PRECISIONES METODOLÓGICAS

Conviene que, antes de proseguir, dejemos claro el marco conceptual en el que se plantean las propuestas y precisiones que vamos a hacer.

En primer lugar, no pretendemos definir la noción de tecnociencia. Nos limitaremos a señalar una serie de rasgos distintivos entre ciencia, tecnología y tecnociencia⁴⁷.

En segundo lugar, esas distinciones serán graduales, no demarcacionistas. No se trata de definir fronteras entre la ciencia y la tecnociencia, puesto que la segunda es un tipo particular de ciencia. Aun así, las notas distintivas que iremos proponiendo nos permitirán discernir con suficiente claridad la una y la otra, en la mayoría de los casos por el grado mayor o menor con que ambas satisfacen dichas notas.

En tercer lugar, no recurriremos al procedimiento de la diferencia específica, sino al de los rasgos o notas distintivas⁴⁸. No nos interesa la diferencia entre ciencia y tecnociencia, sino el sistema abierto de rasgos distintivos entre ambas. Las diferencias son varias, no hay una que sea determinante de las demás. Para calificar de tecnocientífica una actividad será preciso que se satisfagan en mayor o menor grado muchos de esos rasgos distintivos, no uno solo. Una vez elucidado el concepto de tecnociencia mediante esta metodología, estaremos ante un concepto más claro y preciso, sin perjuicio de que la elucidación que vamos a proponer sea mejorable. En otros términos: de ninguna manera pretendemos investigar la «esencia» de la tecnociencia, por una sencilla razón. No hay tal cosa⁴⁹.

47. Ver apartado 2.1.

48. Ver apartado 2.2.

49. En filosofía de la tecnología hay toda una tradición esencialista, iniciada por Heidegger, que suele conducir a la confusión conceptual, mayormente. Nuestra pretensión es opuesta al esencialismo tecnológico, que prolifera por doquier. Por ello a lo largo de esta obra nos basaremos ante todo en autores opuestos a esa tradición, que ha sido muy pernicioso en filosofía. Ver Echeverría, 2002, prólogo y capítulo 1, para una exposición más amplia de nuestras críticas a la «filosofía sustancial», como rimbombantemente suelen denominarla sus promotores.

En cuarto lugar, nuestra perspectiva no es reduccionista. Aunque la tecnociencia haya surgido a lo largo del siglo XX, los seres humanos siguen y seguirán desarrollando actividades técnicas, tecnológicas y científicas. Por tanto, a lo largo de este libro afirmaremos que, además de la técnica, la ciencia y la tecnología (más el arte, que también ha de ser tenido en cuenta en este debate), durante el siglo XX ha emergido una nueva modalidad de actividad humana y social, la tecnociencia, que se ha ido consolidando sociológica e institucionalmente en las décadas finales del siglo anterior y únicamente en algunos países. Previsiblemente, la tecnociencia tendrá un gran desarrollo durante el siglo XXI. Sin embargo, de ninguna manera pensamos que ello supone la desaparición de la ciencia o de la técnica. Sigue habiendo arte, ciencia, técnica y tecnología. Además, hay tecnociencia. Se trata de analizar esta nueva actividad, cuya importancia social es creciente, sin por ello prescindir de las demás.

En quinto lugar, la emergencia de la tecnociencia puede ser considerada como un nuevo tipo de revolución, que no es una revolución científica en el sentido de Kuhn ni una revolución tecnológica en el sentido de Solla Price. Una vez clarificado el concepto de tecnociencia, nos ocuparemos de la noción de *revolución tecnocientífica*.

En sexto lugar, hablaremos sobre todo de *acción* y de *actividad*, más que de conocimiento científico y artefactos tecnológicos. Este es el cambio principal que proponemos a la hora de estudiar la revolución tecnocientífica. La filosofía de la ciencia del siglo XX se centró, con muy escasas excepciones (Hacking, Rouse⁵⁰), en el análisis, reconstrucción y, en su caso, justificación y fundamentación del conocimiento científico. La sociología del conocimiento científico (*Strong Program*, EPOR, constructivismo social, etc.) se ocupó casi exclusivamente de la construcción social del conocimiento científico, aunque en la última década del siglo XX se ha producido un *giro praxiológico* (Pickering⁵¹) y un cierto interés por la sociología de la tecnología, todavía muy embrionario. Algunos historiadores de la ciencia (Franklin, Buchwald, Galison, etc.⁵²) también han

50. I. Hacking, *Representar e intervenir*, México, Paidós, 1996; J. Rouse, *Engaging Science: How to Understand Its Practices Philosophically*, Ithaca, Cornell, 1996.

51. A. Pickering (ed.), *Science as Practice and Culture*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1992 y A. Pickering, *The Mangle of Practice*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1995.

52. A. Franklin, *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1986; J. Z. Buchwald (ed.), *Scientific Practice*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1995; P. Gal-

comenzado a interesarse en los últimos años en la práctica científica, sobre todo en la experimentación. Como ya hemos afirmado en otros lugares, la filosofía de la tecnociencia ha de incluir ante todo una filosofía de la actividad científica y tecnológica⁵³, cuyo referente principal serán las *acciones tecnocientíficas*, más que los hechos científicos. Para conocer los hechos científicos es preciso llevar a cabo previamente diversas acciones típicamente científicas: observar, medir, calcular, experimentar, conjeturar, valorar, demostrar, etc. En el caso de la tecnociencia, todas esas acciones están mediadas por la tecnología, hasta el punto de que no pueden ser llevadas a cabo ni se pueden obtener resultados (observaciones, mediciones, datos, experimentos, etc.) sin disponer de un instrumental y sin tener diversas habilidades técnicas. *No hay hechos tecnocientíficos sin acciones tecnocientíficas* y por esto hay que empezar por una filosofía de la acción tecnocientífica. La tecnociencia se distingue de la ciencia por esa mediación tecnológica que resulta inherente a las acciones tecnocientíficas. No basta con una epistemología y una metodología. La filosofía de la ciencia y los estudios sobre la ciencia y la tecnología requieren una *praxiología*, es decir, una teoría de la praxis tecnocientífica. Las revoluciones tecnocientíficas surgen por un cambio en la estructura de la actividad científica y tecnológica, del que suele derivarse un cambio en la estructura del conocimiento, pero también otras muchas transformaciones: políticas, económicas, organizativas, sociales, etc. Esta será una de las tesis básicas de este libro: la tecnociencia ha surgido por un cambio profundo en la estructura de la práctica científica, no por una revolución epistemológica o metodológica.

En séptimo lugar, insistiremos en que, dentro de esa praxiología, hay que desarrollar una *axiología de la tecnociencia*. El quinto capítulo pretende sentar sus bases, prosiguiendo la labor realizada sobre la *axiología de la ciencia*⁵⁴. Si concebimos la ciencia y la tecnología como actividades, entonces es más fácil compararlas entre sí y precisar las diferencias entre la ciencia, la tecnología y la tecnología. Esa distinción puede establecerse desde muchas perspectivas, pero aquí nos centraremos en una:

son, *How Experiments End*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1987. Véase también el monográfico de la revista *THEORIA*, vol. 17:44, 2002, coordinado por Javier Ordóñez y José Ferreirós, para una exposición panorámica de dicha corriente.

53. Ver J. Echeverría, 1995 y 2002.

54. J. Echeverría, 2002.

los valores. Partimos de la hipótesis de que las acciones humanas están guiadas por valores y por sistemas de valores. Además, nuestra aproximación a la *axiología de la tecnociencia* será sistémica. Pues bien, hay diferencias significativas entre los sistemas de valores que guían las acciones técnicas, científicas, tecnológicas y tecnocientíficas. Por ello, para distinguir entre la ciencia y la tecnociencia investigaremos los valores subyacentes a estos dos tipos de actividad. Otros autores establecerán diferencias epistemológicas, sociológicas o de otro tipo. Por nuestra parte, intentamos caracterizar los valores de la ciencia para distinguir la ciencia de la tecnociencia mediante criterios axiológicos.

Una última consideración metodológica, que será desarrollada más ampliamente en el apartado 2.3. La filosofía de la ciencia se ocupa de múltiples ciencias y por ello suele distinguirse entre la filosofía de las matemáticas, la física, la biología, las ciencias sociales, la medicina, etc. Al hablar de tecnociencia habrá que explorar la existencia de diferentes modalidades de ella: *tecnomatemáticas*, *tecnofísica*, *tecnocómica*, *tecnobiología*, *tecnomedicina*, etc. La noción de tecnociencia se concretará cuando hablemos de sus diversas modalidades y analicemos los diversos ejemplos. Entonces será cuando se perciban con mayor claridad los enormes cambios que trae consigo la emergencia de la tecnociencia. Las acciones científicas más clásicas (demostrar, observar, medir, experimentar, etc.) se han modificado radicalmente por efecto de la tecnociencia, y ello ha ocurrido en casi todas las disciplinas científicas a lo largo del siglo XX, si no en todas. Por ello hablamos de tecnociencias, más que de tecnociencia.

7. CARACTERIZACIÓN DE LA TÉCNICA Y LA TECNOLOGÍA

En su obra *Tecnología: un enfoque filosófico*⁵⁵, Quintanilla intentó definir entidades tan complejas como la técnica y la tecnología. Su propuesta merece una consideración detallada, aunque nos parezca mejorable en algunos puntos. Si nos dedicamos a los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) desde una perspectiva filosófica, conviene elucidar los conceptos que vayamos a utilizar, en la medida de lo posible. El uso co-

55. M. A. Quintanilla, *Tecnología. Un enfoque filosófico*, Madrid, Fundesco, 1989.

mún de las palabras puede hacernos creer que sabemos qué son la ciencia, la tecnología o la sociedad porque hablamos de ellas y conseguimos comunicarnos y hacernos entender. Pero el análisis conceptual permite descubrir matices y dificultades en las nociones analizadas, que suelen quedar ocultas en el uso corriente de esos vocablos. Un análisis minucioso de los múltiples malentendidos que se derivan de los actos de habla mostraría que la precisión es un valor en filosofía, que debe ser satisfecho adecuadamente.

En este apartado comentaremos las definiciones propuestas por Quintanilla para las nociones de «técnica» y «tecnología». Quintanilla recuerda que: «en la literatura especializada se tiende a reservar el término 'técnica' para las técnicas artesanales precientíficas, y el de tecnología para las técnicas industriales vinculadas al conocimiento científico»⁵⁶. Por eso distingue las técnicas artesanales o preindustriales y las técnicas industriales relacionadas con la ciencia, reservando para éstas últimas el término «tecnología». Aceptaremos esa distinción, aunque ya hemos indicado anteriormente que muchos avances tecnológicos de la época industrial surgieron con independencia de la ciencia, interrelacionándose con ella posteriormente. Decir que las tecnologías están vinculadas a la ciencia no implica concebirlas como ciencias aplicadas. Hecha esta precisión, a título de ejemplo diremos, que la escritura y la imprenta son técnicas, la prensa, el telégrafo y las fotocopiadoras son tecnologías, y los ordenadores, la escritura electrónica y el hipertexto son tecnociencias.

A continuación, Quintanilla introduce una segunda distinción entre técnica propiamente dicha y realización o aplicación concreta de una técnica: «las técnicas son entidades culturales de carácter abstracto, que pueden tener distintas realizaciones o aplicaciones y se pueden formular o representar de diferentes formas [...] y las podríamos definir como el conjunto de todas las realizaciones técnicas concretas posibles con esa máquina»⁵⁷. Retomando la distinción de Amartya Sen entre capacidades (*capabilities*) y realizaciones (o funcionamientos, *functionnings*), diríamos que la técnica y la tecnología *inducen* nuevas capacidades de acción, y en particular de repetición y reiteración de dichas acciones⁵⁸. Cada caso

⁵⁶. Quintanilla, *o.c.*, p. 33.

⁵⁷. *Ibid.*, p. 34.

⁵⁸. Ver A. Sen, *Bienestar, justicia y mercado*, Barcelona, Paidós, 1997, pp. 77-78. En el capítulo 5 volveremos sobre las concepciones de Sen.

concreto es una realización técnica (o tecnológica). La noción de técnica depende así de cómo definamos lo que es una realización técnica:

Definición 1: «Una realización técnica es un sistema de acciones humanas intencionalmente orientado a la transformación de objetos concretos para conseguir de forma eficiente un resultado valioso»⁵⁹.

Se trata de una definición muy elaborada, que, en el caso de la tecnología, puede ser parafraseada de la manera siguiente:

Definición 2: «Una realización (o aplicación) tecnológica es un sistema de acciones humanas, industriales y vinculadas a la ciencia, intencionalmente orientadas a la transformación de objetos concretos para conseguir eficientemente resultados valiosos».

Distingamos cada una de las notas que se incluyen en esta definición asignándoles letras, con el fin de podernos referir ulteriormente a ellas:

- 2a) sistema
- 2b) de acciones
- 2c) humanas,
- 2d) industriales
- 2e) vinculadas a la ciencia,
- 2f) intencionalmente orientadas
- 2g) a la transformación
- 2h) de objetos
- 2i) concretos
- 2j) para conseguir
- 2k) eficientemente
- 2l) resultados
- 2m) valiosos.

Comentaremos muy brevemente las notas 2a y 2b, pese a ser las más determinantes de la concepción de Quintanilla. En virtud de 2a, su teoría de la tecnología se inserta dentro de la teoría de sistemas, como el

⁵⁹. Quintanilla, *o.c.*, p. 34.

propio autor lo mostró ampliamente en el libro mencionado⁶⁰. Esta decisión tiene múltiples consecuencias, porque implica aceptar que, más que con artefactos aislados, nos las tenemos que ver con sistemas técnicos, a los que denominaremos *tecnosistemas*. Dichos sistemas tienen una estructura interna, la de sus propios subsistemas, cuya composición o ensamblaje deviene indispensable para la realización ulterior de las acciones técnicas⁶¹. El adecuado acoplamiento entre los diversos subsistemas es cometido de los técnicos, cuya acción resulta indispensable para el buen funcionamiento de un tecnosistema. Por otra parte, un sistema siempre interactúa con un medio o entorno exterior. Las condiciones iniciales y de contorno influyen en el funcionamiento de los sistemas tecnológicos. Las tecnologías están influidas por las sociedades que las generan y las impulsan, por ejemplo la sociedad industrial. En condiciones determinadas los sistemas pueden tener propiedades emergentes (o sobrevenidas), así como alcanzar (o no) equilibrios homeostáticos. La opción por la teoría de sistemas como marco general para la filosofía de la tecnología tiene muchas consecuencias, algunas de las cuales acabamos de mencionar. En el apartado siguiente veremos que esta concepción sistémica resulta útil a la hora de buscar rasgos distintivos para la tecnociencia.

En virtud de 2b, la filosofía de la tecnología no ha de centrarse en los artefactos o en las máquinas, sino en las acciones que se pueden llevar a cabo gracias a ellas. Esta opción filosófica también tiene consecuencias muy importantes, porque vincula la filosofía de la tecnología con la teoría de la acción: con ello Quintanilla se aleja de toda forma de instrumentalismo y determinismo tecnológico, al subrayar que los agentes de las acciones técnicas son las personas, no las máquinas. A nuestro modo de ver, aquí radica una de las grandes aportaciones de esta definición, aunque no vayamos a profundizar en ese punto. En el caso de la tecnociencia utilizaremos la teoría de la acción que ya hemos expuesto en otro sitio⁶². Como ha señalado Aracil, en toda acción tecnológica se «presu-

pone que el agente dispone de una *representación* adecuada tanto del objeto sobre el que actúa, como de los objetivos que se pretenden con la acción»⁶³. Precisamente por ello el *diseño* previo de las acciones es habitual en tecnología, a diferencia de las acciones humanas en general. La existencia de esos diseños, prototipos, representaciones o simulaciones tiene una gran importancia filosófica, como muchos autores han subrayado⁶⁴, porque las acciones tecnológicas surgen a partir de representaciones más o menos aproximadas de lo que se quiere lograr. Esta fase de *pre-acción* (y también de pro-acción, puesto que dichos diseños previos son pro-activos) requiere un tipo de instrumentos muy característicos: bosquejos, esquemas, planos, maquetas, modelos a escala, simulaciones, etc. No todos ellos son posibles ni realizables, por lo que en tecnología hay que hablar de *espacios de acciones posibles*. También hay que ocuparse de la *composición* de dichos esquemas, que normalmente se hace por subsistemas, para proceder luego a su ensamblaje o integración ulterior. Un ingeniero, un inventor y un diseñador conciben previamente lo que quieren hacer y lo representan (mentalmente, por escrito, materialmente, etc.) antes de llevarlo a cabo. Pues bien, insistiremos en que la emergencia de la tecnociencia ha sido posibilitada por la aparición de un nuevo instrumento de representación, o mejor, por un nuevo formalismo: la informática. Por ello diremos que la tecnociencia está vinculada a la *sociedad informacional*⁶⁵, más que a la sociedad industrial (que también, en tanto es tecnología). En todo caso, la nota 2b tiene numerosas consecuencias filosóficas, como brevemente acabamos de indicar.

La nota 2c «excluye del ámbito de las técnicas las acciones llevadas a cabo, de forma sistemática, pero instintiva, por algunas especies animales, como es el caso de la construcción de nidos, madrigueras o colmenas»⁶⁶.

hace, las intenciones u objetivos, el lugar o escenario, las condiciones iniciales y de contorno, las reglas para actuar, los resultados, las consecuencias y los riesgos de la acción, sin perjuicio de que se admitían posibles componentes adicionales. Tal será el caso de las acciones tecnológicas y tecnocientíficas.

63. J. Aracil, «Notas sobre el significado de los modelos informáticos de simulación», en F. Broncano (ed.), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta, 1995, p. 54.

64. Algunos han señalado que incluso los modelos y simulaciones científicas conllevan valores. Ver W. A. Wallace (ed.), *Ethics in Modelling*, Oxford, Pergamo, 1994.

65. Utilizamos este concepto en el sentido de Manuel Castells. Véase su obra *La Era de la Información*, Madrid, Alianza, 1996-98, 3 vols.

66. Quintanilla, 1989, *o.c.*, p. 35.

60. *Ibid.*, pp. 49-69.

61. Fernando Broncano ha subrayado la importancia que tiene la composicionalidad en filosofía de la tecnología. Según el, «la composicionalidad de las técnicas y los artefactos» es la propiedad que permite caracterizar lo artificial (ver F. Broncano, *Mundos artificiales*, México, Paidós, 2000, p. 103 y siguientes).

62. Echeverría, 2002, *o.c.*, capítulo 2. Allí se distinguían diversas componentes de una acción A: el agente, la acción, el objeto al que se hace A, los instrumentos con los que se

Esta afirmación puede ser discutible en el caso de las técnicas, pero no así en el de las tecnologías: al ser éstas industriales y al estar basadas en conocimiento científico, es claro que sólo los seres humanos pueden llevar a cabo acciones tecnológicas, o a lo sumo algunas máquinas construidas por los propios seres humanos. Sin embargo, la utilización por parte de Quintanilla del término «humano» tiene una consecuencia no deseada, como señaló López Cerezo⁶⁷: se oculta qué grupos o qué personas son los agentes de dichas acciones tecnológicas, al atribuirles en general a los seres humanos. Asimismo se prescinde de las acciones tecnológicas realizadas por autómatas, aunque dichos autómatas hayan sido diseñados por seres humanos para llevarlas a cabo. Esta es una de las razones por las que en nuestra caracterización de las acciones tecnológicas siempre incluimos a los *agentes* (actores, hacedores, etc.) como la primera componente de dichas acciones. Siendo cierto que las acciones tecnológicas son acciones humanas, es preciso concretar más los agentes que las promueven o las llevan a cabo. En particular, los objetivos de una misma acción pueden ser distintos según los agentes, al igual que las valoraciones de dicha acción. En axiología de la tecnociencia nos encontraremos continuamente con conflictos de valores, y también con objetivos contrapuestos. Por ello es preciso matizar la nota *2c* de la definición de Quintanilla.

Por lo que se refiere a las notas *2d* y *2e*, las aceptaremos inicialmente, aunque en el capítulo siguiente introduciremos una importante matización en relación a *2e*. Tampoco analizaremos la nota *2f*, porque ello implicaría abordar el complejo tema de la intencionalidad, lo cual cae fuera del marco de este trabajo. La nota *2g* tiene gran importancia filosófica: las tecnologías no tratan de describir, explicar o predecir el mundo, a diferencia de las ciencias, sino que tienden a transformarlo, trátase de los microcosmos, mesocosmos o macrocosmos. Esta es una de las razones por las que la filosofía de la tecnología difiere de la epistemología y de la filosofía de la ciencia, y por ello aceptamos plenamente la nota *2g*. En cambio, con respecto a la nota *2h* cabe hacer matizaciones, como ya hemos expuesto en otro lugar⁶⁸, al igual que a la nota *2i*: las técnicas no

sólo transforman objetos concretos (materiales), sino también objetos abstractos, por ejemplo objetos matemáticos. Los algoritmos, los métodos de resolución de ecuaciones y las técnicas de visualización científica son buenos ejemplos de acciones técnicas que transforman objetos no materiales, o si se prefiere intangibles. También hay técnicas que modifican los hábitos de acción y la conducta. Sáez Vacas ha denominado nootecnologías⁶⁹ a las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), porque transforman la información y el conocimiento, no únicamente objetos materiales. Resulta preciso ampliar la nota *2h* si queremos aplicar esa definición a las TIC, que son uno de los ejemplos canónicos de tecnociencia contemporánea. Por otra parte, estos ejemplos sirven para mostrar que las tecnologías no sólo transforman objetos, sino también relaciones, acciones, hábitos, etc. Por tanto, diremos que las acciones técnicas y tecnológicas, siendo sistémicas, transforman a su vez sistemas, sean éstos naturales, sociales, económicos o conceptuales, o sean a su vez pequeños o grandes. En particular, un sistema tecnológico puede transformar profundamente a otro, cosa que ocurrirá por doquier en el caso de la tecnociencia.

La nota *2j* alude a los objetivos de las acciones tecnológicas, que deben ser distinguidos de las intenciones de sus agentes. Los artefactos suelen ser diseñados para cumplir tales o cuales objetivos o funciones, aunque luego quienes los usan pueden hacerlo con intenciones muy distintas. Esta es una de las razones por las que conviene distinguir entre las intenciones de los agentes y los objetivos de las acciones tecnológicas. En cuanto a la nota *2k*, puede ser eliminada, porque no todas las acciones tecnológicas tratan de maximizar la eficiencia, contrariamente a lo que piensa Quintanilla, para quien el papel de dicho valor en tecnología es comparable al del valor «verdad» en el caso de la ciencia. Como se verá en el capítulo 5, la eficiencia es un valor tecnológico importante, pero no el único, y en ocasiones ni siquiera el principal. Por ello preferimos eliminar la nota *2k* de la definición de tecnología, por ser redundante con la nota *2m*. Si las acciones tecnológicas son eficientes serán altamente valoradas en relación a dicho valor. Mas también hay acciones tecnológicas altamente ineficientes, que no por ello dejan de ser tecnológicas: por ejemplo los errores. En cambio, aceptamos plenamente la importancia de la noción de «resulta-

67. En un Simposio sobre Mundos Artificiales celebrado en la Universidad de Salamanca en 1999.

68. Ver J. Echeverría, «Teletecnologías y sistemas de valores», en *Teorema*, XVII/3 (1998), pp. 11-26.

69. F. Sáez Vacas, *Meditación de la Infotecnología*, Madrid, Ed. Iberoamericana, 2000.

dos», puesto que si por algo es apreciada la tecnología es por sus resultados. Sin embargo, no hay que limitarse a considerar los resultados inmediatos de las acciones tecnológicas, sino también sus consecuencias y riesgos derivados. Por ello, desglosaremos el concepto «resultados», incluyendo las consecuencias y los riesgos que resultan de dichas acciones.

Pese a todo lo anterior, nuestro principal objetivo consiste en analizar la última nota de la definición, *2m* (valiosos), por ser central para la axiología de la tecnociencia, sin perjuicio del interés de los restantes puntos para nuestra indagación. Desde nuestra perspectiva, no sólo importa que los resultados sean valiosos. También se evalúan los agentes, las acciones, los objetos sobre los que se realizan y, aunque no sólo ellas, también las intenciones. Sobre todo, hay que evaluar las consecuencias y riesgos que podrían derivarse del logro de resultados tecnocientíficos. El dilema moral que la bomba atómica supuso para muchos físicos nucleares ilustra perfectamente ese requisito de no limitarse a valorar los resultados previstos, sino también las consecuencias imprevistas. Parafraseando a Popper, hay que ser falsacionista en filosofía de la tecnología. Una vez que hayamos valorado los resultados favorables, hay que pasar a considerar las posibles consecuencias desfavorables, incluyendo los riesgos que se derivan de los posibles errores en las acciones tecnológicas. La axiología no sólo incluye valores, también disvalores o contravalores. En resumen, la nota *2m* adquirirá mayor extensión y relevancia que en la propuesta de Quintanilla.

Llevado por su interés en oponer su propuesta a la concepción artefactual de la tecnología, Quintanilla no incluyó en su definición los *instrumentos* que permiten llevar a cabo las acciones técnicas y tecnológicas. Coincidimos plenamente en su crítica a la identificación de la tecnología con las máquinas, pero ello no obsta para reconocer que también éstas tienen un papel en las acciones tecnológicas. Por tanto, añadiremos una nueva nota que refleje esa componente instrumental que siempre tienen las acciones, tanto técnicas como tecnológicas. Como veremos más adelante, ello implicará ampliar la noción de instrumento. Una notación matemática y un programa informático también son instrumentos técnicos, de modo que nuestra noción de instrumento será más amplia que la de máquina. Por ejemplo, incluimos las tecnologías de transformación social (por ejemplo la publicidad) en nuestra noción de tecnología. Las encuestas, los análisis estadísticos, etc., son también técnicas, y en muchos

casos tecnologías. En el caso de la informática, que tendrá un papel importante a la hora de caracterizar la noción de tecnociencia, es preciso tener en cuenta que las info-acciones se llevan a cabo mediante instrumentos específicos, por ejemplo a la hora de hacer simulaciones del comportamiento de los sistemas. Otro tanto cabe decir de las acciones de experimentación, tan relevantes en la macrociencia. Olvidar la importancia de los instrumentos de observación, medición, experimentación y simulación en la práctica científica actual sería una clara insuficiencia conceptual. Para la axiología de la tecnociencia ello es imprescindible, porque en muchas ocasiones las decisiones se toman en función de los instrumentos necesarios para llevar a cabo las acciones tecnocientíficas, por ejemplo la valoración de su costo económico.

Por otra parte, las acciones tecnológicas suelen estar reguladas, en particular el uso de los instrumentos. Pensamos en las instrucciones de uso de cualquier aparato⁷⁰, pero también en las normas legales que con frecuencia se promulgan al respecto, por ejemplo el código de circulación a la hora de conducir un automóvil. Como consecuencia de ello añadiremos una nota más, que se refiere a las *reglas* que rigen las acciones tecnológicas, algunas de las cuales son normas o leyes, pero no todas. Algunas de esas reglas son interiorizadas por los usuarios tras el proceso de aprendizaje, por lo que pasan a formar parte de su *conocimiento tácito*. Sin embargo, ello no implica que dejen de existir como regulaciones del hacer técnico. El dominio de las reglas de uso es una componente importante en teoría de la acción técnica. Como ya hemos señalado, las acciones tecnológicas pueden ser ineficientes, por ejemplo cuando se comete un error por no haber seguido las reglas de uso de un aparato o los protocolos de actuación. Cuando los sistemas son complejos, como ocurre en el caso de la tecnociencia, es preciso explicitar previamente las reglas de acción, por ejemplo para prevenir riesgos. Por ello nos parece necesario añadir este rasgo distintivo a la hora de caracterizar la noción de tecnología, y mucho más la de tecnociencia.

70. Por ejemplo, las instrucciones para realizar un ensayo experimental sobre inmunología en el Instituto Saltz de Estudios Biológicos tenían seis páginas de texto (ver B. Latour, *La vida en el laboratorio*, Madrid, Alianza, 1995, p.79). Si los científicos experimentales no se atienen estrictamente a esos modos de proceder, sus acciones quedan automáticamente invalidadas. El cumplimiento de estas reglas de acción es controlado continuamente en los laboratorios.

Tras este comentario a la definición propuesta por Quintanilla, podemos aceptar provisionalmente la:

Definición 3: «Una realización (o aplicación) tecnológica es un sistema de acciones regladas, industriales y vinculadas a la ciencia, llevadas a cabo por agentes, con ayuda de instrumentos, e intencionalmente orientadas a la transformación de otros sistemas con el fin de conseguir resultados valiosos evitando consecuencias y riesgos desfavorables»⁷¹.

Una vez formulada esta definición, es preciso hacer algunas matizaciones. En primer lugar, la diferencia entre técnica y tecnología será frecuentemente una distinción de grados. Las dos notas distintivas que hemos aceptado (conocimiento científico e industria) no funcionan como criterios de demarcación o separación. En el fondo, las fronteras entre la técnica, la tecnología y la tecnología no son rígidas ni infranqueables, sino graduales y permeables. Ello no obsta, sin embargo, para que podamos discernir las tres. Otro tanto cabe decir de la distinción entre la ciencia y la tecnociencia, como veremos en el siguiente capítulo.

Por lo mismo, no estamos ante una auténtica definición, y mucho menos ante una definición por género y diferencia específica, sino ante una *caracterización* de la técnica y de la tecnología. Tampoco descartamos que puedan añadirse más rasgos distintivos de la tecnología. Broncano, por ejemplo, ha insistido en la importancia del diseño tecnológico: «los diseños son el lenguaje que permite crear y producir los objetos técnicos» ... «son la forma misma en la que se producen los objetos técnicos»⁷². Nosotros mismos hemos sugerido anteriormente algunos rasgos adicionales, derivados de las pre-acciones tecnológicas y de las representaciones que permiten imaginarlas, proyectarlas y diseñarlas, antes de llevarlas a cabo. Desde una perspectiva axiológica, importa subrayar que esos diseños previos siempre son valorados, en primer lugar por el propio diseñador, a continuación por los artesanos o técnicos que han de convertir el diseño en artefacto. Por tanto, los procesos de evaluación son anteriores a las acciones técnicas, o si se quiere, concomitantes a ellas. También

⁷¹. Aceptamos el término «objeto» en una acepción fregeana, puesto que de esta manera se incluyen objetos abstractos (matemáticos, formales, etc.). Si se presupone la materialidad de los objetos, entonces preferimos la palabra más general de «entidades».

⁷². F. Broncano, 2000, p. 133.

es preciso señalar que los diseños técnicos suelen adoptar la forma de diagramas, esquemas, etc. A diferencia del conocimiento científico, que normalmente se expresa mediante enunciados, leyes o fórmulas matemáticas, el diseño de los artefactos técnicos se hace por medio de imágenes y símbolos específicos. Las representaciones tecnológicas no son lingüísticas, sino ideográficas. De ahí la importancia de la informática para la emergencia de la tecnociencia: los ordenadores no sólo representan los enunciados, las leyes y las fórmulas, sino también las imágenes, esquemas y diagramas. La síntesis del conocimiento científico y tecnológico se produce ante todo mediante los lenguajes informáticos, que no sólo usan *bits*, sino también *pixels*. Por ello afirmamos que la informática es el formalismo de la tecnociencia.

La caracterización de las acciones tecnológicas que acabamos de hacer es abierta: cabe añadir nuevos rasgos distintivos a los considerados en la definición 3. En cualquier caso, para nuestra indagación es importante disponer de ella. Veremos que la tecnociencia se caracteriza porque las acciones científicas devienen acciones tecnológicas, al quedar englobadas en un sistema de ciencia y tecnología que constituye una de las principales tecnologías sociales de nuestro tiempo.

Caracterización de la tecnociencia

I. RASGOS DISTINTIVOS ENTRE CIENCIA Y TECNOCENCIA

A lo largo de la historia se han propuesto numerosas definiciones de ciencia¹. Otro tanto cabe decir en el caso de la tecnología, aunque la definición de Quintanilla que hemos comentado en el capítulo anterior es una de las más elaboradas. Por eso la tomamos como punto de partida. Se trata ahora de precisar los rasgos que distinguen a la tecnociencia de la ciencia y de la tecnología, partiendo de las consideraciones ya realizadas en el apartado 1.3, relativo a la macrociencia. Hay diferencias de tamaño y escala, pero también propondremos distinciones cualitativas. En su conjunto, las notas distintivas que vamos a enunciar configuran un nuevo marco para la actividad científico-tecnológica, muy diferente al de la ciencia moderna o al de la tecnología industrial. En ello radica la singularidad de la tecnociencia, hacia cuyo discernimiento se encamina esta segunda aproximación conceptual. Lo importante es tener criterios para distinguir la tecnociencia, la ciencia y la tecnología, sin que ello implique una demarcación entre ellas, puesto que sus respectivas fronteras son difusas en algunos aspectos. Como la tecnociencia tiene una fuerte componente tecnológica, lo dicho en el capítulo anterior sobre la tecnología es aplicable a la tecnociencia. Se trata ahora de añadir otras notas distintivas.

La tecnociencia puede ser considerada como una fase evolutiva posterior a la emergencia de la *Big Science*, tras la crisis de la década 1966-76. Como ya dijimos en el prólogo, el crecimiento continuado de la macrociencia en los EEUU experimentó un parón a partir de 1965, fecha que

1. Por ejemplo: «conocimiento por causas de lo universal y de las cosas necesarias» (Aristóteles), «conocimiento verdadero y justificado», «conocimiento que busca las leyes generales que conectan entre sí un cierto número de hechos particulares» (Russell), «conocimiento general y sistemático, esto es, aquel en el cual se deducen todas las proposiciones específicas de unos pocos principios generales» (Cohen y Nagel), «modo de conocimiento que aspira a formular mediante lenguajes rigurosos y apropiados leyes por medio de las cuales se rigen los fenómenos» (Ferrater Mora), etc.

marca la primera crisis de la macrociencia, y en particular de la macrociencia militarizada. Para entonces, esa nueva modalidad de investigación científica se había consolidado en los EEUU, la URSS, y comenzaba a instaurarse en algunos países europeos (CERN, *European Spacial Agency*, etc.). La promoción de la macrociencia en Europa y en la URSS también fue una iniciativa gubernamental, en mayor medida incluso que en los EEUU. Hubo diferencias importantes entre el sistema de ciencia y tecnología de los EEUU y, por ejemplo, el de la URSS, pero las seis características de la macrociencia que señalamos en el apartado 1.3 son válidas para Europa y la URSS, con la importante diferencia de que, en este último caso, las industrias eran exclusivamente estatales y estaban controladas por un partido político. A falta de estudios rigurosos sobre la estructura del sistema de ciencia y tecnología en la URSS, mantendremos la hipótesis de que en el bloque soviético hubo macrociencia, pero no se dio el paso a la tecnociencia, precisamente por carecer de un sistema empresarial y de una economía de mercado que permitiera abrir nuevas fuentes de financiación para la investigación tecnocientífica, aparte de las estatales.

Por tanto, los seis rasgos distintivos siguen teniendo validez, aunque con matices y diferencias importantes, que conviene subrayar. Pero también hay características nuevas. En el apartado 2.2 pondremos el acento en éstas últimas. En la exploración realizada en el apartado 1.3 habíamos encontrado notas diferenciales de muy distinto tipo: económicas, sociológicas, políticas, etc. Los indicadores que muchos autores utilizan para definir la macrociencia tienen indudable interés: tamaño, ritmo de crecimiento, porcentaje económico de las inversiones en macroproyectos, etc. Sin embargo, nuestro análisis parte de una perspectiva filosófica y se centra en la axiología. Conforme vayamos exponiendo esos rasgos distintivos haremos un breve análisis axiológico de los mismos, con el fin de mostrar los profundos cambios de valores que ha experimentado la ciencia en el siglo XX. En el capítulo 5 nos ocuparemos exclusivamente de la axiología de la tecnociencia.

a) La financiación privada de la investigación

La macrociencia surgió en los Estados Unidos de América en la época de la segunda Guerra Mundial y el principal factor que suscitó su emergen-

cia fue una nueva política del Gobierno Federal, más intervencionista en asuntos científicos. La iniciativa gubernamental, en particular la militar, fue el motor que impulsó los grandes proyectos de los años 40 y 50, sin perjuicio de que en los años 30 algunas instituciones hubieran sido pioneras de la macrociencia norteamericana. Desde el punto de vista de la financiación, esa política se mantuvo estable hasta la mitad de los años 60, llegando a su apogeo con la administración Kennedy². A partir de ese momento, y coincidiendo con el fracaso en la guerra del Vietnam, se produjo un profundo movimiento de desconfianza hacia la ciencia por parte de la sociedad norteamericana, que tuvo reflejo directo en los presupuestos públicos que se le dedicaban y en numerosos movimientos estudiantiles y sociales contra las aplicaciones militares de la investigación científica³. La financiación militar de la investigación básica, por ejemplo, cayó radicalmente en el período 1965-1975⁴. Otro tanto ocurrió con la financiación privada, que cayó un 36% entre 1966 y 1972.

Las comunidades científicas vivieron esta caída como una auténtica crisis e incluso hablaron de un movimiento irracionalista y anticientífico⁵. Muchas Universidades cerraron sus centros de investigación vinculados a Defensa, o los reconvirtieron. La situación comenzó a cambiar con la Presidencia Ford, pero sobre todo con la Administración Reagan. En los años 80 se estableció un nuevo contrato social con la ciencia, que puede ser considerado como la base para la emergencia de la tecnociencia. Desde el punto de vista presupuestario, se produjo un rápido crecimiento de la financiación privada en I+D, gracias a una liberalización de la ley de patentes y a una nueva política fiscal, que permitía desgravar el 25% de las inversiones privadas en I+D. La prioridad política pasó a ser el desarrollo tecnológico y la presencia de la iniciativa privada como mo-

2. Para un análisis de los cambios en las estrategias y porcentajes de financiación de las políticas científicas norteamericanas, ver D. Dickson, *The New Politics of Science*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1988. En este apartado nos apoyamos en los datos proporcionados por Dickson.

3. En el plano intelectual, autores como Chomsky, Feyerabend y los Rose representan bien ese cambio de perspectiva, al igual que grupos como Science for the People.

4. Sólo en 1971 se redujo un 25%. De 1965 a 1975 se había reducido a la mitad.

5. Por ejemplo Simon Ramo, quien presidió uno de los dos Comités de la National Science Foundation a finales de los 70, y que estaba fuertemente apoyado por Rockefeller, el Vicepresidente de los EEUU en la época de Ford. Rockefeller fue quien inició el giro protecnológico, luego culminado por la administración Reagan.

tor del mismo. El Gobierno no dejó de financiar la investigación básica, pero el objetivo principal de su política científica consistió en lograr que fueran las empresas las que fueran incrementando dicha financiación. Esa política acarreó un cambio radical del marco en el que se desarrollaba la investigación científica. A partir de los años 80 la financiación privada de I+D superó a la pública, y desde entonces ha seguido creciendo, hasta llegar al 70% del total de la inversión en I+D en los EEUU. Un proceso similar se produjo en Europa, aunque mucho más tardíamente.

Por tanto, diremos que la tecnociencia propiamente dicha emerge en los años 80 en EEUU, sin perjuicio de que haya precedentes anteriores de ella. Desde el punto de vista de la financiación, se caracteriza por la primacía del sector privado sobre el público. Dicho cambio trajo consigo otros muchas transformaciones concomitantes, que conviene analizar por separado. En términos generales, supuso una importante reestructuración del sistema norteamericano de ciencia y tecnología.

Por ejemplo, la Bolsa comenzó a interesarse por invertir en ciencia y tecnología. En 1983, empresas como Merrill Lynch y la Banca Morgan aconsejaron a sus clientes que invirtieran en empresas de I+D. Frente a la financiación de la macrociencia, mayoritariamente estatal y militar, la tecnociencia encontró nuevas vías de financiación, aparte de las grandes corporaciones y las agencias gubernamentales. Proliferaron pequeñas empresas de I+D, sobre todo en el ámbito de las nuevas tecnologías (TIC, biotecnologías). Muchas de ellas recurrieron a entidades financieras de capital-riesgo y a la Bolsa para poner en marcha sus programas de investigación, que no estaban orientados únicamente a la investigación básica y el desarrollo tecnológico, sino ante todo a la innovación. A partir de los años 80, el tamaño de las empresas de I+D, que habían pasado a ser de I+D+i, dejó de ser lo fundamental. Lo importante era su capacidad de innovación y penetración en el mercado de las nuevas tecnologías. Pocos años después, todo ello confluyó en la aparición de un nuevo índice bursátil, el NASDAQ, donde las empresas tecnocientíficas encontraron una nueva fuente de financiación y de capitalización bursátil. La mayoría de esas pequeñas empresas de I+D+i perecieron o fueron absorbidas por las grandes corporaciones, pero algunas de ellas sobrevivieron y pasaron a ser grandes empresas en el sector económico tecnocientífico. Siguió habiendo macroproyectos científicos financiados por el Gobierno, por lo que la macrociencia no dejó de existir. Pero, aparte de ella, surgió una

nueva modalidad de ciencia, cuyas investigaciones tenían como objetivo prioritario la innovación tecnológica. El tamaño de los proyectos, de los equipos y de los instrumentos no es relevante en el caso de las empresas tecnocientíficas. Es una de las razones por las que distinguimos entre macrociencia y tecnociencia. Algunas pequeñas empresas (Apple, Microsoft, Intel, etc.) mostraron mucha mayor capacidad innovadora que las grandes corporaciones industriales de la postguerra. Sus tasas de crecimiento fueron altísimas, aunque muchas de ellas se mostraron efímeras. La tecnociencia se convirtió en un sector donde se podían hacer negocios buenos y rápidos si se lograban innovaciones tecnológicas. Por ello la Bolsa y los inversores privados se sintieron atraídos por el nuevo sector, dejando los macroproyectos para las Agencias estatales. En conjunto, esta nueva política científico-financiera consiguió que los porcentajes de financiación pública y privada de la investigación se invirtieran. La primacía de la inversión privada se ha convertido desde entonces en una componente estructural del sistema SCyT norteamericano, que otros muchos países tratan de imitar. La macrociencia y la tecnociencia se distinguen claramente por su estructura financiera.

Desde una perspectiva axiológica, cabe decir que con la llegada de la tecnociencia los valores más característicos del capitalismo entraron en el núcleo mismo de la actividad científico-tecnológica. El enriquecimiento rápido, por ejemplo, que tradicionalmente había sido ajeno a las comunidades científicas, pasó a formar parte de los objetivos de las empresas tecnocientíficas. La capitalización en Bolsa y la confianza de los inversores se convirtieron en valores dominantes para muchas empresas tecnocientíficas. Aunque los valores clásicos de la ciencia mantuvieron su presencia a la hora de investigar, las empresas de I+D+i no tenían como objetivo la generación de conocimiento, sino la innovación tecnológica y su capitalización en el mercado. El peso relativo de los valores técnicos, económicos y empresariales aumentó considerablemente, mientras menguaban los valores políticos de la época de la segunda guerra mundial. Por otra parte, muchas empresas tecnocientíficas se convirtieron en multinacionales, desbordando el mercado norteamericano, por lo que comenzaron a ser más sensibles a los valores culturales, ecológicos y sociales, cuya adecuada satisfacción era necesaria para lograr mayores cotas de penetración en los mercados internacionales. Asimismo adquirieron gran peso los valores jurídicos, en la medida en que había que asegurar

la propiedad del conocimiento, la gestión de patentes y las licencias de uso de los artefactos tecnológicos.

b) *Mediación mutua entre ciencia y tecnología*

Las relaciones entre ciencia y tecnología proceden de la sociedad industrial y se vieron considerablemente reforzadas con la emergencia de la macrociencia. En el caso de la tecnociencia, la interdependencia entre ciencia y tecnología es prácticamente total. Si los tecnocientíficos pretenden producir nuevo conocimiento y emprenden acciones científicas para ello (demostrar, calcular, observar, medir, experimentar, etc.), dichas acciones son literalmente inviables sin apoyo tecnológico. Recíprocamente, las destrezas técnicas y las innovaciones tecnológicas han de estar estrictamente basadas en conocimiento científico, no sólo vinculadas a él, porque así se incrementa la eficiencia económica de las acciones tecnológicas. El propio diseño de los experimentos y de los proyectos de investigación científica es tecnológico, puesto que hay que enunciar previamente unos objetivos, precisar una metodología y un plan de trabajo y prever los resultados que piensan obtenerse, valorando su posible importancia y utilidad, así como las expectativas de generar innovación. Recíprocamente, las diversas acciones tecnológicas han de tener una base científica. La ciencia es requisito de la tecnología y la tecnología de la ciencia. Esta hibridación forma parte constitutiva de la tecnociencia, a diferencia de la ciencia y la tecnología industriales, donde era adventicia. Con la tecnociencia se produce una mixtura o fusión, porque ambas actividades se benefician la una a la otra. El mayor o menor grado de integración entre la actividad científica y la tecnológica es uno de los indicadores de la existencia de tecnociencia, aunque, a efectos prácticos, basta con dilucidar si cada una de ellas es indispensable para la otra. La simbiosis entre ciencia y tecnología ya se había producido en la época de la macrociencia, pero a partir de los años 80 volvió a reforzarse, posiblemente con mayor protagonismo para los tecnólogos.

Este rasgo distintivo puede ser analizado desde múltiples perspectivas (institucionales, sociológicas, económicas...), pero aquí nos ocuparemos ante todo de su interpretación axiológica. Por ser tecnología, la tecnociencia no sólo busca conocimiento verdadero (o verosímil, o contrastable, o

falsable), sino también conocimiento útil⁶. Pero, por ser ciencia, tampoco basta con que las acciones tecnocientíficas sean útiles o eficaces, sino que además se requiere que estén científicamente justificadas. De ahí que la tecnociencia, pese a tener una orientación práctica muy acusada, siempre se interesa por la teoría, incluida la teoría de los artefactos que aplica⁷. La verdad, la verosimilitud, la generalidad, la adecuación empírica, la precisión y la coherencia siguen siendo valores relevantes para la tecnociencia, pero los valores epistémicos no son los únicos. La tecnociencia incorpora a su núcleo axiológico buena parte de los valores técnicos (utilidad, eficiencia, eficacia, funcionalidad, aplicabilidad, etc.) y aunque sigue manteniendo los valores epistémicos, el segundo subsistema de valores tiene un peso tan considerable como el primero. La tecnociencia y la ciencia se distinguen entre sí por el mayor o menor peso relativo de esos dos subsistemas de valores, sin perjuicio de que ambas incorporen valores epistémicos y técnicos a su núcleo axiológico. Esta primera distinción es cuestión de grado, pero también de sistemas de valores preponderantes. En la ciencia predominan los epistémicos, en la tecnociencia los técnicos.

c) *Empresas tecnocientíficas*

La vinculación entre ciencia, tecnología y empresa se intensificó radicalmente con la emergencia de la tecnociencia, hasta el punto que la pro-

6. La búsqueda de conocimiento útil formó parte de los objetivos fundacionales de la mayoría de las sociedades científicas que surgieron en EEUU a finales del siglo XVIII. La American Philosophical Society de Filadelfia (1770) así lo hizo constar en sus estatutos, al igual que la American Academy of Arts and Sciences, fundada en 1780 en Boston. En el primer volumen de las *Transactions* de la Sociedad de Filadelfia podía leerse: «El conocimiento tiene poco uso si se limita a la mera especulación. Pero cuando las verdades especulativas se traducen a la práctica, cuando las teorías basadas en experimentos se aplican a las cuestiones comunes de la vida y cuando, gracias a ello, se mejora la agricultura, se amplía el comercio y las artes de la vida cotidiana la convierten en más fácil y confortable, así como cuando se promueve la mejora y la felicidad de las personas, entonces es cuando el conocimiento deviene realmente útil» (*Transactions of the American Philosophical Society*, vol. I, 1771, p. XVII, citado por John C. Greene, *American Science in the Age of Jefferson*, Iowa, Iowa State Univ. Press, 1984, p. 6).

7. Es importante subrayar que la tecnociencia ha generado múltiples teorías nuevas, buena parte de las cuales han intentado dar cuenta de las propias innovaciones tecnocientíficas.

ducción de conocimiento científico y tecnológico se convierte en un *nuevo sector económico*, popularmente denominado de nuevas tecnologías. No sólo cabe hablar de *industrias tecnocientíficas*, como ocurría en el caso de la macrociencia, sino de un nuevo mercado en el que compiten diversos tipos de empresas (públicas y privadas, industriales e informacionales, grandes o pequeñas). Paralelamente, los laboratorios y equipos de investigación pugnan entre sí por la obtención de proyectos públicos y contratos con empresas, buscando nichos en el mercado financiero de la tecnociencia. La obtención, gestión y rentabilización de las patentes que resulten de la investigación en I+D+i se convierte en una componente básica de la actividad tecnocientífica, tan importante como la investigación misma. Además, surgen nuevas modalidades de explotación y rentabilización de la propiedad del conocimiento: licencias de uso, franquicias, suscripciones de acceso y conexión, etc. Buena parte del patrimonio de dichas empresas consiste en el conocimiento que tienen en propiedad, o que son capaces de producir, gestionar y comercializar. Se comienza a hablar de *capital intelectual*, con lo que se sobreentiende que las inversiones en ese tipo de capital han de ser rentabilizadas. Por otra parte, ya no basta con producir conocimiento, sino que es preciso venderlo, tanto a la hora de proponer proyectos de investigación que resulten prometedores como en el momento de presentar los resultados. La gestión y el *marketing* del conocimiento forma parte de las actividades de una empresa tecnocientífica. Trátese de empresas públicas, privadas o mixtas, se introducen modelos empresariales de organización del trabajo y de gestión de la tecnociencia, a diferencia de las comunidades académicas clásicas, las cuales quedan ancladas en un modo de producción del conocimiento que resulta anticuado. Como puede comprobarse, el cambio es radical.

Consecuencia adicional: *los resultados tecnocientíficos se convierten en mercancía* y, en lugar de comunicarse libre y públicamente en las revistas especializadas, devienen *propiedad privada* desde las primeras fases de la investigación. La mayor ponderación de los valores económicos en el núcleo axiológico de la actividad científica genera un cambio sistémico en los valores de la tecnociencia. En la fase de emergencia de la macrociencia, esto produjo numerosos conflictos, puesto que «en lugar de explorar nuevos fenómenos, los físicos se encontraban a sí mismos gastando cada vez más tiempo en investigar las vías para lograr ideas patentables,

por razones económicas, más que científicas»⁸. En cambio, a partir de los años 80 esos valores están interiorizados por los propios científicos e ingenieros, algunos de los cuales se convierten en accionistas de las empresas donde trabajan. A las empresas de I+D+i puede interesarles que haya descubrimientos científicos y que éstos sean publicables en su momento, porque ello redundaría en favor del prestigio de la empresa; pero mucho más les interesa que del desarrollo de los proyectos de investigación surjan patentes y contratos de *leasing*, de modo que el conocimiento resulte económicamente rentable. La llegada de la inversión privada a la tecnociencia trajo consigo el imperativo de rentabilizar el conocimiento. En la mayoría de los casos, la «patentabilidad» prima sobre la «publicabilidad», invirtiéndose uno de los valores clásicos de la ciencia moderna. El logro potencial de patentes es un criterio de evaluación en el diseño mismo de los proyectos tecnocientíficos, así como su capacidad de innovación, es decir de transferencia de los resultados a las empresas que actúan en el mercado. La tecnociencia no sólo evalúa los impactos epistémicos (publicaciones, citas, etc.), sino ante todo la incidencia económica de las innovaciones resultantes, así como la capacidad de obtener financiación para el desarrollo de los proyectos. La cultura tecnocientífica tiene una fuerte componente empresarial, cosa que no ocurría con la ciencia moderna, salvo excepciones.

Comprobamos de nuevo que se produce un profundo cambio de valores entre la tecnociencia y la ciencia. Las comunidades tecnológicas habían interiorizado en mayor grado los principios y valores empresariales durante la época industrial. En la etapa de la macrociencia, los científicos colaboraban en los grandes proyectos militares por razones epistémicas (resolver problemas científicos), pero también por motivos políticos (patriotismo, defensa de la democracia, etc.). Ahora, en cambio, los propios científicos han hecho suyos los valores empresariales, sin perder por ello sus valores epistémicos específicos. También en este caso hay considerables diferencias de grado, puesto que algunas empresas tecnocientíficas tienden a convertirse en grandes *holdings*, que cotizan en Bolsa o se integran en grupos financieros. El *marketing* de la tecnociencia se convierte en práctica habitual, cuyo diseño corresponde a expertos en mercadotecnia, aunque también surgen científicos e ingenieros que destacan

8. P. Galison, *o.c.*, p. 4.

por sus capacidades para «vender» o difundir el producto, más que por sus habilidades en el laboratorio o con los aparatos. Este proceso se presenta ante todo en el sector privado, pero también en la ciencia con financiación pública. Los vínculos cada vez más estrechos entre las universidades y las empresas son un buen indicador del mismo.

En resumen, los valores económicos y empresariales impregnan la actividad tecnocientífica y se integran en el núcleo axiológico de la investigación, la enseñanza y la aplicación de la tecnociencia, adquiriendo un peso relativo considerable. Es importante subrayar este hecho, porque de ello se infiere que la axiología de la tecnociencia *siempre* ha de tener en cuenta, como mínimo, tres sistemas de valores: epistémicos, técnicos y económicos. La terminología actual para hablar de ellos es: investigación, desarrollo e innovación, aludiéndose en este último caso a las componentes empresariales de la actividad tecnocientífica. *La tecnociencia siempre está guiada por valores económicos*, cosa que sólo ocurría ocasionalmente en el caso de la ciencia. Los valores económicos son una de las tres componentes axiológicas que guían las acciones tecnocientíficas y sus evaluaciones *ex ante* y *ex post*. Por tanto, el pluralismo axiológico es «connatural» a la tecnociencia. Algunas ciencias clásicas pudieron estar guiadas por valores exclusivamente epistémicos, o predominantemente epistémicos. Ello no ocurre en el caso de la tecnociencia y por ello tenemos un nuevo criterio axiológico para distinguirlas: la existencia de un subsistema de valores económicos junto a los subsistemas de valores epistémicos y técnicos antes señalados.

d) Redes de investigación

Si atendemos al principal escenario de la ciencia moderna, el laboratorio, la tecnociencia aporta cambios significativos. Vimos que, en el caso de la macrociencia, los laboratorios se convertían en factorías de producción de conocimiento. Con el salto ulterior a la tecnociencia, adoptan la forma de laboratorios-red, interconectados gracias a las tecnologías de la información. Frente al laboratorio aislado de la ciencia moderna, surgen los laboratorios coordinados, que colaboran en un mismo proyecto y se dividen las tareas a llevar a cabo. Otro tanto ocurre con los proyectos de investigación, en los que suelen colaborar dife-

rentes equipos investigadores, empresas y países. En conjunto, el atomismo institucional que caracterizó a la ciencia moderna se ha visto reemplazado por una tecnociencia en red, con todas las consecuencias que ello tiene para la organización de la actividad científica y para la práctica investigadora.

La red *Arpanet*, que conectó diversas universidades y agencias norteamericanas en los años 80, puede ser considerada como un primer paradigma de la investigación en red, al igual que la *World Wide Web*, ideada por Berners-Lee para facilitar la comunicación entre los investigadores del CERN europeo. Al laboratorio formado por el recinto físico donde coincidían presencialmente los investigadores, los aparatos y los objetos investigados se le superpuso un laboratorio-red. Los nuevos programas de investigación espacial y militar de los EEUU, completamente mediatizados por las redes telemáticas, constituyen otros dos grandes ejemplos de esta profunda transformación topológica del principal escenario donde se elaboró la ciencia moderna, el laboratorio. El acceso remoto a grandes ordenadores y equipamientos, el intercambio de datos, borradores e hipótesis a través de las redes telemáticas y la investigación en red fueron convirtiéndose a partir de los años 80 en una práctica científica habitual, sin perjuicio de que las observaciones y experimentos tradicionales siguieran desarrollándose. Los objetos investigados eran representaciones informáticas, los datos empíricos devinieron tecnodatos y los equipos de investigación y contrastación estaban dispersos geográficamente, pero conectados por vía tecnológica⁹.

La denominación de *tecnociencia* se justifica bien en base a esta transformación de los laboratorios en laboratorios-red. En efecto, las acciones científicas más elementales (obtención y consulta de datos, realización de cálculos, contrastación de hipótesis, intercambio de ideas y resultados provisionales, etc.) comenzaron a estar mediatizadas por las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC). Los científicos dejaron de tener presentes los datos en sus mesas de despacho o en los visores de sus instrumentos. Para acceder a los datos empíricos y para obtener nuevos datos es indispensable el uso de las TIC. La tecnociencia se caracteriza por la necesidad de recurrir a las TIC para poder desa-

⁹. Para una exposición más amplia de esta transformación operada por las TIC, ver J. Echeverría, *Los Señores del Aire, Telépolis y el Tercer Entorno*, Barcelona, Destino, 1999.

rollar las acciones científicas más rutinarias. El laboratorio deviene un tele-laboratorio.

Otro tanto cabe decir de las publicaciones científicas, que han ido adoptando un formato electrónico. La comunicación pública de los resultados de las investigaciones comenzó a producirse en un escenario tecnológico: a distancia y en red. La contrastación y verificación de los datos, observaciones, mediciones, experimentos e hipótesis, que antes se realizaba mediante congresos, visitas personales y prepublicaciones, se lleva ahora a cabo en Internet. Las relaciones informales entre los científicos, tan importantes a la hora de consolidar las corrientes dominantes en las comunidades científicas, se desarrollan por la vía del correo electrónico. Un historiador de la tecnociencia del siglo XX tiene que recurrir a fuentes documentales muy diferentes a los tradicionales protocolos de laboratorio para hacer el seguimiento de los procesos que conducen a un descubrimiento o innovación tecnocientífica.

Desde un punto de vista axiológico, ello implica un reforzamiento de los valores tecnológicos en el núcleo mismo de la actividad científica: el laboratorio, la comunicación entre científicos y la publicación. El buen funcionamiento de las redes telemáticas es indispensable para los laboratorios-red. Se requiere rapidez, fiabilidad, robustez, compatibilidad, integrabilidad, eficiencia, buen funcionamiento, etc. No en vano ha surgido Internet2 en los EEUU cuando el uso de la red Internet se ha generalizado en la sociedad civil, creando problemas de funcionamiento en las redes telemáticas que usan los científicos. La generación, contrastación y perfeccionamiento del conocimiento científico depende estrictamente del buen funcionamiento de las tecnologías de telecomunicaciones, y ello no sólo en relación a los aparatos del laboratorio, sino también a los restantes artefactos que permiten el acceso a los datos, su representación, su transmisión y la comunicación y publicación científica. Un laboratorio que no esté conectado a redes de banda ancha, simplemente no es un laboratorio tecnocientífico.

e) *Tecnociencia militar*

A partir de la primera guerra mundial, y sobre todo de la segunda, los científicos se han involucrado en empresas militares de una envergadura

hasta entonces desconocida en la historia de la humanidad. La guerra química de 1915 fue el primer gran ejemplo¹⁰, pero el proyecto Manhattan ilustra mejor lo que hemos denominado macrociencia militarizada. Las explosiones de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki dieron lugar a una auténtica crisis de conciencia en la comunidad científica, así como en la sociedad. Dicha crisis de valores se agudizó ulteriormente, debido a que el desarrollo de la energía nuclear generó enormes amenazas para todo el planeta (efecto invernadero, residuos, riesgos en las centrales nucleares, etc.). En las décadas siguientes surgieron modalidades de auténtica *macrociencia militarizada*, como la red militar SAGE, puesta en funcionamiento por los EEUU en los años 50. Su principal núcleo era una red de ordenadores que controlaba numerosos aparatos de radar, organizando la respuesta y dirigiendo a los cazas en caso de un ataque nuclear procedente de la Unión Soviética. La red SAGE inauguró la saga de las redes tecnocientíficas militares, cuyo máximo exponente fue la Iniciativa de Defensa Estratégica del Presidente Reagan, decisiva para la consolidación de la tecnociencia. Esta línea de investigación condujo a una nueva modalidad de guerra, la ciberguerra, que ha sido puesta en práctica a gran escala en las Guerras del Golfo Pérsico, Kosovo y Afganistán. Como hemos afirmado en otro lugar, la ciberguerra implica una radical transformación del concepto de guerra¹¹, aunque aquí no vayamos a entendernos al respecto.

A partir de los años 80 la colaboración entre los científicos y militares volvió a ser considerada como prioritaria en los EEUU, dándose por superada la crisis de la década 1966-76. Tras la guerra de Vietnam, el Pentágono comenzó a afirmar que los EEUU estaban perdiendo su supremacía

10. El 22 de abril de 1915 el ejército alemán lanzó 168 toneladas de gas de cloro en las trincheras francesas, provocando una nube de gas tóxico de seis kilómetros y ocasionando 15.000 muertes. Los ingleses replicaron al poco con fosgeno y gas mostaza. Lanzaron 125.000 toneladas de gas y provocaron 400.000 muertes y 600.000 heridos. La macrociencia posibilitó la macroguerra, luego corregida y aumentada en la segunda guerra mundial. El responsable científico del ataque alemán fue Fritz Haber, Premio Nobel de Química en 1919 por su síntesis del amoníaco y criminal de guerra en 1920, cuando se conoció su responsabilidad en la guerra química. La convención de La Haya de 1899 había declarado ilegal la guerra química, pero es sabido que los valores jurídicos decaen frente a los valores militares en caso de guerra. En todo caso, se trata de un buen ejemplo de conflicto de valores en la ciencia, generado por la industrialización de la ciencia militarizada.

11. J. Echeverría, 1999, *o.c.*, cap. 2.

tecnológica en relación a la URSS y que era preciso retomar la colaboración entre científicos, ingenieros y militares, que había menguado considerablemente. Por tanto, el nuevo objetivo consistía en desarrollar tecnología militar, particularmente en el ámbito de las TIC, los misiles teledirigidos, la microelectrónica, los láser, la inteligencia artificial, la robótica, los nuevos materiales y los nuevos sistemas de propulsión para armas y barcos¹². Como resultado, las administraciones Ford y Carter comenzaron a aprobar nuevos fondos para potenciar la investigación básica aplicada a cuestiones de Defensa. Mas también en este caso fue la administración Reagan la que tomó las medidas más decididas: en 1986, los fondos que las Universidades podían recibir de agencias militares se incrementaron en un 16,5%. La novedad consistió en que ya no se trataba de macroproyectos de investigación. Aunque siguió habiéndolos, buena parte de los fondos se utilizaron para financiar pequeños proyectos, siempre que éstos ofrecieran expectativas de innovación en tecnologías militares. El sector privado, por su parte, también apoyó esta iniciativa, invirtiendo en Universidades que tuvieran contratos con agencias militares. El sector de la electrónica, por ejemplo, creció un 200% en quince años. Se inauguraba así la época de la tecnoguerra, basada en las TIC, a diferencia de la guerra con apoyo en las industrias pesadas. Por tanto, a partir de los años 80 y en relación con la tecnociencia militarizada cabe afirmar que:

e.1) La investigación tecnocientífica, sea de gran o de pequeño tamaño, adquirió una relevancia estratégica para los poderes militares. Como resultado de la prioridad otorgada a las tecnologías militares, hoy en día cabe hablar de una nueva modalidad de guerra, la infoguerra o ciberguerra, basada en las tecnociencias, más que en la ciencia industrializada de principios del siglo XX. Latour llega a afirmar que «la tecnociencia es parte de una máquina bélica, y debe ser estudiada como tal»¹³. Esto puede ser cierto en el caso de algunas tecnociencias, no de todas. Sobre todo, es falso cuando el término 'tecnociencia' se usa omnicomprensivamente, como hace Latour, quien asume que ciencia, tecnología y tecnociencia son lo mismo, contrariamente a lo que aquí propugnamos. En cambio,

12. Ver Dickson, 1988, *o.c.*, p. 128.

13. B. Latour, 1992, *o.c.*, p. 166.

Latour sí tiene razón al afirmar que «hoy en día, ningún ejército es capaz de vencer sin los científicos»¹⁴. Buena parte de la tecnociencia tiene una gran importancia estratégica para los poderes militares y por ello se pueden mencionar innumerables proyectos tecnocientíficos que han sido impulsados, financiados y desarrollados por las fuerzas armadas de los EEUU. Dicho de otra manera, además de los vínculos entre científicos, tecnólogos y empresarios, la tecnociencia está basada en el establecimiento de relaciones muy estrechas con el poder militar. Esto ya ocurrió en la etapa de la megaciencia, pero se reforzó a partir de la década de los 80. Los Departamentos de Defensa de los países avanzados han creado sus propios Centros de investigación científico-tecnológica, cuyas innovaciones son imprescindibles para el desarrollo de nuevas armas de defensa y ataque, así como para las telecomunicaciones militares. Las tecnociencias militares forman parte de la estructura básica de la actividad militar actual, incluida la labor de información y propaganda, que se desarrolla a través de las televisiones y medios de comunicación.

e.2) Cabe hablar, por tanto, de una *militarización parcial de la tecnociencia*, que tiene múltiples consecuencias en la actividad científica, así como en sus resultados. Parte del conocimiento científico y las innovaciones tecnológicas devienen confidenciales y secretas, rompiéndose uno de los valores básicos de la ciencia moderna: la publicidad del conocimiento. Ni siquiera son inscritas en los registros de patentes. Ello no implica que todo se vuelve secreto. La ciencia y la tecnología públicas siguen existiendo. Lo que ocurre es que, junto a ellas, surgen conocimientos e innovaciones tecnocientíficas que sólo se transfieren a la sociedad civil cuando han sido descatalogadas como confidenciales, por haber sido superadas por otras innovaciones o por devenir obsoletas. Asimismo hay muchos proyectos tecnocientíficos que jamás dejan de ser secretos, porque los documentos relativos a ellos son destruidos. Utilizando una metáfora militar, diremos que la vanguardia de la tecnociencia suele ser militar, haciéndose público únicamente el conocimiento de retaguardia. La sociedad civil sabe muy poco de lo que ocurre en la vanguardia tecnocientífica. Algunos proyectos nunca llegan a ser conocidos, porque los valores militares implican una voluntad de que no se sepa todo lo que

14. *Ibid.*

se proyecta o se hace, contrariamente al *ethos* científico del que habló Merton¹⁵.

e.3) Las consecuencias sociológicas de lo anterior son considerables, puesto que una parte considerable de los tecnocientíficos están al servicio de los ejércitos, directa o indirectamente¹⁶. Ello conlleva nuevos cambios en la actividad tecnocientífica, en la medida en que la discusión libre y crítica de las hipótesis y de las opciones tomadas se ve radicalmente yugulada. Defender el racionalismo crítico de Popper en el contexto de la tecnociencia militarizada parece pura y simplemente un *sarcasmo epistemológico*.

e.4) Aunque no vayamos a insistir mucho en ello, conviene subrayar que el conocimiento y las habilidades tecnocientíficas no sólo son creativas, sino también destructivas. La *tecnociencia destructiva* es una parte indispensable de la nueva actividad científica, por lo que difícilmente cabe seguir afirmando que el conocimiento es un bien en sí, como muchos científicos acostumbran decir. Cabe argüir que los artefactos destructivos se construyen para defenderse, o para disuadir, como el propio Popper afirmó en relación con las bombas atómicas¹⁷. Pero incluso si aceptamos esa argumentación, podemos concluir que la búsqueda de conocimiento científico deviene un instrumento para otros fines, no un fin en sí. Los fines de la tecnociencia no son los de la ciencia. Como ya hemos afirmado más de una vez, esta subordinación de la búsqueda del conocimiento a otros objetivos (militares, empresariales, etc.) es una de las principales diferencias entre la tecnociencia y la ciencia, al menos tal y como

15. Como es sabido, Merton postuló la existencia de cinco grandes valores propios de la ciencia: el universalismo, el comunismo, etc. Llama la atención que Merton haya hecho este tipo de teorización justo en la época en que la ciencia se estaba convirtiendo en macrociencia, rompiendo con ese marco axiológico. Otro tanto cabría decir, claro está de los filósofos de la ciencia que se dedicaban a reconstrucciones lógicas de una ciencia idealizada, que poco tenía que ver con la ciencia real de los años 40 y 50. El desinterés por la práctica científica y la desatención a la ciencia de sus coetáneos son dos de las causas de la radical insuficiencia de los estudios filosóficos y sociológicos de la ciencia y la tecnología.

16. A título ilustrativo, cabe mencionar que en los años 90 más del 50% de los matemáticos estadounidenses eran empleados por el Departamento de Defensa, la CIA o la National Security Agency.

17. Ver K. R. Popper, *El mito del marco común*, Barcelona, Paidós, 1997.

ésta ha sido teorizada por los filósofos que conciben la racionalidad científica en función de los objetivos de la ciencia. Si se mantiene esa teoría de la racionalidad, la racionalidad tecnocientífica difiere radicalmente de la racionalidad científica, puesto que han cambiado los objetivos de la tecnociencia. La alternativa consiste en propugnar la racionalidad valorativa o axiológica, como veremos en el capítulo 5.

Estos cambios, y otros que podrían mencionarse en relación con los vínculos entre las tecnociencias y el poder militar, incluidos los servicios secretos, tienen un trasunto axiológico claro. En épocas de guerra se producen profundos cambios en los valores que guían la actividad científica, sin perjuicio de que haya científicos (la minoría) que se aparten de esa *main stream* e intenten mantener los valores puramente epistémicos de la ciencia. Algunos de los valores militares (disciplina, obediencia debida, patriotismo o secreto) entran en el núcleo axiológico que guía las acciones científicas, no sin conflictos ni controversias, que por lo general quedan silenciadas. Esta es una de las razones para afirmar que la estructura de la actividad científica y tecnológica cambia radicalmente en virtud de esa estrecha vinculación entre tecnociencia y guerra. Si antes dijimos que el sistema de valores de la tecnociencia tiene, como mínimo, tres subsistemas (epistémicos, técnicos y económicos), ahora podemos añadir un cuarto subsistema, el de los *valores militares*, puesto que éstos se insertan establemente en la práctica científica. Podemos concluir que buena parte de las acciones tecnocientíficas están guiadas en parte por valores militares, y ello en el núcleo mismo de las mismas, es decir en las instituciones y empresas de investigación, en la medida en que forman parte del aparato militar, aunque no sean contabilizados en las Fuerzas Armadas.

f) *El nuevo contrato social de la tecnociencia*

Aunque también en este caso podrían señalarse numerosos precedentes históricos, cabe afirmar que la noción de una política científica para tiempos de paz surgió en los EEUU durante la segunda Guerra Mundial. Desde entonces se ha desarrollado y difundido por los países más desarrollados. Apareció así un nuevo tipo de acción tecnocientífica: el diseño,

discusión, aprobación, publicación y puesta en funcionamiento de Planes de Ciencia y Tecnología, con la subsiguiente creación de Agencias específicas para ello. Dichos planes son propuestos por los Gobiernos, y en su caso debatidos y aprobados por los Parlamentos. Se trata de acciones políticas en el pleno sentido de la palabra. Normalmente son consideradas asuntos de Estado, en torno a los cuales se busca un consenso amplio entre diversos agentes sociales y políticos. Mediante esas acciones también se transforma el mundo, pero no el mundo natural, sino un sector del sistema social, a saber: los sistemas científico-tecnológicos SCyT de cada país. La política de ciencia y tecnología (PCyT, para abreviar) promueve, desarrolla y transforma el contexto en el que los científicos van a investigar y los tecnólogos a innovar. Dicho contexto será determinante para decidir qué investigaciones son procedentes (o prioritarias) y cuáles no. Las acciones de dotación de infraestructuras y grandes equipos proporcionan a algunos departamentos y centros de investigación los aparatos imprescindibles para desarrollar sus actividades. Las convocatorias de becas de investigación y de puestos de trabajo para proyectos específicos en universidades, centros de investigación y empresas de I+D generan recursos humanos, sin los cuales las acciones tecnocientíficas concretas tampoco serían posibles. Las convocatorias de programas y proyectos de investigación, así como las acciones específicas y las grandes acciones transversales, permiten la ejecución de los proyectos tecnocientíficos al dotar a los equipos de financiación y medios (material fungible, contrataciones temporales, instrumental nuevo, etc.). Las agencias de evaluación instituyen procedimientos y criterios para esas asignaciones de recursos y permiten asimismo el seguimiento y la evaluación *ex post* de los resultados. Hay otras muchas acciones de política científica y tecnológica aparte de estas cuatro: por ejemplo la creación de nuevos agentes tecnocientíficos (institutos de investigación, universidades, parques tecnológicos, redes de excelencia, etc.), o la definición de las líneas prioritarias de investigación y desarrollo, con las múltiples consecuencias que de ello se derivan para las comunidades científicas. No pretendemos aquí ocuparnos a fondo de la enorme complejidad de los sistemas nacionales de política científica-tecnológica. Por ahora, nos limitamos a señalar que la instauración de dichos sistemas fue una gran novedad a mediados del siglo XX, que trajo consigo un cambio radical en la actividad científico-tecnológica, al crear nuevos marcos o contextos de acción. De nuevo

estamos ante acciones tecnocientíficas cuyos objetivos no consisten en generar conocimiento, sino más bien en crear las condiciones de posibilidad para la investigación, el desarrollo y la innovación. La existencia de la tecnociencia depende por completo de estas políticas PCyT. De hecho, la tecnociencia sólo ha surgido en los países donde existen este tipo de políticas, por lo que las PCyT han de ser consideradas como una condición de posibilidad de la tecnociencia. Por tanto, estamos ante otro de los rasgos distintivos entre la ciencia y la tecnociencia. La primera puede existir y desarrollarse en ausencia de políticas científicas previamente diseñadas, la segunda no. Con mayores o menores medios, los científicos han podido impulsar la investigación autónomamente a lo largo de la historia. La tecnociencia, en cambio, requiere una política científico-tecnológica explícitamente diseñada, sea ésta pública, privada o secreta.

Los vínculos entre la ciencia y el poder son anteriores a la tecnociencia, puesto que aparecieron a finales del siglo XIX. Las comunidades científicas siempre han procurado incidir en ámbitos políticos, tanto para obtener financiación para su actividad como para mostrar la utilidad social y política de sus investigaciones (prestigio del país, modernización, solución de graves problemas sanitarios, nutritivos e industriales, etc.). Ello vale también para las comunidades de ingenieros y tecnólogos, que se han consolidado socialmente como expertos, asesores y profesionales de gran prestigio social, tanto en ámbitos políticos como empresariales. Así se fue constituyendo a lo largo de los siglos XIX y XX lo que Sánchez Ron ha denominado *el poder de la ciencia*¹⁸. Los *lobbies* norteamericanos de científicos, militares, tecnólogos y grandes empresas son la expresión típica de ese nuevo poder¹⁹. Pero a partir de la segunda guerra mundial los cambios fueron cualitativos, porque algunos científicos, empezando por Vannevar Bush, se integraron en el núcleo mismo del poder político. Entonces es cuando surgió lo que cabe denominar con precisión política científico-tecnológica, como veremos con mayor detalle en el capítulo 4.

Hemos comprobado que la emergencia de la macrociencia, su crisis, y la posterior aparición de la tecnociencia en los años 80, estuvieron vin-

18. J. Sánchez Ron, *El poder de la ciencia*, Madrid, Alianza, 1992.

19. Para una introducción al respecto, véase la obra de P. Dickson, *The New Politics of Science*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1988.

culadas a giros importantes en las políticas científicas de los EEUU. Para defender sus intereses, muchos científicos destacados pasaron a integrarse en las agencias y comités que tomaban las decisiones, además de asesorar directamente al Presidente de los EEUU. La época de la crisis de la macrociencia coincide con la eliminación por Nixon del consejo científico asesor del Presidente en enero de 1973 (Office of Science Policy), cuyas funciones fueron transferidas a la National Science Foundation. La ruptura de la conexión directa entre las comunidades científicas y la Presidencia fue muy criticada por los científicos, quienes hablaron de una contrarrevolución política contra la ciencia²⁰. En abril de 1974, un Comité de la National Academy of Sciences recomendó una «presencia científica y tecnológica en la Casa Blanca»²¹. Es la época en que se propone la creación de agencias para la evaluación de tecnologías (Office of Technology Assessment). Nelson Rockefeller, el Vicepresidente de Ford, invirtió esa tendencia, al crear una Oficina de Política Científica y Tecnológica en el Gabinete Ejecutivo de la Presidencia. Ello permitió a los científicos volver a tomar posiciones en la Casa Blanca, aunque con una influencia mucho menor que en los años 40 y 50. La restauración del poder político de los científicos continuó con la Administración Carter, aunque algunos economistas de prestigio, como Milton Friedman, se opusieron a que el Gobierno y la Casa Blanca volvieran a involucrarse en ese tipo de cuestiones. Con la llegada de Reagan, los *lobbies* tecnocientíficos volvieron a tener gran influencia, contribuyendo a diseñar la política de liberalización de las patentes y de reducción de impuestos a las empresas de I+D anteriormente mencionadas. George Keyworth, el asesor científico de Reagan, desempeñó un papel muy importante a la hora de definir el *nuevo contrato social de la ciencia*, orientado ahora a la innovación tecnológica. Cabe decir, por tanto, que los cambios en la política científica de los EEUU fueron decisivos en la época de la crisis de la macrociencia militarizada y también en la emergencia de la tecnociencia.

Desde un punto de vista axiológico, el cambio de valores que trajo consigo la inserción de los científicos en las más altas esferas del poder político fue enorme. La actividad tecnocientífica se impregnó de valores políticos y jurídicos, puesto que son éstos los que determinan el marco

20. Ver Dickson, 1988, *o.c.*, p. 31.

21. *Ibid.*, p. 34.

donde se van a desarrollar las investigaciones y el modo de plantearlas y llevarlas a cabo, así como los objetivos. Las líneas prioritarias las definen los gobiernos y los parlamentos, al igual que los marcos jurídicos donde van a poder desplegarse las acciones tecnocientíficas. Los científicos y tecnólogos que se insertan en la dirección y rediseño de los sistemas nacionales de ciencia y tecnología están obligados a asumir valores jurídicos, políticos y sociales ajenos a sus disciplinas. Por ejemplo, han de aprender a proponer presupuestos equilibrados, de modo que ninguna comunidad científica ni grupo mínimamente poderoso se sienta perjudicado o excluido. Ello no les impide potenciar algunas líneas incrementando la financiación, mediante acciones especiales o definiéndolas como líneas prioritarias. Un experto en política científica ha de dominar las artes presupuestarias y de gestión, además de estar muy atento a los sistemas de control del gasto que imponen los Parlamentos y los interventores del Estado. Muchos programas de política científica aparentemente bien concebidos han fracasado por una deficiente gestión de los mismos. Definir los Planes Nacionales de Ciencia y Tecnología, por usar la terminología al uso en España, es una de las acciones tecnocientíficas principales, porque los términos en los que dichos planes se definan y los presupuestos que se asignen a cada una de las acciones serán decisivos a la hora de orientar el desarrollo tecnocientífico en una dirección o en otra. La política científica y tecnológica se convirtió así en una nueva disciplina, que era preciso dominar. La época de la tecnociencia se caracteriza por la consolidación de las instituciones de política científica y por el poder creciente de las mismas. Aquellas comunidades que no tienen representantes cualificados (y expertos en las artes de la política) en dichas instituciones suelen tener un negro futuro. El tradicional desdén de los científicos por los políticos desaparece casi por completo en la época de la tecnociencia.

Confirmamos de nuevo la hipótesis del pluralismo axiológico de la actividad tecnocientífica e incrementamos el número de subsistemas de valores que guían dicha actividad. Si no en toda la comunidad científica, al menos algunos representantes de sus élites han de interiorizar plenamente los procedimientos y los valores de la vida política. El control político de las investigaciones científicas es uno de los temas centrales de debate en la época de la tecnociencia. En la época de Reagan, los científicos lograron que dichos controles se relajaran, recuperando parte de la

autonomía de gestión que había logrado para ellos Vannevar Bush en los años 40. Los conflictos al respecto son continuos en los diversos sistemas de ciencia y tecnología, por lo que también en este caso comprobamos que la existencia de conflictos de valores forman parte de la médula de la actividad tecnocientífica.

g) Pluralidad de agentes tecnocientíficos

La transición de la ciencia a la macrociencia cambió el sujeto de la ciencia, transformándolo en un sujeto plural. Con la llegada de la tecnociencia, este cambio se consolidó y se generalizó. Hoy en día se da por supuesto que una empresa tecnocientífica mínimamente importante, además de investigadores científicos, ingenieros y técnicos, ha de incluir otro tipo de equipos: gestores, asesores, expertos en *marketing* y en organización del trabajo, juristas, aliados en ámbitos político-militares, entidades financieras de respaldo, etc. El agente tecnocientífico tiene una estructura propia, porque nunca está formado por un solo individuo ni tampoco se reduce a un grupo de científicos, ingenieros y técnicos. En el interior de las empresas tecnocientíficas, y como componentes indispensables de las mismas, se incluye una gran diversidad de expertos. Todos ellos desempeñan tareas imprescindibles, aunque luego sean los científicos de prestigio quienes aparezcan como portavoces de dichas empresas a la hora de hacer públicos sus logros, caso de que se opte por hacerlos públicos. No sólo cambia el exterior de la ciencia, al surgir un nuevo sistema de ciencia y tecnología. Igual de importante es el cambio interno. El interior de la tecnociencia difiere radicalmente del interior de la ciencia, caso de que queramos mantener la distinción interno/externo.

La filosofía de la ciencia debatió largamente sobre el carácter objetivo del conocimiento científico o, por decirlo en términos de Popper, sobre la *epistemología sin sujeto*. Tras un proceso de aprendizaje, cualquier ser humano podía aceptar y hacer suyo el conocimiento científico. Las mentes de los científicos individuales, los «hombres de ciencia», eran los grandes yacimientos del conocimiento, aparte de las revistas, las bibliotecas y los materiales impresos que se comunicaban al resto de la comunidad científica. En el caso de la tecnociencia, en cambio, se requieren equipos complejos y heterogéneos de personas, así como diferentes tipos

de medios e instrumentos. El sujeto de la tecnociencia es plural, no individual. O mejor, ni siquiera cabe hablar de sujeto, sino de agente, actor o hacedor. Este siempre es plural, porque se requiere el concurso de diversos tipos de expertos y de numerosos artefactos para que una acción tecnocientífica produzca resultados aceptables. Del sujeto individual de la ciencia moderna (el genio) se pasa al equipo investigador con toda una estructura empresarial, administrativa, política y jurídica de soporte. Para que los resultados de la investigación científica sean plenamente aceptables no basta con las aportaciones epistémicas. Además, se requiere que el conocimiento científico genere desarrollo tecnológico e innovación, de modo que dicho conocimiento se transfiera a las empresas e instituciones. Por tanto, la propia noción de aceptabilidad se modifica. Para serlo, las empresas tecnocientíficas han de interiorizar ese cambio, organizándose de otra manera.

Desde una perspectiva axiológica, ello implica que las acciones del sujeto de la tecnociencia están guiadas por un sistema plural de valores, puesto que el propio sujeto de la tecnociencia es plural. Dicho sujeto puede ser visualizado de la manera siguiente: incluye, como mínimo, un científico, un ingeniero, un empresario, un militar y un político, aunque puede ser más amplio y variado dando entrada a un jurista, un evaluador, un experto en gestión y un inversor, sin olvidar a los expertos en *marketing* y a los administrativos. Cada uno de estos agentes actúa en función de sus propios valores. Puesto que todos ellos componen conjuntamente el «sujeto de la tecnociencia», los conflictos de valores se producen en el interior mismo de dicho sujeto, por ser un sujeto plural. Dichos conflictos llegarán a puntos de equilibrio más o menos estables, o no. En cualquier caso, podemos concluir que los conflictos de valores forman parte de la estructura de la actividad tecnocientífica, contemplada ésta desde la perspectiva axiológica en la que nos hemos situado.

2. DIFERENCIAS ADICIONALES ENTRE CIENCIA Y TECNOCIENCIA

Hasta ahora nos hemos atenido a los rasgos distintivos expuestos en nuestro análisis del concepto de macrociencia, comprobando que las diferencias entre macrociencia y tecnociencia son significativas. Ello resultará todavía más claro si, dejando de lado nuestro punto de partida,

profundizamos más en la caracterización de la tecnociencia. En este apartado ampliaremos el listado de notas diferenciales.

h) Tecnociencia y medioambiente

Algunas consecuencias de la emergencia de la tecnociencia todavía no han sido mencionadas. Una de ellas es su tremendo impacto sobre el medio-ambiente, particularmente notable en el caso de algunas tecnociencias, no en todas. Cabe decir que el medio-ambiente, incluido el medio-ambiente social, es el *sujeto paciente* de las acciones tecnocientíficas. La energía nuclear, con las bombas atómicas, los reactores y los residuos nucleares, constituye un gran ejemplo, pero no el único. Por lo que respecta al impacto ecológico de algunos avances tecnocientíficos, hay que mencionar los plásticos, los alimentos transgénicos, la ingeniería genética, la basura atmosférica generada por los satélites artificiales obsoletos y otros muchos ejemplos que iremos comentando a lo largo de esta obra. No basta tener en cuenta los resultados inmediatos de la investigación en lo que se refiere a los logros científicos y las innovaciones tecnológicas. Es preciso considerar también las consecuencias medio-ambientales de dichas acciones, así como sus posibles riesgos.

Algunos grandes impactos sobre la biosfera han generado una considerable oposición a la actividad tecnocientífica, en la medida en que ésta tiene grandes efectos contaminantes en el medio ambiente natural. Dicha contaminación no surge con la tecnociencia, porque la industrialización ya había generado tremendos daños medioambientales, tanto por la explotación de las materias primas como por los residuos generados por la producción industrial (polución del aire, recalentamiento del planeta, desechos industriales, etc.). Sin embargo, algunas tecnociencias (nuevos materiales, alimentos transgénicos, etc.) transforman de tal manera el medio ambiente que tienen impactos sobre grandes zonas del planeta o sobre el conjunto del ecosistema²². La aparición y consolidación de los movimientos ecologistas, muchos de cuyos activistas tienen un al-

²². El accidente en la central nuclear soviética de Chernobyl es uno de los ejemplos paradigmáticos al respecto. La seguridad de las factorías tecnocientíficas es uno de los valores relevantes de la tecnociencia, y ello en las diversas acepciones del término «seguridad».

to grado de formación científica, es una de las consecuencias de la transformación de la ciencia en tecnociencia. A partir de la crisis de la macrociencia en los años 60, ha surgido un nuevo agente relevante para la actividad tecnocientífica: el activismo ecologista, cuya fuerza es creciente en los países tecnológicamente más avanzados. Dicha corriente adopta múltiples formas y modos de organización, según los países y los problemas abordados. Por lo general, se trata de organizaciones no gubernamentales (ONGs), denominación que expresa un claro distanciamiento con respecto a las instituciones políticas que han promovido la macrociencia y la tecnociencia.

Nos interesan en particular aquellos movimientos ecologistas que han adoptado algunos aspectos de la tecnociencia a la hora de actuar, por ejemplo Greenpeace. Desde nuestro punto de vista, esta organización es un agente tecnocientífico más, aunque interviene desde fuera del sistema SCyT. La formación científica de sus miembros y dirigentes es muy alta. Además, muchas de sus acciones son cuidadosamente diseñadas, de modo que tengan una repercusión considerable en los medios de comunicación, y más concretamente en televisión. Greenpeace utiliza algunas de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (televisión, Internet, etc.) con el fin de incrementar el impacto social y político de sus acciones. Es capaz de negociar con empresarios y políticos y va siendo admitida como un interlocutor válido. Situada en la periferia del sistema SCyT, sus acciones tienen gran incidencia en el núcleo del mismo, en buena medida porque algunos científicos y tecnólogos, junto a una parte significativa de la sociedad, comparten sus ideas y apoyan moralmente sus acciones. Greenpeace ha encontrado su fuente de financiación en la sociedad, lo cual le permite disponer de unos medios tecnológicos mínimos para actuar. Sus acciones están pensadas para ser contempladas en un escenario tecnológico, por lo que incorpora notables técnicas de diseño. Siendo un movimiento crítico de la tecnociencia, ha incorporado el conocimiento científico y la tecnología a su práctica. Por ello afirmamos que se trata de un agente tecnocientífico más, aunque opere desde el contrapoder.

Este tipo de organizaciones proliferan en los últimos años, por ejemplo en la oposición a los alimentos transgénicos, y logran un creciente apoyo social. En algunos países europeos (el caso más notable es Alemania) se han constituido como partidos políticos y participan en gobier-

nos democráticos, lo que les permite incidir en la toma de decisiones en política científica. Asimismo han logrado la aprobación de diversas leyes, normativas y regulaciones que, aunque muchas veces no se cumplan, constituyen un punto de partida para acciones legales posteriores. En la década de los 90, las cuestiones medioambientales han comenzado a estar en las agendas del poder político; el Vicepresidente Al Gore afirmó que «debemos hacer que la salvación del medio ambiente sea el principio organizador central de la civilización» y propugnó un Plan Marshall para el medio ambiente, con una financiación de cien millones de dólares. La oposición del Congreso le impidió poner en marcha la iniciativa, al menos en los términos en los que había sido diseñada inicialmente, pero resulta significativo que el máximo dirigente de la política científico estadounidense llegara a hacer estas propuestas, aunque luego no cristalizaran.

En conjunto, el avance del movimiento ecologista durante el último cuarto del siglo XX ha sido muy significativo, constituyendo uno de los movimientos sociales de mayor interés a la hora de enfrentarse con los riesgos y consecuencias negativas de la actividad tecnocientífica. Desastres como los de las centrales nucleares de Harrison y Chernobyl, por no mencionar la oposición al depósito incontrolado de residuos, o a las pruebas nucleares, son otros tantos casos de estudio para la historia de la tecnociencia. Los estudios de ciencia, tecnología y sociedad no deben ocuparse únicamente de los aciertos y los éxitos, sino también de los errores y los fracasos de la tecnociencia. En relación a la iniciativa medioambiental de Gore, merecería la pena estudiar en detalle los debates que suscitó en el Congreso y en los despachos de política científica. Se comprobaría que el Gobierno norteamericano, que fue el principal agente impulsor de la macrociencia en la época de la segunda guerra mundial, ha dejado de serlo a finales del siglo XX, dado el enorme poder que las empresas tecnocientíficas privadas poseen.

Desde una perspectiva axiológica, diremos que la macrociencia y la tecnociencia del siglo XX han provocado la emergencia de un nuevo sistema de valores, los *valores ecológicos*. Se trata de un sistema de valores reactivo a la tecnociencia, pero que poco a poco va adquiriendo un cierto peso en medios jurídicos, políticos y sociales, llegando incluso a ser interiorizado por algunas empresas tecnocientíficas. Inicialmente, sus defensores han interpretado esa ampliación de la esfera de los valores como una extensión de la ética, y por ello se habla de ética medioambien-

tal. A nuestro modo de ver, no conviene identificar los valores éticos y los ecológicos, sin perjuicio de que puedan estar interrelacionados. Tradicionalmente, se ha tendido a identificar la esfera de los valores con la ética. Una de las tesis de partida en este libro, ya expuesta en publicaciones anteriores²³, afirma la especificidad de los valores ecológicos, frente a su habitual subordinación a los valores morales. Los valores ecológicos no están insertos, hoy por hoy, en el núcleo axiológico de la tecnociencia, pero su presencia social es creciente y poco a poco van siendo interiorizados por muchos tecnocientíficos. Muchas de las actuales controversias sobre las tecnociencias tienen una componente ecológica, por lo que cabe afirmar que, aunque sólo sea embrionariamente, el sujeto plural de la tecnociencia tiende a asumir estos nuevos valores ecológicos. Si al conjunto de agentes que acabamos de enumerar como componentes del sujeto de la tecnociencia le añadimos un ecologista con buena formación científica y técnica, por ejemplo un representante de Greenpeace, mejoraremos nuestro análisis de la estructura de la actividad tecnocientífica.

En resumen: la actividad tecnocientífica incluye otros sistemas de valores que, aunque no la guían, sí pretenden controlar y prevenir sus consecuencias y riesgos, sirviendo de contrapeso a los valores puramente económicos, militares, políticos, científicos y técnicos. Los valores ecológicos son un primer ejemplo.

i) Tecnociencia y sociedad

También cambia profundamente la relación de la tecnociencia con el público y la sociedad. En el caso de la ciencia, la relación entre las comunidades científicas y el público se establecía ante todo a través del contexto de educación. Con la tecnología se centraba en el contexto de aplicación, al considerar a los ciudadanos como usuarios potenciales de las innovaciones tecnológicas, una vez comercializadas éstas en el mercado. La paulatina irrupción y consolidación de la tecnociencia ha cambiado radicalmente esa relación con el público, al haberse producido una crisis de confianza de los ciudadanos con respecto a la investi-

23. J. Echeverría, 2002, *o.c.*, cap. 2.

gación tecnocientífica y, en particular, respecto a los informes o evaluaciones de los expertos.

La oposición en los EEUU a la guerra del Vietnam y a la investigación científica con fines militares fue el primer ejemplo de esta pérdida de credibilidad, que cristalizó en el movimiento de mayo de 1968. Las protestas en los campus universitarios norteamericanos no sólo entonaban «no más investigación para la guerra», sino también atacaban a las «factorías de conocimiento» que la impulsaban²⁴. Otro tanto ocurrió en relación con la energía nuclear, que fue encontrando una oposición creciente en la sociedad, y no sólo por el recuerdo de Hiroshima y Nagasaki, sino también por el problema de los residuos nucleares producidos por los laboratorios o por los riesgos de accidentes en los reactores nucleares, algunos de los cuales formaban parte de los macrolaboratorios científicos y estaban ubicados en los campus universitarios. Así como la ciencia había servido para defender la democracia en los años 40, algunas investigaciones eran consideradas ahora como un peligro para la democracia, al estar al servicio exclusivo de organizaciones militares. La militarización parcial de la macrociencia fue criticada desde múltiples perspectivas, calando las críticas en la sociedad y llegando a algunos científicos y dirigentes académicos. La Universidad de Stanford cerró el Stanford Research Institute, que trabajaba mayormente para el Departamento de Defensa. El Instrumentation Laboratory del MIT cambió por completo sus líneas de investigación, orientándolas a la aviación civil. Sólo en el ámbito de la física, los proyectos financiados por organismos militares cayeron del 32 al 19% entre 1971 y 1975, mientras que el Departamento de Defensa, que financiaba un 20,1% del total de la inversión gubernamental básica en 1963, sólo tenía a su cargo un 9,3% en 1975. Los efectos de la crisis de la megaciencia militarizada fueron muy reales en los EEUU.

Estas protestas tuvieron repercusión en un asunto que sería central en el debate de finales de los años 60: la exigencia de un mayor control social y democrático de la investigación científica. Con ello se incidía en uno de los pilares del contrato social de la ciencia establecido a partir del informe Bush, según el cual se dejaban amplias cotas de libertad a la hora de elegir los objetivos de investigación. Incluso en círculos militares comenzó a ponerse en duda la utilidad de la investigación básica para

24. Dickson, 1988, *o.c.*, p. 120.

fabricar nuevas armas. La célebre enmienda Mansfield (1970), que fue aprobada por el Congreso y el Senado, no sólo exigía a los científicos probar previamente que sus investigaciones tendrían interés real para las instituciones militares que les financiaban, sino que también instituía unos mecanismos mucho más rigurosos de control del gasto, e incluso de los objetivos de la investigación²⁵. Esta tendencia no sólo se mostró en los EEUU, sino también en otros países, como Gran Bretaña y Francia. En conjunto, cabe afirmar que en la década de los 60 se pusieron en cuestión algunos de los postulados principales del sistema SCyT que había surgido tras la Segunda Guerra Mundial. Con ello emergía un nuevo agente del sistema, la propia sociedad, y lo hacía de manera desconfiada y crítica. La reorientación de la investigación hacia las empresas privadas en los años 80 fue el modo de esquivar esa oposición social a determinadas modalidades de ciencia, puesto que las dificultades en el sector público comenzaron a ser mayores.

Desde el punto de vista axiológico, éste es el momento en que los valores sociales irrumpen con fuerza en la actividad científica, introduciendo nuevos criterios de valoración de la tecnociencia. La crisis de la década 1966-76 fue producto de la irrupción de nuevos sistemas de valores, como los sociales, los ecológicos y los jurídicos, que hasta entonces habían tenido muy poco peso relativo en medios científicos.

Prescindamos de lo que ocurrió en la época de la crisis de la megaciencia militarizada, a la espera de estudios más detallados, y pasemos a considerar la relación entre la sociedad y la tecnociencia hoy en día. Aplicando la distinción que solemos usar entre los cuatro contextos de la actividad tecnocientífica (educación, investigación, evaluación y aplicación²⁶), cabe decir que la relación de la ciudadanía con la tecnociencia es bastante peor en los cuatro contextos: muchos jóvenes cuestionan más o menos abiertamente la educación tecnocientífica, sectores importantes de la sociedad demandan un control social de la investigación tecnocientífica, se desconfía de los informes y evaluaciones de los expertos en ciencia y tecnología y, por último, se contestan abiertamente algunas de las principales innovaciones tecnocientíficas. En el fondo, se está expresando un cierto rechazo al nuevo y creciente poder de los tecnocientí-

25. Dickson, 1988, *o.c.*, pp. 122-123.

26. Ver J. Echeverría, 1995, *o.c.*, cap. 3.

ficos. El *control social* y la *democratización de la ciencia* (en nuestro caso de la tecnociencia) son dos de los lemas que aglutinan esas fuerzas sociales que antaño miraban a la ciencia con admiración, y hoy contemplan a la tecnociencia con dudas crecientes, cuando no con un rechazo explícito²⁷. Ello provoca que las comunidades tecnocientíficas, cada vez más estrechamente vinculadas a poderes económicos, militares y políticos, se preocupen por la imagen pública de la ciencia y la tecnología, como muestran numerosos programas de difusión y divulgación de la ciencia y la tecnología en los EEUU y en Europa. La tecnociencia se ha convertido en un poder social muy importante y no basta con alfabetizar científicamente a los jóvenes, como antaño. Es preciso hacer publicidad de la ciencia para mejorar la relación entre la tecnociencia y el público. Ello es coherente con la impronta empresarial y de mercadotecnia que marca a la ciencia y la tecnología en nuestra época. En resumen, la admiración pública por la ciencia se ha convertido en preocupación social por la tecnociencia, con lo que la relación con el público y la sociedad ha cambiado radicalmente. En muchos casos, esa preocupación tiende a convertirse en rechazo, sobre todo en aquellos países tecnocientíficamente dependientes, es decir, que no cuentan con recursos humanos, financieros ni organizativos como para desarrollar sus propias políticas científicas. El abismo entre el Primer y el Tercer Mundo tiene una indudable componente tecnocientífica. No es extraño que sociedades enteras rechacen mayoritariamente la expansión del poder tecnocientífico a sus países, sobre todo cuando ello implica colonialización tecnológica.

Conviene recordar que la tecnociencia no sólo está orientada hacia el control y dominio de la naturaleza, como era el caso en las ciencias baconianas, sino que se proyecta ante todo al control y dominio de las sociedades, como ya hemos señalado anteriormente. Esta es la razón de fondo por la que la relación entre la tecnociencia y la sociedad es conflictiva. En algunos casos, esas transformaciones son bien recibidas por la sociedad. Pero en la mayoría de las ocasiones surgen reticencias, cuando no rechazos. Algunos sectores sociales podrán apoyar determinados programas tecnocientíficos, en la medida en que esperan obtener beneficios de ellos. Tal es el caso de los grandes programas de investigaciones

biomédicas (cáncer, SIDA) o medioambientales (productos anticontaminantes, bio-remediación, etc.). Pero otras muchas líneas de investigación e innovación suscitan dudas y desconfianza, cuando no una abierta repulsa. De ahí que las empresas tecnocientíficas tengan que incluir acciones de publicidad y divulgación positiva entre sus líneas estratégicas. Estamos nuevamente ante conflictos de valores, cuya resolución no es sencilla. Los estudios de percepción social de la ciencia, cualitativos o cuantitativos, forman parte de la actividad tecnocientífica, a diferencia de la ciencia moderna, que raras veces prestó atención a estos problemas. Saber presentar la tecnociencia a la sociedad en general, y no sólo a las capas altas de misma, como ocurría en la ciencia moderna, es un requisito más de la actividad tecnocientífica, precisamente porque buena parte de ella está orientada a la transformación de las sociedades.

j) Tecnociencia y política internacional

La macrociencia surgió en el contexto de la segunda guerra mundial y, como veremos en el capítulo 4, fue una iniciativa netamente nacional, orientada al incremento de la influencia militar, industrial, política y comercial norteamericana. Su desarrollo en Europa en la primera época de la postguerra fue tutelado por los EEUU, por lo que las escasas iniciativas de macrociencia europea pueden ser consideradas como una expansión de la macrociencia norteamericana. Sin embargo, la consolidación de la URSS como una potencia mundial, cada vez más enfrentada a los EEUU, generó una fuerte confrontación científico-tecnológica entre ambas. En la época de la Guerra Fría no había transferencia alguna de conocimiento científico entre ambos bloques, a no ser en ámbitos poco importantes de la investigación y a través de los canales académicos tradicionales. Hasta los años 60, la separación entre los dos sistemas de ciencia y tecnología fue estricta, considerándose un delito de espionaje o de alta traición la comunicación de conocimiento que tuviera importancia estratégica. Se rompía así una venerable tradición internacionalista de la ciencia moderna, puesto que la macrociencia estaba dividida en dos grandes bloques, prácticamente incomunicados entre sí. Los científicos e ingenieros tuvieron que aceptar esta situación, tanto en un lado como en otro. Aunque en la época de la ciencia moderna y de la tecnología in-

²⁷. Un documento clave al respecto es la Declaración de Budapest (1999) en pro de la democratización de la ciencia, promovida por la UNESCO.

dustrial siempre había habido algunos ámbitos secretos en la investigación, una situación como la de los años 50 y 60 no tiene precedentes en la historia de la ciencia. Por tanto, estamos ante otra diferencia entre ciencia y tecnociencia, que conviene comentar brevemente.

En el bloque occidental, la dependencia científica y tecnológica de los antiguos aliados respecto a los EEUU fue estricta durante esos años, al igual que en el bloque oriental. Frente a la antigua rivalidad entre la ciencia inglesa y la ciencia continental, o entre la ciencia alemana y la francesa, por mencionar dos ejemplos del siglo XVIII y XIX, la época de la postguerra generó una reorganización de la ciencia internacional, aglutinada en dos bloques estrictamente jerarquizados. Aparte, prácticamente excluido de los avances científicos y tecnológicos, quedaba el Tercer Mundo. La estructura geoestratégica del mundo tuvo un reflejo directo en los sistemas SCyT. Los valores internacionalistas declinaron rápidamente ante la confrontación política, militar, diplomática e industrial que caracterizó a la Guerra Fría. Epítetos como «ciencia capitalista» y «ciencia comunista» eran habituales en aquellos tiempos.

La segunda guerra mundial fue aprovechada por los EEUU para captar a buena parte de los científicos europeos que huyeron de la persecución nazi. Durante la postguerra, esa emigración continuó, puesto que Norteamérica era el único país occidental que posibilitaba el desarrollo de aquellas investigaciones que requerían grandes equipamientos y fuerte financiación. Este fue uno de los beneficios derivados de la decisión de mantener la alianza entre políticos, militares, industriales y científicos después de la guerra, en lugar de dismantelar el dispositivo que se había creado durante la contienda. La consolidación del sistema SCyT estadounidense en los años 50 no sólo tuvo efectos en la ciencia norteamericana, sino también a nivel internacional, al situar a dicho sistema de ciencia y tecnología en una postura de liderazgo internacional claro, con toda una serie de consecuencias derivadas: captación de cerebros, formación de los futuros líderes de la ciencia europea, canalización de la cooperación a través de organizaciones de interés estratégico (como la OTAN), etc. La transferencia de tecnología, en particular militar, fue usada como una moneda de cambio para lograr objetivos estratégicos, políticos, económicos y comerciales. Asimismo se transfería parte del conocimiento a cambio de participar en los costes de financiación de los macroproyectos de investigación, como veremos más adelante en el caso del telesco-

pio espacial Hubble. En resumen, el poder de la ciencia y la tecnología se mostraba también como instrumento para la diplomacia exterior.

Sin embargo, hasta los años 60 la política científica estadounidense no había sido sistematizada en sus aspectos internacionales. La incorporación de los temas de ciencia y tecnología a la política internacional, obra de Kissinger en la época de Nixon, la creación de la Tricontinental (1973) a iniciativa de Rockefeller y la tentativa de Carter de fundar una Agencia de Cooperación Científica y Tecnológica, orientada al Tercer Mundo, fueron pasos importantes en este sentido. La última fracasó, en buena medida por las reticencias de las grandes corporaciones empresariales norteamericanas. Pero los acuerdos de cooperación científico-tecnológica con otros países comenzaron a formar parte de la política internacional de los EEUU. Los convenios que firmó Kissinger con la URSS y la administración Reagan con China, aunque fueron de ámbito limitado, mostraron que la cooperación científico-tecnológica podía tener una importante función a la hora de terminar con la Guerra Fría. Ambas iniciativas fueron hechas con vistas al futuro, pensando en los enormes mercados que ambos países ofrecían para las empresas norteamericanas.

Las grandes corporaciones industriales y, posteriormente, las empresas de nuevas tecnologías, tuvieron mucho que ver con esta ampliación de la política científica al ámbito internacional, pero durante los años 60 y 70 la iniciativa siempre la tenía el Gobierno. Con la progresiva emergencia de la tecnociencia, la situación cambió. Algunas grandes empresas, por ejemplo en el ámbito de las TIC (IBM, Hewlett-Packard, Microsoft, etc.), desarrollan sus propias políticas internacionales de I+D+i, transfiriendo a otros países del mundo parte de los procesos de producción de nuevas tecnologías, aunque nunca la dirección ni el diseño. Se inicia así la época de la globalización y de las empresas-red²⁸, coherentemente con las características estructurales de la tecnociencia.

La expansión internacional de la tecnociencia norteamericana requeriría estudios amplios y específicos, sector por sector. Aquí nos limitaremos a señalar que las diferencias entre el internacionalismo de los científicos modernos y la transnacionalidad de las actuales empresas tecnocientíficas, empezando por las norteamericanas, son muy grandes. Ante todo

²⁸. Como las denomina Castells en su libro *La Era de la Información* (Madrid, Alianza, 1996-98, 3 vols.).

porque las nuevas tecnologías transforman las sociedades en las que se propagan, al modificar los hábitos de vida y las capacidades de acción de las personas. La expansión de la ciencia europea por todo el mundo se llevó a cabo a través del contexto de educación y difusión. La tecnociencia, en cambio, se propaga desde el contexto de aplicación, precisamente porque es una actividad transformadora del mundo.

Han sido muchos quienes ven en esta expansión de la tecnociencia norteamericana una nueva forma de colonización, centrada en la apropiación y comercialización del conocimiento, no de los recursos naturales necesarios para la industria. Así lo denunció el grupo de los 77, del que formaban parte la mayoría de los países del Segundo y del Tercer Mundo. La tesis es muy plausible. En cualquier caso, debería hablarse de tecnocolonialismo, para distinguirlo del colonialismo europeo de la época científico-industrial.

k) *La gestión de la tecnociencia*

Se requiere organizar el trabajo tecnocientífico y gestionar los recursos humanos disponibles, no sólo a la hora de investigar, sino en todas las fases y contextos de la actividad tecnocientífica. La autoridad epistémica y el saber técnico ya no bastan. El agente o empresario tecnocientífico ha de saber algo de ciencia y de tecnología, pero, sobre todo, ha de tener conocimientos sobre *gestión de recursos humanos y económicos*. El *marketing* y la propaganda son características que distinguen a la tecnociencia, sin perjuicio de que en la ciencia moderna haya habido precedentes importantes de estas habilidades. Muchos dirigentes de equipos investigadores desarrollan la mayor parte de su actividad fuera del laboratorio, buscando recursos para las investigaciones, haciendo relaciones públicas, en una palabra, *vendiendo el producto* obtenido de la investigación. Esta característica convierte a algunos científicos e ingenieros en *empresarios del conocimiento*, con la peculiaridad de que fabrican un producto de gran prestigio histórico, el conocimiento, tradicionalmente considerado como un bien en sí. Los modelos de gestión del conocimiento forman una parte importante de la política científica, sea estatal o empresarial.

Por lo general, la tecnociencia produce una considerable jerarquización en el interior de los equipos tecnocientíficos, puesto que no sólo se

requiere investigación, sino también desarrollo e innovación. El objetivo último es la innovación, no el avance en el conocimiento. Esto último es deseable, pero instrumentalmente. Además, hay un alto grado de opacidad en relación a los objetivos concretos de la actividad investigadora, buena parte de la cual es confidencial o secreta. Un científico que trabaja en una empresa tecnocientífica puede ignorar por completo el sentido último de las investigaciones que realiza. Adscrito a una cadena de producción de conocimiento, sólo conoce una pequeña parcela del proyecto de investigación en el que colabora, sobre todo en el caso de los macroproyectos. Frente al científico clásico, que afrontaba unos problemas que conocía e intentaba resolver, el tecnocientífico desarrolla un trabajo investigador a cambio de una retribución económica, convirtiéndose en un asalariado más. Consecuencia de ello son los conflictos laborales y personales dentro de las empresas tecnocientíficas, que suelen adoptar el disfraz de divergencias conceptuales o técnicas. Gestionar recursos humanos es una necesidad para cualquier empresa tecnocientífica de tamaño medio. Por otra parte, los valores sindicales (estabilidad en el puesto de trabajo, nivel salarial, posibilidad de una carrera como científico, etc.) se insertan en el seno de la actividad tecnocientífica, sobre todo si ésta tiene financiación pública. De nuevo estamos ante conflictos estructurales, derivados del nuevo modo de producción de conocimiento. Las pugnas por una plaza fija en las universidades y centros de investigación suelen ser manifestaciones canónicas de este tipo de conflictos, de gran interés para la sociología de la tecnociencia.

Las complejas cadenas de control y evaluación de la producción de conocimiento generan una enorme burocracia, hasta el punto de que buena parte del tiempo se gasta redactando proyectos, informes y propuestas, cada vez más complejos técnicamente. Surgen expertos en este tipo de acciones y nuevas habilidades retóricas para redactar este tipo de documentos. Aparte de los expertos en investigación, desarrollo e innovación, las empresas tecnocientíficas requieren expertos en labores administrativas. Un buen gerente puede ser tan importante o más que un buen investigador. Es otro de los aspectos de la empresarialización de la tecnociencia, que muchas veces impacienta a los científicos clásicos. En conjunto, dichas empresas se caracterizan por una alta división del trabajo, puesto que se requieren habilidades muy distintas para que la empresa progrese. El objetivo principal es el progreso y el buen funcio-

namiento de la empresa TyC, lo cual requiere saber aplicar políticas económicas de crecimiento, estabilización y reconversión, según los casos. Todo ello era impensable en la ciencia clásica, guiada por el ideal del crecimiento acumulativo. Las empresas tecnocientíficas duran menos que las instituciones científicas, debido al gran ritmo de cambio e innovación que impone la tecnociencia. Ello ocurre sin que cambien los paradigmas del conocimiento. La dinámica de la tecnociencia es mucho más compleja que la de la ciencia y tiene que ser analizada desde múltiples perspectivas. Los análisis puramente epistémicos, que solamente se fijan en el ritmo de avance del conocimiento, resultan insuficientes. La economía de la ciencia se convierte en una rama fundamental de los estudios de ciencia y tecnología, consecuentemente con el hecho de que la producción de tecnociencia deviene un sector económico nuevo.

El sector económico CyT está teniendo un gran desarrollo en los últimos años, y no sólo en las instituciones estatales, sino también en el sector privado. Algunos proyectos tecnocientíficos son financiados por entidades de capital-riesgo y no faltan algunas grandes empresas tecnocientíficas que recurren a la Bolsa como vía para obtener financiación. Hoy en día, el 70% de la inversión en I+D+i en los EEUU proviene de la iniciativa privada, quedando sólo un 30% a cargo del Estado y las instituciones públicas. Ello implica un cambio radical en la *estructura económica de la tecnociencia*, así como en los criterios de evaluación de las instituciones y empresas tecnocientíficas. La ciencia moderna fue financiada por los Estados y por algunos mecenas. La tecnociencia contemporánea, en cambio, tiende a buscar financiación en los mercados de capitales, como cualquier otra gran empresa. La financiación pública sigue existiendo, pero su papel se reduce a catalizar las iniciativas. La creación de empresas incubadoras es cada vez más frecuente en la tecnociencia, contrariamente al modelo institucional que caracterizó a la ciencia moderna.

Sin entrar en mayores detalles, podemos concluir que tanto desde el punto de vista financiero como desde la perspectiva laboral, la ciencia y la tecnociencia se diferencian radicalmente, y no sólo por el tamaño, sino ante todo por su diferente estructura económica y de trabajo.

1) *Tecnociencia y derecho*

La actividad tecnocientífica está regulada jurídicamente en varias de sus fases y, al desarrollarse en un mercado competitivo, da lugar a numerosos problemas y pleitos jurídicos. Uno de los más característicos es el de la propiedad del conocimiento, que se concreta a la hora de patentar las innovaciones. Los términos jurídicos mediante los cuales se registra una patente en las oficinas estatales correspondientes tienen una enorme importancia para el desarrollo ulterior de los proyectos y para el logro de beneficios, motivo por el cual los investigadores que han logrado resultados patentables han de contactar con expertos en leyes que definan adecuadamente la propiedad del conocimiento. No hay que olvidar que, tanto en el caso de la macrociencia como en el de la tecnociencia, los proyectos de investigación requieren la colaboración de varios agentes, por ejemplo académicos, industriales, militares e institucionales. Fijar el reparto de la propiedad del conocimiento adquirido es una cuestión ante todo jurídica. Abundan los casos en que los mayores éxitos de un proyecto dependieron del acierto a la hora de registrar y comercializar las patentes²⁹.

Por tanto, las empresas tecnocientíficas han de contar con la colaboración de expertos en leyes, lo que no tiene precedentes en la ciencia moderna, donde los conflictos solían ser dirimidos por comisiones de arbitraje integradas por científicos de gran prestigio. Dichas prácticas de resolución de conflictos siguen existiendo, pero en muchos casos se apela a instancias de otro tipo. Los conflictos entre empresas tecnocientíficas rivales frecuentemente acaban en tribunales. Otro tanto cabe decir de la privatización del conocimiento, como apuntamos anteriormente. La inscripción, mantenimiento y gestión de las patentes, al igual que los problemas de propiedad intelectual, devienen problemas básicos para la gestión de las empresas tecnocientíficas. También se plantean problemas laborales y de contratación en el seno de las mismas, que han de ser resueltos conforme a las legislaciones correspondientes. Ello sin olvidar que algunas empresas privadas de I+D optan por insta-

29. Así ocurrió, por ejemplo, cuando la empresa Du Pont patentó el nylon. Ver David A. Hounshell, «Du Pont and Management of Large-Scale Research and Development», en Galison y Hevly, *o.c.*, p. 241.

larse en países con muy débil poder estatal, precisamente para rehuir estos problemas jurídicos, incluidos los impuestos fiscales. Todo esto era impensable en la época de la ciencia y la tecnología moderna, por lo que estamos ante un nuevo rasgo distintivo de la tecnociencia. Algunas universidades y centros de investigación, y por supuesto las empresas de I+D, han basado sus ingresos económicos en la explotación de unas pocas patentes, lo cual ha permitido financiar las investigaciones ulteriores y hacer rentable la actividad investigadora, incluida la investigación básica.

Por otra parte, la investigación financiada públicamente ha de ajustarse a una serie de normas jurídicas, tanto a la hora de presentar los proyectos como al llevarlos a cabo y justificar el gasto. Los investigadores principales han de comprometerse cada vez con mayor frecuencia a respetar una serie de principios éticos y medio-ambientales, aparte de las regulaciones propiamente jurídicas. En conjunto, la tecnociencia está ante una serie de *constraints* (constricciones, ligaduras) que son muy diferentes a las de la ciencia moderna. Las restricciones jurídicas de la investigación tecnocientífica son muy efectivas en los países democráticos, razón por la cual algunas empresas tecnocientíficas optan por la extraterritorialidad, ubicando sus sedes centrales, e incluso sus laboratorios, en países con menor control político y jurídico. Al igual que otros muchos grandes financieros, quienes detentan el capital intelectual recurren a procedimientos de dudosa legitimidad para esquivar ese tipo de controles. Por tanto, también en este aspecto las empresas tecnocientíficas tienden a comportarse ante todo como empresas, contrariamente a la ciencia moderna o al acendrado patriotismo y espíritu democrático de muchos científicos en la época de la macrociencia.

m) *Tecnociencia y valores*

Desde un punto de vista axiológico, la situación que estamos describiendo puede resumirse diciendo que, aparte de los valores epistémicos, técnicos y económicos (y en su caso militares, cuando hablamos de descubrimientos o invenciones con importancia estratégica), en la actividad tecnocientífica están presentes otros varios subsistemas de valores: ecológicos, políticos, sociales, jurídicos, etc. Algunos de esos valores van

siendo interiorizados por los tecnocientíficos, aunque a regañadientes. Muchos de ellos añoran la época de la autonomía axiológica, cuando primaban claramente sus valores específicos. Por ello, como ya hemos apuntado anteriormente, en el seno de la tecnociencia no sólo interviene una pluralidad de subsistemas de valores, sino que además existe un *conflicto estructural de valores* que no se producía en la época de la ciencia y la tecnología industrial, o al menos en un grado mucho menor. Diremos pues que *la tecnociencia se caracteriza por la existencia de conflictos de valores*, los cuales pueden adoptar modalidades diversas según los países, los momentos y las disciplinas. No hay que olvidar que la tecnociencia se sigue mostrando altamente eficaz a la hora de transformar el mundo, o de dominar la naturaleza, si se prefiere. El problema consiste en que este segundo objetivo de la ciencia baconiana encuentra importantes contrapesos en esos nuevos subsistemas de valores que, aunque no hayan sido asumidos por las comunidades tecnocientíficas, tienen un predicamento cada vez mayor en la sociedad.

Puede llamar la atención que hasta ahora no hayamos hablado de los valores morales. En la medida en que la tecnociencia es una actividad humana, cuestiones como la honestidad, la veracidad o la confianza se suscitan una y otra vez. Siendo, además, una actividad que transforma el mundo, surgen problemas éticos en función de los objetos transformados. Y puesto que las acciones técnicas son intencionales, la mayor o menor moralidad de dichas intenciones da lugar a aspectos éticos significativos. Por tanto, los valores morales tienen también un papel en la tecnociencia, sobre todo en algunas disciplinas y momentos. Sin embargo, desde la perspectiva axiológica que hemos adoptado, hay otros sistemas de valores mucho más significativos que los morales, sin perjuicio de que éstos puedan primar y ser determinantes a la hora de tomar determinadas decisiones. Otro tanto cabe decir de otros sistemas de valores, como los religiosos y los estéticos. Veremos en el capítulo 5 que el pluralismo axiológico exige tener en cuenta numerosos valores, algunos de los cuales priman en unos momentos, pero no siempre. No hay omnipresencia de un único sistema de valores, ni siquiera de uno que resulte determinante por doquier.

n) *Tecnociencia e informática*

La ciencia moderna se apoyó ante todo en las matemáticas, mientras que *la tecnociencia requiere un formalismo adicional, la informática*. El cambio es importante, porque la informática permite representar y simular diversos tipos de acciones, y ello de manera recursiva. La capacidad operatoria de las matemáticas es grande, pero la de la informática es mucho mayor. El tremendo auge de la informática y de las tecnociencias que se derivan de ella (cibernética, robótica, inteligencia artificial, telemática, etc.) no es un detalle incidental, sino que ilustra otro rasgo distintivo de la tecnociencia del siglo XX. Los dos principales pivotes metodológicos de la ciencia moderna fueron las matemáticas y el método experimental. La informática y las simulaciones constituyen las dos grandes novedades metodológicas del siglo XX, cuya irrupción, desarrollo y consolidación marcan el paso de la ciencia a la tecnociencia desde el punto de vista de los lenguajes formales y la metodología.

Los modelos matemáticos permiten analizar y descubrir nuevas relaciones entre los objetos estudiados. Otro tanto ocurre con la informática, con la diferencia que ésta se aplica a sistemas muy diversos, y en particular a los propios sistemas tecnológicos, que pueden ser simulados informáticamente. Como indica Aracil:

El computador tiene la virtualidad de poder ser programado de modo que su comportamiento sea el que establece el programa. Cambiando éste, tenemos un nuevo comportamiento. De este modo, el computador puede imitar o simular el comportamiento de cualquier máquina; sus posibilidades, en este orden de cosas, son inmensas³⁰.

Dada una máquina cualquiera, llamaremos *infomáquina* a su simulación informática, caso de ser posible. En principio, prácticamente todos los artefactos mecánicos tienen sus correspondientes infomáquinas. Otro tanto ocurre con las máquinas termodinámicas y, lo que es más importante, con un nuevo tipo de artefactos que surgieron en el siglo XIX, uno de cuyos ejemplos es el regulador de Watt. Fue Maxwell quien se

30. J. Aracil, *Máquinas, sistemas y modelos*, Madrid, Tecnos, 1986. Seguiremos en este apartado la exposición de Aracil.

ocupó de teorizar dichos reguladores centrífugos y mostró la importancia de sus válvulas, cuya apertura o cierre gradual permitían mantener la velocidad de la máquina de vapor aproximadamente constante. Por tanto, algunas de sus piezas no habían sido diseñadas para generar energía, sino para introducir información en la propia máquina, de modo que ésta pudiera funcionar automáticamente. El regulador de Watt lo hacía mecánicamente, pero pronto se comprobó que la electricidad era el instrumento ideal para transmitir información. Este tipo de dispositivos, cuya función consiste en introducir información sobre el estado de las máquinas, fueron imprescindibles para las redes de distribución de energía eléctrica y las redes telefónicas en el siglo XIX, así como para las tecnologías de control automático que dieron lugar posteriormente a la robótica³¹. Los servomecanismos también incorporan estos bucles de realimentación de información, que son habituales en las herramientas informáticas:

Se conoce por realimentación (*feed back*) el proceso en virtud del cual al realizar una acción global, sucesión de acciones parciales, con el fin de alcanzar un determinado objetivo, se realimenta continuamente información sobre los efectos de las acciones previas, de modo que las acciones sucesivas tengan presentes los resultados de aquellas acciones pasadas ... El mecanismo de realimentación consiste en una cadena sucesiva de acción - resultado (estado)- realimentación de información - análisis de la discrepancia con el objetivo - nueva acción, en su caso, y así sucesivamente³².

Las máquinas informáticas pueden llevar a cabo estos bucles sin ningún problema, debido a que están basadas en la continua realimentación de la información por medio de lenguajes de programación. Ello permite iterar las acciones modificando las condiciones iniciales y de contorno, con lo cual se accede a una nueva modalidad de experimentación, basada en las simulaciones informáticas. En términos filosóficos, la informática amplía enormemente el campo de las *acciones posibles*, que es muy distinto al de los mundos posibles. Modificando los

31. Para esos desarrollos, ver M. Minsky y otros, *Robótica: la última frontera de la alta tecnología*, Barcelona, Planeta, 1986.

32. Aracil, 1986, o.c., p. 82.

parámetros y la programación, es posible simular muchas más acciones y procesos que con los modelos matemáticos. Por ejemplo, se pueden representar las posibles ondas de expansión de una bomba, el movimiento de varios aviones en un espacio aéreo, las posibles trayectorias de un misil, los efectos destructivos de un depredador sobre un banco de peces, la evolución previsible de una cosecha, la situación de las capas altas de la atmósfera, la evolución de una economía en función de unos datos macroeconómicos u otros, los resultados de explotación de una empresa, etc. La informática posibilita un nuevo tipo de experimentación y predicción, que no es determinista sino probabilística. Todo ello es imprescindible a la hora de calcular los efectos, las consecuencias y los riesgos de las acciones tecnocientíficas, tanto porque no se dispone de otros instrumentos de análisis como, sobre todo, porque la realimentación de los datos permite llevar a cabo múltiples experimentos de una manera virtual. Antes de operar y experimentar materialmente, las simulaciones informáticas permiten analizar múltiples escenarios o estados posibles, lo cual implica un enorme ahorro de costes económicos, ecológicos y de tiempo. De ahí que la informática sea el instrumento principal para investigar el dominio de las acciones posibles, incluidas las acciones de las múltiples infomáquinas que reproducen el comportamiento de las máquinas reales. Por otra parte, puesto que las máquinas son un tipo de sistemas, la informática permite asimismo investigar la evolución de otros tipos de sistemas (físicos, químicos, biológicos, económicos, sociales, urbanos, etc., incluidos los sistemas SCyT de política científico-tecnológica). Como señala Aracil, «se puede hacer de ella una réplica potencial de cualquier sistema que tratemos de estudiar»³³. Puesto que en esta obra hemos optado por una ontología sistémica a la hora de estudiar la tecnociencia, es lógico que atribuyamos una gran importancia metodológica a la informática, al ser el instrumento formal más adecuado para estudiar los diversos sistemas, tanto desde una perspectiva estática como dinámica.

La emergencia de la informática en la segunda mitad del siglo XX tiene una gran importancia filosófica y científica, entre otras razones porque permite representar sistemas complejos, que no son tratables mediante los recursos de la matemática clásica. Von Neumann diseñó el ENIAC y

el EDVAC con el fin de resolver problemas no lineales que, siendo muy importantes para la física, no eran abordables mediante el Cálculo Diferencial e Integral, ni tampoco mediante los procedimientos del Álgebra. Por otra parte, la informática ha permitido el desarrollo de la cibernética (N. Wiener) y ha generado modelos muy importantes para la simulación en dinámica de sistemas (Prigogine). Como indica Javier Aracil, por sistema se entiende «una entidad compleja, formada por partes en interacción adecuadamente coordinadas»³⁴. Ahora bien, «esas partes no tienen sentido más que en la medida en que se integran en la unidad de orden superior que es el propio sistema»³⁵. Pues bien, «por comprender el funcionamiento de un sistema se entiende, habitualmente, el conocer cómo las partes de las que está formado se influyen entre sí, de modo que de la adecuada coordinación de estas influencias se desprenda el funcionamiento global del sistema»³⁶. Ello es posible gracias a la construcción de modelos y simulaciones informáticas. Una vez analizado el comportamiento de un sistema, la informática puede construir otro sistema artificial (denominado modelo) que tenga las mismas componentes del sistema estudiado y se comporte análogamente:

el estudio de un sistema concreto, mediante la dinámica de sistemas, conduce a la construcción de un modelo que es susceptible de ser programado en un computador; de este modo, en este último se tiene una réplica o copia del sistema concreto objeto de estudio: con ayuda del computador se obtiene la evolución a lo largo del tiempo de las magnitudes consideradas relevantes del sistema estudiado³⁷.

Puesto que la ciencia se ha ido ocupando de estudiar sistemas cada vez más complejos, la informática se ha convertido en indispensable para la investigación científica. En el apartado 2.3 mencionaremos múltiples ejemplos de esta omnipresencia de la informática en la tecnociencia actual. Hablando en términos generales, cabe afirmar que las diversas herramientas informáticas generan una nueva representación del cono-

34. J. Aracil, *Prólogo* a la obra de S. Martínez y A. Requena, *Dinámica de sistemas*, Madrid, Alianza, 1986, 2 vols., p. I.

35. J. Aracil, *Ibid.*

36. *Ibid.*, p. III.

37. *Ibid.*, p. IV.

33. Aracil, 1986, *o.c.*, p. 88.

cimiento, por una parte, y también del cambio y la evolución de los sistemas físicos, biológicos, etc., cosa que no era posible con la matemática tradicional, centrada en lo continuo, no en lo discreto. Con mayor o menor precisión y adecuación, la informática permite representar sistemas de gran complejidad (físicos, químicos, biológicos, sociales, económicos, etc.), ampliándose así el campo de la investigación científica. Otro tanto cabe decir de los sistemas tecnológicos, que han sido radicalmente transformados por la irrupción de la informática, sobre todo en lo que respecta al control de su funcionamiento. La automatización del funcionamiento de las máquinas es el gran logro de la informática, habiéndose incorporado a los más diversos sectores económicos y sociales. Pues bien, otro tanto ocurre en el caso de la actividad científica, parte de la cual está hoy en día automatizada, y por ende controlada por artefactos automáticos.

La mediación informática es uno de los principales requisitos de la emergencia de la tecnociencia. Frente a las ciencias matematizadas (en mayor o menor grado) de la época moderna, la gran mayoría de las tecnociencias están informatizadas, y por ende mediatizadas por la tecnología en las propias representaciones del conocimiento científico, así como en las operaciones que se llevan a cabo con los datos. La tecnociencia se basa en un nuevo formalismo, apto para representar las acciones, no sólo los conocimientos. A diferencia de la simple macrociencia, la tecnociencia propiamente dicha requiere la informatización de la actividad científica e ingenieril. La noción de tecnociencia, entendida como info-ciencia, o ciencia informatizada, es más precisa que la de macrociencia, porque tiene en cuenta factores más relevantes que el simple incremento del tamaño de la ciencia. En el paso de la ciencia a la tecnociencia no sólo cambia el tamaño. También, y ante todo, la forma. Y no sólo la forma de representar el conocimiento, sino ante todo la forma de accionar científicamente.

o) Tecnociencia y sociedad de la información y el conocimiento

La macrociencia surgió como un desarrollo de la sociedad y, como vimos, supuso una industrialización del conocimiento científico. La tecnociencia, en cambio, está vinculada a una nueva modalidad de sociedad, que

ha empezado a configurarse en las dos últimas décadas del siglo XX: la sociedad de la información y el conocimiento. Hay muchas diferencias entre ésta y la sociedad industrial, pero la más importante para nuestro objetivo consiste en el nuevo *status* económico del conocimiento validado y contrastado, y en particular del conocimiento científico.

La información y el conocimiento pasan a ser una nueva fuente de riqueza y poder. Por ello, el conocimiento científico deviene un bien básico para las grandes empresas y agencias de poder. En lugar de controlar, acumular y manufacturar las materias primas, con el fin de obtener beneficios gracias a ello, la economía informacional se basa en el hallazgo, elaboración y comercialización de *yacimientos de conocimiento*. La ciencia básica adquiere así una enorme relevancia económica y política, por ser una gran fuente de riqueza y de poder. Los poderes económicos, políticos y militares tienden a apropiarse del conocimiento científico, generando para ello Agencias y Departamentos de investigación, desarrollo e innovación. Las comunidades científicas y tecnológicas son capaces de generar *noo-riquezas*, por usar la terminología de Sáez Vacas³⁸. El desarrollo de la sociedad industrial y las grandes guerras del siglo XX mostraron fehacientemente que dicha modalidad de riqueza es uno de los motores de la economía y de la sociedad. Los poderes de la nueva modalidad de sociedad tienen claro que la producción, gestión y rentabilización del conocimiento validado es indispensable para sus propios intereses, y por ello se introducen en el sector de las noo-riquezas, hasta entonces cultivado básicamente por científicos e ingenieros.

El tránsito de la macrociencia a la tecnociencia se produce con la emergencia de la sociedad de la información y el conocimiento. Se siguen manteniendo los macroproyectos de investigación, que son el motor de la economía informacional, pero también se promueven acciones de explotación de ámbitos más pequeños de la noosfera. El nuevo sistema científico-tecnológico, que se había configurado en torno a unas pocas disciplinas, se generaliza a todos los ámbitos de la ciencia y la tecnología, sean éstos pequeños o grandes. La tecnociencia no es cuestión de grandes escalas. Los pequeños proyectos de investigación e innovación pasan a tener gran importancia, siempre que sean diseñados y gestionados conforme al nuevo modelo de organización de la actividad tecno-

38. F. Sáez Vacas, 2000, *o.c.*

científica. Las pequeñas minas de conocimiento pueden ser igual de rentables que las grandes, e incluso más. La tecnociencia se basa en la explotación sistemática de los yacimientos de conocimiento científico y tecnológico, en la medida en que dichas vetas, sean pequeñas o grandes, tienen un valor considerable en la sociedad de la información.

Desde una perspectiva axiológica, la novedad estriba en lo siguiente: el conocimiento había sido considerado como un bien epistémico. Ningún científico de la época moderna tuvo dudas al respecto. Es preciso buscar el conocimiento, porque éste es un bien en sí, independientemente de que sea aplicable o no, o de que rompa con los sistemas previos de saber. Con la llegada de la tecnociencia, la información y el conocimiento siguen siendo bienes epistémicos, pero devienen bienes tecnológicos, económicos, militares y políticos. Dicho de otra manera: el conocimiento científico pasa a ser valorado en función de nuevos sistemas de valores. Consecuentemente, surgen dudas sobre la bondad universal de dicho conocimiento. Un descubrimiento científico con valor estratégico en el ámbito militar, por ejemplo, es un bien indudable para quienes poseen dicho conocimiento, y a la vez un mal para quienes no lo poseen y soportan las consecuencias de su aplicación, una vez desarrollado tecnológicamente e implementado para los campos de batalla. Las bombas de Hiroshima y Nagasaki son un punto de no retorno para quienes ingenuamente creyeron que el conocimiento siempre es un bien. En otras palabras: el conocimiento tecnocientífico ha dejado de ser un bien en sí para ser un bien desde unos puntos de vista y un mal desde otros.

3. PLURALIDAD DE TECNOCIENCIAS

Así como en el siglo XIX se fueron diferenciando una pluralidad de ciencias, algunas tradicionales (matemáticas, lógica, astronomía, medicina, física, química, biología, geología), otras nuevas (economía, sociología, psicología, antropología, etc.), en base a las cuales se organizó el edificio científico del siglo XX, durante el siglo XXI habrá que distinguir entre dichas disciplinas y sus correspondientes tecnociencias: tecnomatemáticas, tecnológica, tecno-astronomía, tecnofísica, tecnoquímica, tecnobiología, tecnomedicina, tecnogeología, tecnoeconomía, tecnosociología, tecnopsicología, etc. Puesto que hemos afirmado la emergencia de una nueva

modalidad de actividad científico-tecnológica, es preciso contrastar si éste cambio se ha producido en las diversas disciplinas, así como cuándo, cómo y dónde. Ello requeriría estudios muy detallados de la evolución de cada disciplina científica (y tecnológica), tarea que de ninguna manera pretendemos afrontar.

En este apartado enumeraremos múltiples ejemplos de tecnociencias específicas, aunque sea de manera muy sumaria. Con ello, el concepto de «tecnociencia» irá adquiriendo una determinación extensional, no sólo intensional, como hasta ahora. Nos limitaremos a evocar brevemente algunos de los principales ejemplos, sin pretender sistematizar el estudio ni el desarrollo de cada una de las tecnociencias.

a) Tecnomatemáticas

Aunque la macrociencia surgió históricamente en el ámbito de la física, empezaremos nuestro examen con la tecnomatemática, y ello por tres razones. En primer lugar, porque el proyecto ENIAC fue uno de los primeros cánones de la macrociencia. En segundo lugar, porque la informática puede ser considerada como la modalidad principal de tecnomatemática. En tercer lugar, porque el paso de las matemáticas a las tecnomatemáticas ilustra bien la diferencia entre macrociencia y tecnociencia. Las tecnomatemáticas pueden ser macro-, pero también micro-, sin dejar de estar mediatizadas por las tecnologías informáticas. Puesto que hemos subrayado la importancia que atribuimos a la informática en el desarrollo y consolidación de la tecnociencia, su propia emergencia requiere una atención especial.

La tecnomatemática surgió como *computing sciences*, centrándose en una de las tareas más tradicionales de los matemáticos: el cálculo numérico y simbólico. A partir de los años 30 se produjo una gran efervescencia en este terreno. En 1930, Vannevar Bush construyó en el MIT un *analizador diferencial* que resolvía ecuaciones importantes para el estudio de los circuitos eléctricos. El alemán Konrad Zuse ideó una *calculadora universal*, la Z3, terminada en 1941. Se trataba de una pequeña máquina con un lector de bandas, una consola para el operador y dos armarios con 2.600 relés, que podía hacer varias operaciones matemáticas, por ejemplo multiplicaciones y raíces cuadradas con números de 22 cifras. Los va-

lores iniciales había que introducirlos a mano, por lo que mostraba deficiencias técnicas importantes. Los usuarios de dichas máquinas eran científicos, pero también militares: la Z4 de Zuse fue usada en 1943 para operaciones contra los barcos aliados en el Mediterráneo³⁹. Otro gran proyecto que conviene mencionar fue el MARK I, iniciado por Howard H. Aiken en Harvard en 1937. Introdujo un registro de los datos, que posteriormente se convertiría en la memoria de los ordenadores. Financiado por IBM, el MARK I fue presentado en 1944 y ofrecido de inmediato a instancias militares por su potencia de cálculo. Todas estas máquinas eran electromecánicas. La introducción de la tecnología de los tubos de vacío (Atanasof y Berry, con su ABC de 1939) permitió crear las primeras calculadoras electrónicas, así como la representación digital de los números, frente a la decimal.

El ENIAC de la Moore School de Pennsylvania, iniciado en 1943 y perfeccionado en su diseño por von Neumann en 1945, logró integrar varias mejoras técnicas surgidas durante los años 30. Lo construyeron Eckert, un ingeniero, Mauchly, un consultor, y Goldstine, encargado militar de dicho proyecto, que fue clasificado como secreto (proyecto PX de la Oficina de Material Balístico). El ENIAC tenía 17.648 tubos de vacío, 70.000 resistencias, 10.000 capacidades, 1.500 relés y 6.000 conmutadores manuales, por lo que era una máquina grande y compleja, cuyo funcionamiento requería muchas habilidades técnicas. Si se estropeaba un solo tubo, el cálculo quedaba interrumpido y había que volver a empezar. Costó una fortuna, 500.000 dólares de aquella época, pero funcionaba a gran velocidad y era a la vez programable y universal, es decir, aplicable a diversos tipos de cálculos. Su consumo de electricidad y su emisión de calor era enorme, por lo que tenía que ser refrigerado continuamente. Tras la incorporación de von Neumann al equipo, el diseño del aparato mejoró mucho, así como su automatismo⁴⁰. Así surgió el EDVAC, heredero directo del ENIAC, y tras él una saga de ordenadores diseñados

39. Ver P. Breton, *Historia y crítica de la informática*, Madrid, Cátedra, 1989, pp. 69-81.

40. No hay que olvidar que la segunda guerra mundial también produjo enormes avances en las tecnologías de control automático, que habían sido impulsadas desde el sector de la ingeniería naval. El cohete alemán V-2 y el bombardero norteamericano B-29 introdujeron ese tipo de tecnologías en el campo de batalla, con espectaculares resultados.

conforme a la «arquitectura von Neumann». Financiado por la *Army* norteamericana, puede ser considerado como el primer ordenador en el sentido actual del término, y por tanto como el paradigma inicial de la macromatemática. La novedad principal consistió en que el programa que ordenaba la ejecución de los cálculos se grababa en la misma máquina, es decir, la idea originaria de lo que hoy denominamos *software*: «la nueva máquina, contrariamente a sus predecesoras, ya no calculaba: trataba información binaria, lo que le permitía, indirectamente, efectuar cálculos»⁴¹. Cabe decir que, si el ENIAC fue el canon de la macromatemática, el EDVAC prefiguraba lo que nosotros denominamos tecnomatemática, en la medida en que era una máquina diseñada para procesar información, no sólo para hacer cálculos⁴². De ahí la importancia que atribuimos al proyecto ENIAC-EDVAC para investigar el origen de la macromatemática y la tecnomatemática.

No nos extenderemos en detalles históricos, que hoy en día son perfectamente accesibles. Del proyecto ENIAC-EDVAC nos interesa subrayar, por una parte, su enorme envergadura y complejidad, por otra su gran eficacia para computar rápidamente trayectorias de proyectiles y ondas expansivas y, por supuesto su carácter de proyecto militar, con una importante componente industrial e ingenieril. Mas no hay que olvidar el profundo conocimiento científico que aportó von Neumann, tanto del campo de la física y las matemáticas como de las emergentes teorías de la computación, algunas de ellas vinculadas a la neurofisiología. Significativamente, tras finalizar la guerra mundial surgieron importantes divergencias entre los miembros del equipo que lo habían diseñado y construido. Eckert y Mauchly quisieron comercializar la máquina: de hecho, acabaron fundando UNIVAC. El Ejército construyó nuevos prototipos más potentes para usos militares. Von Neumann se empeñó en utilizarlo ante todo para la investigación científica y se dedicó a dar conferencias por todo el mundo para dar a conocer el invento. El conflicto acabó en tribunales y ulteriormente en una dura competencia comercial entre IBM y UNIVAC. Por tanto, ya en los albores de la tecno-

41. P. Breton, 1989, *o.c.*, p. 93.

42. Von Neumann conocía los trabajos de Turing sobre cálculo simbólico y aplicó teorías neurofisiológicas de Pitts y McCulloch para que EDVAC se asemejara en su estructura al cerebro humano.

matemática aparecieron muchas de las características distintivas que hemos señalado, aunque aquí no vayamos a estudiarlas en detalle.

En las décadas ulteriores esta tendencia «tecnomatematizadora» continuó desarrollándose. Ramas relativamente complejas de las matemáticas como el Álgebra y el Cálculo Diferencial e Integral fueron absorbidas por la tecnomatemática. Hoy en día existen numerosos paquetes matemáticos (*Macsyma, Reduce, Mathematica, SPSS*, etc.) que permiten llevar a cabo automáticamente operaciones que los matemáticos tardaron siglos en poder dominar, como la resolución de ecuaciones algebraicas, el cálculo diferencial, la resolución de integrales o las distribuciones estadísticas. Otro tanto cabe decir de la Geometría, puesto que los ordenadores permiten trazar y resolver figuras geométricas con mucha mayor facilidad y rapidez que con las técnicas clásicas. También han surgido nuevas modalidades de geometría, como la *Turtle Geometry*, que pueden ser llamadas con rigor tecnogeometrías (o infogeometrías). Todo ese *software* matemático está basado en las propias teorías matemáticas, pero incrementa considerablemente la capacidad de operar y, sobre todo, genera nuevos objetos matemáticos, por ejemplo los fractales. Los ordenadores llevan a cabo numerosas acciones matemáticas *mejor que* las personas, lo cual no implica que todo pueda ser hecho por los ordenadores. La tecnomatemática no implica la desaparición de las matemáticas. Lo que ocurre es que ha aparecido un nuevo modo de *hacer matemáticas*.

Los ejemplos abundan: en Teoría de Números ha surgido una nueva rama, la *Computational Number Theory*, que tiene gran utilidad para la criptografía y para abordar algunos problemas clásicos, como la conjetura de Riemann. Buena parte de los problemas de Álgebra Elemental pueden ser abordados mediante programas informáticos de *Computer Algebra*, lo cual no impide que se siga investigando otras estructuras algebraicas con los métodos tradicionales. Otro tanto cabe decir del Análisis Matemático, ámbito en donde ha habido grandes progresos en su informatización, sin que ésta haya sido exhaustiva, ni mucho menos. Uno de los ejemplos más significativos de tecnomatemática fue la demostración del teorema de los cuatro colores en Topología, sobre todo porque introdujo cambios radicales en una de las acciones más típicas de las matemáticas: la *acción de demostrar*, cuyo resultado es la demostración. Una parte importante de dicha demostración sólo puede ser llevada a cabo mediante el ordenador, de modo que la mediación tecnológica

llegó también a las demostraciones⁴³. En cambio, pese a los esfuerzos que se han hecho en inteligencia artificial para la demostración automática de teoremas, se está muy lejos de lograrlo, salvo en casos sencillos. Sin embargo, las investigaciones relacionadas con la automatización de las demostraciones geométricas, por ejemplo, han acarreado importantes avances en otros ámbitos de la tecnociencia, como la robótica, la visión artificial (*machine vision*) o la geometría de sólidos⁴⁴.

Un tercer canon de tecnomatemática fue la creación en los años 80 de un nuevo lenguaje matemático, *TEX*, diseñado por Knuth y ampliamente difundido por todo el mundo. Hoy en día, los matemáticos escriben en alguna de las diversas variantes de *TEX*, manteniendo un lenguaje informático común a todos ellos. Esa técnica de info-escritura matemática ha venido a añadirse a los diversos sistemas de signos utilizados por los matemáticos, no a eliminarlos. Un cuarto ejemplo es la infografía (Sutherland, 1963) y podrían mencionarse muchísimos más. La historia de la tecnomatemática queda por hacer, en la medida en que no coincide plenamente con la historia de la informática, aunque ambas hayan surgido de un mismo embrión.

La influencia no sólo se produce en un sentido, de las tecnologías sobre las matemáticas, sino también en sentido contrario. El enorme desarrollo de los algoritmos informáticos, por ejemplo, ha generado nuevas teorías matemáticas: Algorítmica, Teoría de Funciones Recursivas, Teoría de la Complejidad Computacional, Inteligencia Artificial, etc. No sólo hay tecnologías de la computación, sino también ciencias de la computación. La tecnociencia no sólo genera nuevas tecnologías (como la Robótica), también nuevas ciencias y nuevas teorías. Es una de las razones para llamarla tecnociencia, no simplemente tecnología.

Aunque en principio las tecnomatemáticas exigían grandes equipamientos informáticos, cosa que sigue ocurriendo (ordenadores *CRAY*, interconexión de múltiples ordenadores a través de Internet para investigar determinados problemas matemáticos, etc.), no es menos cierto que las

43. El teorema de los cuatro colores no es el único ejemplo. Hay otros muchos teoremas para cuya demostración son imprescindibles los ordenadores, por ejemplo en teoría de grupos finitos.

44. Ver, por ejemplo, D. Kapur y J. L. Mundy (eds.), *Geometric Reasoning*, Cambridge, MIT Press, 1989.

tecnomatemáticas se desarrollan actualmente con equipamientos informáticos relativamente pequeños. Por tanto, siendo el tamaño un rasgo distintivo entre la ciencia y la macrociencia, no es el principal entre la ciencia y la tecnociencia. Mucho más importante es el profundo cambio que la informática ha suscitado en la actividad matemática, parte de la cual sería inviable hoy en día sin esa mediación tecnológica, empezando por la acción de escribir y publicar. A lo largo de la historia, siempre que ha surgido un nuevo formalismo matemático los cambios han sido ingentes en casi todas las ciencias. Este es el caso de la aparición del nuevo formalismo informático, que ha sido el principal factor de la emergencia de la tecnomatemática, conjuntamente con las profundas transformaciones que han experimentado las comunidades matemáticas, parte de las cuales han devenido empresas tecnomatemáticas. La criptología y la inteligencia artificial son dos de los ejemplos canónicos, pero podrían aportarse otros muchos, como la propia Estadística, cuyo desarrollo, aplicación y enseñanza resulta imposible hoy en día sin ayuda informática.

b) Tecnoastronomía

Es otro de los grandes ejemplos de tecnociencia, sobre todo porque afecta a una de las disciplinas científicas más antiguas, junto a las matemáticas y la medicina. Así como el telescopio de Galileo revolucionó la astronomía del siglo XVI y XVII, así también las nuevas tecnologías de observación, computación y representación de datos han modificado radicalmente nuestra concepción del cosmos y, además, la investigación astronómica. A lo largo del siglo XX se ha producido una profunda revolución en Astronomía, tanto desde el punto de vista teórico como desde la perspectiva praxiológica. A nuestro modo de ver, se trata de una revolución tecnocientífica, suscitada ante todo por los cambios de la práctica astronómica, y más concretamente de los aparatos de observación, que en la actualidad son enormes equipamientos que exploran el espacio a distancias siderales.

La primera rama de la astronomía que dio el paso hacia la macrociencia fue la radio-astronomía⁴⁵. Sin embargo, nos centraremos en la as-

45. Ver David O. Edge y M. Mulkey, *Astronomy Transformed*, New York, Wiley, 1976. El National Radio Astronomy Observatory fue la institución clave para ello. Fue una ins-

tronomía óptica, y más concretamente en el programa del telescopio espacial Hubble, porque ilustra mejor el paso de la astronomía a macroastronomía, y luego a tecnoastronomía. Los grandes telescopios (Wilson, Palomar, etc.) existían desde antes de la segunda guerra mundial, e incluso cabe decir que siempre los ha habido en la historia de la astronomía. La tecnoastronomía del proyecto Hubble no depende del tamaño ni del coste de los instrumentos, siendo ambos grandísimos, sino de un cambio profundo en la práctica investigadora, como veremos a continuación. También nos interesa el hecho de que dicho macroproyecto fue impulsado por instancias «externas» a la comunidad de astrónomos ópticos, quienes fueron muy escépticos al principio, si no críticos⁴⁶.

El agente tecnocientífico que impulsó el proyecto Hubble desde 1970 fue la NASA, Agencia Científica norteamericana especializada en investigación espacial. El proyecto fue duramente debatido durante tres años y aprobado finalmente por la Casa Blanca y el Congreso estadounidense, aunque su desarrollo hasta 1990 sufrió muchos avatares, y en particular un parón presupuestario en junio de 1974. La razón invocada fue que no era uno de los cuatro proyectos seleccionados como prioritarios por la National Academy of Sciences. En efecto, en 1972 el Comité de Astronomía de la Academia de Ciencias no lo había considerado urgente para la década de los 70, relegando su realización a los años 80, y como segunda prioridad. Había otros proyectos alternativos, como la sonda espacial a Júpiter (proyecto Galileo), que interesaba en particular a los astrónomos planetarios. Sin embargo, un *lobby* formado por la NASA, las empresas involucradas en la construcción del telescopio espacial y algunos astrónomos concretos (Bahcall, Schwarzschild y Spitzer, en particular este último), consiguió superar el escepticismo de la mayoría de astrónomos⁴⁷, pactando algunas modificaciones en el proyecto inicial. La Cá-

titución federal, lo cual permitió su uso por parte de la comunidad científica, pero también por los militares, puesto que desarrolló tecnologías que fueron aplicables a la seguridad nacional.

46. Así lo señala Robert W. Smith en su estudio del caso, «The Biggest Kind of Big Science: Astronomers and the Space Telescope», en B. Galison y P. Hevly, 1992, *o.c.*, p. 185. Seguiremos el análisis realizado por Smith (*o.c.*, pp. 184-211). Para un estudio más detallado, véase su obra *The Space Telescope: A Study of NASA, Science, Technology and Politics*, New York, Cambridge Univ. Press, 1989.

47. Los astrónomos de la costa oeste, donde las condiciones meteorológicas son mucho mejores para la astronomía terrestre, estaban en contra del proyecto y consideraban

mara de Representantes había exigido cofinanciación internacional, momento en el que entró la European Space Agency europea (ESA). Desde el punto de vista científico, el diseño inicial se orientaba a la astronomía estelar y galáctica, de gran interés para la cosmología. Un cambio técnico, la sustitución del detector fotográfico inicialmente previsto por otro que fuera sensible a las zonas rojas del espectro, permitió que el diseño del Hubble fuera operativo para la observación de los planetas del sistema solar, condición requerida por otro comité de la Academia de Ciencias. Presiones ulteriores a favor del Proyecto Galileo obligaron a buscar nuevamente una solución de compromiso. Como veremos en el capítulo 3, ésta es una de las maneras en que las controversias tecnocientíficas se desarrollan: mediante pugnas por las prioridades de unos y otros macroproyectos entre las diversas subcomunidades científicas, las cuales buscan aliados en Agencias gubernamentales, parlamentarios, políticos, comités, etc., con el fin de sacar adelante las iniciativas que les interesan.

El telescopio espacial lo empezó a construir la NASA en 1977, contratando la mayor parte de la tarea a empresas privadas norteamericanas. Fue lanzado al espacio en 1990 y desde entonces ha funcionado razonablemente bien. Puesto que el proyecto de un telescopio espacial surgió en los años 60, el proyecto Hubble cubre por completo la etapa de transición de la macrociencia a la tecnociencia en el ámbito de la astronomía óptica. El coste estimado del primer proyecto (1965) fue de un billón de dólares. El coste real fue muy superior.

El objetivo principal del telescopio espacial consistía en evitar las interferencias de la atmósfera para los telescopios ópticos e incrementar el grado de precisión de las observaciones. La astronomía óptica, a diferencia de la radio-astronomía, siempre había estado limitada a la zona visible del espectro electromagnético. El telescopio espacial, en cambio, puede observar en el intervalo del espectro que va de los 120 nanómetros a 1 milímetro, ampliando considerablemente la capacidad observacional de la disciplina. Fue una mejora tecnológica importante que permitió ampliar una capacidad de acción científica, la observación. Aunque el Hubble no

que era una iniciativa que sólo interesaba a los astrónomos de la costa Este. La American Astronomical Society no ejerció presión alguna a su favor. Muchos astrónomos consideraban que era un proyecto basado en intereses políticos de la NASA, no en ventajas científicas. Asimismo temían que el enorme coste del proyecto menguara la financiación para otras investigaciones astronómicas.

logró alcanzar la capacidad observacional para la que había sido diseñado, debido a la aparición de un fenómeno poco estudiado, la aberración esférica en las enormes lentes de las que estaba provisto, sin embargo mejoró considerablemente la astronomía óptica, contribuyendo positivamente al desarrollo de la cosmología. Numerosas teorías científicas han podido ser contrastadas gracias al Hubble. Pese a ello, la comunidad científica, salvo algunas excepciones, no veía al principio la necesidad de llevar a cabo una inversión económica tan grande, puesto que los telescopios terrestres en buenas condiciones atmosféricas podían ser más potentes, aunque tuvieran menos capacidad de resolución. En resumen, las expectativas epistémicas suscitadas por el telescopio espacial no justificaban, a juicio de los astrónomos ópticos, la enorme inversión ni las desventajas derivadas de esa dependencia de un único aparato, al que luego sería muy difícil mejorar técnicamente, por estar en el espacio, no en tierra. Por otra parte, ninguna institución científica, por poderosa que fuese, estaba en condiciones de asumir el altísimo coste de la operación. El liderazgo de la NASA fue absolutamente necesario para que el proyecto se llevara a cabo. Ya en las fases de diseño del Hubble, la NASA decidió convertir al Hubble en una «*national facility*», es decir, puso los numerosos datos que obtendría el Hubble cuando estuviera operativo a disposición de todos los astrónomos norteamericanos, y no sólo de unas cuantas instituciones. Esta decisión hizo gravitar el coste del proyecto sobre la Administración Federal y la propia NASA, pero contribuyó decisivamente a que el proyecto Hubble, entonces denominado *Large Scale Telescope*, tuviera mayor aceptación entre los astrónomos ópticos, a los que se les prometían datos en gran cantidad para sus futuras investigaciones, incluidos los astrónomos planetarios. La macro-astronomía óptica, entonces en fase de proyecto, prometía generar nuevos conocimientos, siempre que la tecnología funcionara. El proyecto comenzó a tener más adeptos, frente a la tradición de los telescopios asentados en tierra y fijos. Como subraya Smith, «en los primeros años de la NASA, la investigación en astronomía espacial fue asunto de un pequeño número de investigadores principales y de sus equipos asociados, ubicados en una universidad o en un laboratorio»⁴⁸. El proyecto Hubble modificó radicalmente esta cultura de investigación atomizada, forzando la creación

48. R. W. Smith 1992, *o.c.*, p. 192.

de redes de investigación entre universidades y centros de investigación interconectados a través del Hubble.

Obviamente, la NASA tuvo que resolver el problema de la transmisión de los datos desde el espacio a la tierra, para lo cual fue imprescindible la creación de redes telemáticas. En una palabra, del observatorio localizado en una determinada institución se pasó al observatorio-red, con una gran cantidad de astrónomos conectados al Hubble para poder acceder a los datos. La informatización de la investigación astronómica resultó asimismo necesaria, al igual que la firma de contratos de colaboración con la NASA por parte de las universidades y observatorios astronómicos beneficiarios.

Comprobamos con ello que este proyecto macrocientífico fue convirtiéndose en tecnociencia en el pleno sentido del término durante la fase previa a su realización, es decir, durante la construcción del Hubble. En su fase de diseño en los años 60 y a principios de los 70, el Hubble y los demás telescopios espaciales proyectados eran únicamente macrociencia. Conforme el proyecto se iba configurando, surgieron nuevas necesidades, no sólo científicas o tecnológicas, sino también de financiación, colaboración y, en particular, de cambios en la organización de la actividad astronómica. Toda una cultura de investigación fue transformada gracias al proyecto Hubble. Cuando el telescopio fue lanzado al espacio, la comunidad de astrónomos ópticos se había transformado radicalmente. Había pasado a integrarse en una *empresa tecnocientífica*, liderada en este caso por una Agencia Gubernamental. Procesos similares ocurrieron en otros sectores de la astronomía, aunque aquí no vayamos a ocuparnos de ellos.

El Hubble ha sido decisivo para la investigación astronómica de finales del siglo XX, por haber generado muchísimo conocimiento, tanto observacional como teórico. Las verificaciones, comprobaciones y falsaciones de conjeturas han estado a la orden del día desde que el Hubble fue lanzado y estuvo operativo en la década de los 90. Pero lo importante es que, antes de que surgiera nuevo conocimiento, la práctica científica se había transformado radicalmente. Esta es una de las principales tesis que mantenemos. Abundan las obras de cosmología en las que el Telescopio Espacial Hubble es mencionado una y otra vez como un instrumento decisivo para la obtención de conocimiento astronómico. En cambio, escasean los estudios sobre el cambio previo en la estructura

de la investigación astronómica, que había sido provocado por dicho proyecto mucho antes de que el aparato fuera operativo. La revolución tecnocientífica en astronomía óptica fue impulsada por el proyecto del telescopio espacial, no por sus resultados epistémicos. Una vez realizada esa revolución, surgieron grandes cambios teóricos. Cuando hablamos de tecnociencia es preciso analizar primero los cambios en la práctica científica, que son los que caracterizan ese nuevo tipo de revoluciones. Independientemente del efecto que han tenido los datos procedentes del Hubble para los modelos cosmológicos alternativos que estaban en disputa a finales del siglo XX, la revolución tecnocientífica se había producido antes en dicha disciplina. La implantación en la astronomía óptica de un nuevo modo de producción de conocimiento científico es el signo distintivo de la tecno-astronomía frente a la astronomía tradicional.

Conviene subrayar que los grandes proyectos tecno-astronómicos, como el Hubble, no sólo generan nuevos instrumentos de observación, sino que también requieren nuevos sistemas de transporte, telecomunicaciones y procesamiento de la información. Las lentes de los actuales astrónomos (a quienes se denomina astrofísicos) no son fijas, sino móviles, y son transportadas a miles de kilómetros del espacio terrestre por cohetes espaciales. Ello permite mejorar la observación y acceder a objetos astronómicos que antes eran inobservables, así como detectar nuevos fenómenos. Para ello es imprescindible que los datos obtenidos por el telescopio espacial sean enviados a la Tierra en forma completamente automatizada y a través de redes telemáticas. No hay Hubble operativo ni exploración de los planetas y las galaxias sin avances en el ámbito de la informática y las telecomunicaciones. Las TIC son uno de los requisitos de la tecnoastronomía, y en general de la investigación tecnocientífica. Por tanto, las acciones astronómicas clásicas y los datos que de ellas se obtienen están completamente mediatizados por las diversas tecnologías que permiten obtenerlos y transmitirlos a los ordenadores terrestres. Estamos de nuevo ante un claro ejemplo de tecnociencia, que ha traído consigo un enorme desarrollo teórico, no sólo técnico. Cabe decir que buena parte de la astronomía contemporánea se ha convertido en tecnoastronomía y que las diversas teorías cosmológicas que proponen los físicos teóricos están basadas todas ellas en tecnodatos o tecnoevidencia empírica. La noción de evidencia empírica está mediatizada tecnológicamente.

te, y ello necesariamente, al igual que las demostraciones tecnomatemáticas. Un nuevo argumento, esta vez epistemológico y metodológico, para apoyar la distinción entre ciencia y tecnociencia.

Conviene asimismo resaltar el carácter transdisciplinar de las investigaciones tecnoastronómicas. La construcción y el funcionamiento de los tecno-observatorios depende de una multitud de disciplinas científicas y tecnológicas, pero los resultados que se derivan de un proyecto así no sólo inciden sobre la astronomía, sino también sobre otras ramas de la ciencia y la ingeniería. La transdisciplinariedad y la simbiosis entre ciencia y tecnología es uno de los rasgos distintivos de la tecnociencia, frente a la compartimentación disciplinar de las ciencias y las tecnologías de la Era Moderna. La tecnoastronomía proporciona múltiples ejemplos de ello, al igual que otras tecnociencias. Baste pensar que, por influencia de la tecnoastronomía, la denominación 'geología' ha dejado de ser la más adecuada, puesto que ahora es posible hacer estudios «geológicos» de objetos que no son la Tierra: los planetas y sus satélites, los cometas, las estrellas, etc.

La tecnociencia también conduce a replantear algunos problemas filosóficos clásicos. Mencionaremos un ejemplo extremadamente sencillo, que nos parece suficientemente ilustrativo. Supongamos el enunciado «hay agua en Marte». ¿Es verdadero o falso? Para dilucidar esta cuestión es imprescindible la tecnociencia, puesto que hay que desplazar naves espaciales cerca de Marte, eventualmente depositar robots en su superficie, automatizar por completo la acción de observar, transmitir los datos obtenidos a la Tierra a través de redes telemáticas, etc. Hecho esto, los astrónomos, que habrán de conocer a fondo las técnicas de representación informática de los datos transmitidos, llamarán a los químicos para que verifiquen la verdad o falsedad del enunciado y, en su caso, estudien la composición del agua marciana, lo cual tendrá extremado interés para los «marteoólogos» y para otras muchas comunidades científicas. Una nueva muestra de la transdisciplinariedad de las investigaciones tecnocientíficas y del cambio radical que la tecnociencia induce sobre la noción de «conocimiento empírico», gracias al cambio previo de la práctica científica.

c) Tecnofísica

La física fue el ámbito científico donde primero se desarrolló la macrociencia, con los diversos *Radiation Laboratories*, el proyecto Manhattan y la construcción de ciclotrones. También fue pionera en la reestructuración de la actividad científica. Los macroproyectos de los años 40 y 50 tuvieron una fuerte componente industrial y, en cuanto a los vínculos con la política científica, muchos físicos de prestigio se dedicaron a ella y acabaron convirtiéndose en auténticos profesionales. Algunos Departamentos y Centros de Investigación de Física Aplicada fueron los primeros ejemplos de industrialización y empresarialización de la ciencia. En conjunto, cabe decir que en Física abundan ejemplos de macrociencia y de tecnociencia, tanto en los EEUU como en otros países. Un estudio a fondo de la macrofísica y la tecnofísica durante el siglo XX requeriría varios libros, por lo que aquí nos limitaremos a mencionar brevemente algunos ejemplos ilustrativos, dejando para investigaciones ulteriores un análisis más detallado de la revolución tecnofísica del siglo XX. Nos centraremos en la primera época, la macrofísica, por haber sido decisiva en el cambio de estructura que sufrió la investigación científica en la época de la segunda guerra mundial.

El proyecto Manhattan es el principal ejemplo, razón por la que nos centraremos en él. Desde un punto de vista financiero, fue el primer gran macroproyecto del siglo XX, sólo superado por los grandes programas de exploración espacial. Se calcula que en el período 1942-45 los EEUU invirtieron 2 millones de dólares de aquella época en su desarrollo, es decir, más de 100.000 millones de dólares al valor de dicha divisa a finales de siglo. Se trató de un proyecto militar máximamente secreto. En su desarrollo colaboraron físicos teóricos, experimentalistas, químicos, matemáticos, ingenieros y numerosas industrias. Desarrollado a un ritmo vertiginoso, experimentó cambios importantes en función de los descubrimientos científicos que se hicieron conforme se iba avanzando. Desde el principio se trabajó en dos proyectos, uno orientado a la fabricación de una bomba de fisión de uranio o de plutonio, otro hacia una bomba de implosión. Al principio, la prioridad la tenía la bomba de fisión. En 1944 se le dio mayor prioridad a la bomba de plutonio y se comenzó a investigar en las bombas termonucleares cuya posibilidad había sido sugerida por Teller, uno de los físicos involucrados en el proyecto. Los

resultados finales fueron muy satisfactorios para los promotores del proyecto y para buena parte de quienes se integraron en él. El conocimiento científico avanzó enormemente y surgieron desarrollos tecnológicos innovadores: la física nuclear ha generado una nueva fuente de energía, desconocida hasta el siglo XX. Algunas empresas se hicieron millonarias gracias al proyecto Manhattan. Los militares norteamericanos se apuntaron un éxito indudable, que ha marcado las estrategias de los ejércitos durante todo el siglo XX: poseer la bomba atómica ha sido el objetivo de todas las grandes potencias. En resumen, desde la perspectiva de los impulsores del proyecto y de los diversos grupos que participaron activamente en él, los resultados fueron muy satisfactorios.

La valoración de dichos resultados cambia por completo si nos situamos fuera del núcleo de la macrociencia. Los daños humanos, sociales y ecológicos en Japón fueron inconmensurables con los que cualquier otra arma de guerra había producido en toda la historia. El desarrollo ulterior de armas nucleares por parte de la URSS dio lugar al *equilibrio del terror*, situación que no ha tenido precedentes en la historia, dada la magnitud del desastre que hubiera podido producir una guerra nuclear. Las valoraciones morales y religiosas de los bombardeos fueron claramente negativas, pero no tuvieron ninguna incidencia, ni siquiera para frenar el desarrollo de la carrera armamentística. El proyecto Manhattan es un ejemplo claro de la primacía *de facto* de otros sistemas de valores sobre los valores éticos y religiosos. Pocos ejemplos hay tan claros para mostrar que la macrociencia y la tecnociencia generan profundos conflictos de valores. La noción kuhniana de inconmensurabilidad entre teorías resulta irrelevante a la hora de analizar esta nueva modalidad de contradicción, que se produce en la práctica y con terribles consecuencias para las personas, los países y el medio ambiente. Como veremos en el capítulo siguiente, el proyecto Manhattan es uno de los ejemplares canónicos del nuevo paradigma tecnocientífico. Jamás el ser humano había demostrado tal capacidad de transformar el mundo, en este caso destructivamente. El conocimiento tecnocientífico mostró fehacientemente su enorme potencialidad al llevar la capacidad destructiva a cotas hasta entonces insospechadas.

Es importante recordar que Los Alamos fue una institución militar en la que algunos científicos civiles tuvieron un gran poder. Fue el primer ejemplo práctico de los efectos que puede tener el contrato social entre

políticos, científicos, ingenieros, industriales y militares. Internamente, la estructura de los diversos departamentos y equipos fue estrictamente jerárquica. El Director del Laboratorio, Oppenheimer, tenía potestad para trasladar a los científicos de un equipo a otro, en función de las prioridades del proyecto. Dentro de cada equipo, los científicos y los ingenieros colaboraron estrechamente. Había un Consejo de Gobierno y otro de Coordinación entre los distintos Departamentos, que al principio eran cuatro: Theoretical Division, Chemistry and Metallurgy Division, Experimental Physics Division y Engineering and Ordnance Division⁴⁹. Por su propia denominación, quedaba claro el carácter militar de la investigación, así como el tipo de personal científico-tecnológico involucrado. Groves y Oppenheimer siguieron desde el principio una estrategia pluralista: aunque la línea dedicada a la fisión era prioritaria, también se apoyaban líneas de investigación alternativas, siempre que pudieran conducir al resultado de producir una bomba atómica que, llegado el caso, pudiera ser fabricada en serie. Para este segundo objetivo el plutonio parecía preferible al uranio, porque podía ser fabricado en un reactor nuclear, cuya construcción en Chicago fue apresuradamente encargada a la empresa privada Du Pont. Esta magna obra de ingeniería fue crucial para el desarrollo del proyecto, porque gracias a la construcción de dicho reactor nuclear se descubrió el fenómeno de la fisión espontánea y relativamente frecuente del plutonio (una vez al mes), que pasó a convertirse en un nuevo tema de investigación científica. La producción industrial del plutonio, necesaria para el proyecto Manhattan, posibilitó el estudio de un nuevo hecho físico, hasta entonces desconocido. Como afirma L. Hoddeson al comentar este descubrimiento, «este experimento de fisión espontánea es uno de los casos de estudio más importantes de la historia de la física, porque ilustra cómo un resultado puramente científico pudo cambiar el curso de la historia»⁵⁰. Como mínimo, cambió las prioridades de la investigación del proyecto Manhattan. El pequeño grupo dedicado a estudiar la bomba de implosión pasó de cinco miembros a cincuenta en muy pocos meses.

49. Estas eran las divisiones en el Centro de Los Alamos. Otras estaban situadas en diferentes lugares, como la División Médica, a la que nos referiremos al hablar de tecnomedicina.

50. L. Hoddeson, «The Los Alamos Implosion Program», en Hevly y Galison, 1992, *o.c.*, p. 275. Tomamos este estudio como referencia básica para nuestro comentario.

Conforme se necesitaban expertos en explosivos (Kistiakowsky), en dinámica de fluidos (von Neumann), en computación (IBM, ENIAC) o en fisión espontánea (grupo de Berkeley, dirigido por Segrè), inmediatamente eran fichados para el proyecto⁵¹. Entre tanto, los químicos trabajaban en la separación del plutonio 240. Otra de las características del proyecto Manhattan fue el paralelismo entre diversas líneas de investigación. Cuando todavía quedaban importantes problemas por resolver (teóricos, instrumentales, de producción industrial del plutonio, de ensayos previos, etc.), los demás equipos continuaban sus investigaciones independientemente. La coordinación de las etapas y de los logros previsible fue fundamental para el éxito del proyecto, así como la flexibilidad a la hora de modificar las prioridades y de mantener vivas líneas de investigación alternativas, por si alguna fallaba. El objetivo final, estrictamente militar, primaba sobre las convicciones que pudieran tener los científicos involucrados en el proyecto sobre los presupuestos teóricos más acertados y sobre las líneas aparentemente más prometedoras. Cualquier teoría era aceptable, siempre que se vislumbraran en ella posibilidades de lograr el objetivo principal. Otra muestra clara de subordinación de los objetivos epistémicos de los científicos a los fines principales del proyecto, así como de la instrumentalización del conocimiento científico para el logro de un objetivo militar.

El 20 de julio de 1944, el Consejo Director del proyecto Manhattan anunció que, a partir de esa fecha, «toda la prioridad había que dársela al programa de implosión; al mismo tiempo, no se abandonarían nada del programa alternativo»⁵². Como tercera prioridad, Oppenheimer autorizó a Teller a investigar la cuestión de las bombas termonucleares. Como consecuencia de esta decisión, se crearon dos nuevas Divisiones en el Proyecto Manhattan: la G (*gadget*), dedicada exclusivamente al problema teórico de la implosión del plutonio, y la X (explosivos e investigaciones complementarias sobre la implosión). Algunos científicos e ingenieros fueron trasladados de las anteriores Divisiones a las nuevas, pero sin eliminar ninguna. Las nuevas prioridades no implicaron el abandono de las anteriores, como ha sido habitual en las políticas científicas ulteriores. La

51. No hay que olvidar, sin embargo, que algunos científicos se negaron a participar en el Proyecto Manhattan, e incluso estuvieron en el origen del movimiento Punjab de oposición a las bombas atómicas.

52. Citado por L. Hoddeson, 1992, *o.c.*, p. 280.

ponderación de las diversas líneas de investigación por la vía de la asignación presupuestaria y de la dotación de equipamientos y recursos humanos es la regla de oro de la racionalidad tecnocientífica. Dicho de otra manera: las políticas científicas son estructuralmente pluralistas, puesto que financian paralelamente líneas de investigación diferentes, e incluso opuestas. Los criterios de valoración efectivos se ponen en evidencia al analizar este tipo de indicadores y de estrategias. Esta es una de las razones por las que la axiología de la ciencia, basada en indicadores y protocolos de valoración de los proyectos, constituye una de las vías adecuadas para el análisis de la actividad tecnocientífica.

A partir de esa fecha, se produjeron otras muchas aportaciones científicas, tecnológicas e industriales. No hay que olvidar que, además de diseñar la bomba y demostrar su posibilidad teórica, había que construirla y ensayarla⁵³. No entraremos en esos detalles, para no alargarnos excesivamente en la descripción del Proyecto Manhattan. Lo dicho hasta ahora basta para nuestros objetivos en este apartado. Estamos ante uno de los grandes paradigmas de la macrociencia, con todas las especificidades que le hemos atribuido en el apartado I.4, aparte de otras muchas que son propias del Proyecto Manhattan. Construir la bomba fue un asunto de gran complejidad tecnológica, industrial y financiera, pero las acciones tecnocientíficas finales (Hiroshima y Nagasaki) no hubieran sido posibles sin la estricta dedicación de grandes científicos al proyecto, provenientes de varias disciplinas. La pluralidad de agentes necesarios es uno de los aspectos más notables del Proyecto, así como la total primacía de un objetivo militar, para cuyo logro fueron movilizados ingentes recursos financieros, humanos, tecnológicos e industriales. Como subraya Hoddeson: «para resolver el difícil y complejo problema de la implosión antes de que terminara la Segunda Guerra Mundial fue preciso desarrollar un nuevo y potente modo de investigar, en el que científicos, ingenieros, metalúrgicos y artesanos trabajaron estrechamente juntos, apropiándose unos y otros de las cajas de herramientas de los demás»⁵⁴.

53. La fecha prevista para el primer test experimental, en la isla de Trinidad el 1 de mayo de 1945, fue determinante en la planificación de las actividades de los diversos equipos durante la última época de desarrollo del proyecto. Con ello se evidencia que la producción de conocimiento estaba planificada industrialmente, a diferencia de las investigaciones científicas tradicionales.

54. L. Hoddeson, *o.c.*, p. 286.

En mayor o menor grado, ésta es una de las características típicas de los proyectos de macrofísica.

Desde un punto de vista metodológico, el pluralismo también fue muy considerable. El éxito del proyecto Manhattan no puede ser atribuido a los cambios de teoría (aunque alguno hubo) ni a nuevos métodos científicos. En cambio, la radical transformación experimentada por la práctica científica y tecnológica a lo largo del proyecto es un factor causal de su éxito, como han subrayado quienes han indagado a fondo el desarrollo del mismo. Sin la ingente financiación del Gobierno de los EEUU, sin la militarización de la investigación, sin la colaboración de grandes empresas industriales, algunas de las cuales habían incorporado nuevos métodos de producción y organización y sin la estricta disciplina a la que estuvieron sometidos los científicos y los ingenieros, la bomba atómica no hubiera podido fabricarse en un lapso de tiempo tan breve. Las urgencias derivadas de la actividad bélica fueron decisivas para que este primer gran ejemplo de macrofísica tuviera éxito. Ulteriormente se convirtió en un canon de cómo se debe actuar en la investigación macrocientífica. Por ello lo tomamos como uno de los puntos de arranque de la revolución tecnocientífica.

El análisis de otros ejemplos de macrofísica nos llevaría a parecidas conclusiones, aunque, por supuesto, con matices y diferencias significativas. Otro tanto cabría decir de los proyectos propiamente tecnofísicos, como los grandes aceleradores de partículas (Brookhaven, CERN, etc.)⁵⁵. Como dijimos anteriormente, un estudio minucioso del desarrollo de la macrofísica y de su transición hacia la tecnofísica requeriría un espacio mucho más amplio y, además, la confluencia de diferentes tipos de análisis. La filosofía de la ciencia no basta para estudiar este tipo de casos. Para analizar a fondo los cambios en la estructura de la práctica científica se requiere la colaboración de diferentes expertos en los estudios de ciencia y tecnología.

Como conclusión, y siempre a título de hipótesis a investigar empíricamente, concluiremos que en la tecnofísica intervienen tecnologías y

disciplinas científicas muy diversas, pero prácticamente siempre las tecnologías informáticas, al igual que en las tecnomatemáticas y la te-noastronomía. El cálculo de la masa crítica de uranio o de plutonio enriquecidos que se precisa para hacer estallar una bomba atómica no hubiera sido posible sin la ayuda de las computadoras que proporcionó IBM y de las nuevas técnicas de cálculo numérico que aportaron dichas máquinas, al igual que el ENIAC en la fase final del proyecto Manhattan para simulaciones en dinámica de fluidos. Otro tanto cabe decir del cálculo de trayectorias de proyectiles, de los movimientos de las partículas en los grandes aceleradores y en general de los sistemas físicos no lineales. La resolución de este tipo de problemas fue el principal motivo que llevó a von Neumann a involucrarse personalmente en los proyectos ENIAC y Manhattan. Lo mismo podría decirse hoy en día de otras muchas ramas de la física: meteorología, túneles de viento, aeronáutica, etc. Pero el ejemplo más claro lo constituye la investigación en pequeñas partículas, que depende por completo de la construcción de grandes aceleradores de partículas y de la tecnología informática imprescindible para procesar los datos. Disponer de uno de esos *laboratorios tecnofísicos* constituye una condición necesaria para investigar en ese campo y detectar nuevas partículas. Otro tanto cabe decir de las nanotecnologías actuales, que son un híbrido entre física, biología molecular, ingeniería e informática. No resulta exagerado afirmar que la tecnofísica constituye la vanguardia de la investigación en física, sin perjuicio de que siga habiendo físicos teóricos que, a partir de los tecnodatos, construyen conceptos y proponen leyes conforme a la metodología científica tradicional. La tecnofísica no sólo genera descubrimientos, también invenciones y nuevas teorías. Lo importante es que las genera a partir de una práctica investigadora previa que requiere una profunda hibridación entre científicos y tecnólogos, así como el apoyo de otros agentes tecnocientíficos que tienen sus propios objetivos y metas.

d) *Tecnoquímica*

Desde la revolución industrial, la química ha estado estrechamente vinculada a la actividad empresarial. Por ello, no es de extrañar que los primeros macroproyectos químicos fueran desarrollados por empresas privadas,

⁵⁵. Un caso de estudio muy importante para la macrofísica es el *Supercomputing Supercollider*, proyectado por Departamento de Energía de los EEUU. Tras grandes debates y controversias, tanto en medios científicos y políticos como ante la opinión pública, el Congreso norteamericano rechazó ese proyecto el 21 de octubre de 1993, pese a que ya se habían gastado 2.000 millones de dólares en el mismo. La construcción del acelerador proyectado, de 54 millas, hubiera costado 8.000 millones de dólares.

por ejemplo la Compañía Du Pont. Con el fin de diversificar las fuentes de las que procede la tecnociencia, en el campo de la química nos centraremos en la política de I+D desplegada por esta empresa a lo largo de buena parte del siglo XX, porque muestra muy bien que la macroquímica y las macrociencias pueden surgir también gracias a la iniciativa privada. Como señala Hounshell, el término *Big Science* designa normalmente «proyectos científicos financiados por el Gobierno que implican gastos masivos en equipamientos de gran tamaño en torno a los cuales trabajan amplios equipos de investigadores»⁵⁶. Sin embargo, las empresas privadas han desarrollado algunos proyectos macrocientíficos en función de sus respectivas políticas de I+D. En el caso de la tecnociencia es lo más habitual, puesto que la inversión privada en I+D+i supera a la pública en los EEUU desde los años 80. Por ello conviene analizar con un cierto detalle el modo en que surge la macrociencia en una empresa privada.

La Compañía Du Pont creó su primer laboratorio de I+D en 1902, siguiendo las ideas de uno de sus fundadores, Pierre S. du Pont, para quien las inversiones en investigación básica formaban parte de su estrategia corporativa:

En nuestro Laboratorio Experimental deberíamos intentar tener en marcha en todo momento algunas investigaciones cuya esperanza de éxito sea muy grande, aunque paralelamente puedan tener un gran coste para su desarrollo, exigiendo investigaciones prolongadas, incluso de varios años, así como el empleo de recursos considerables. Planteo esta política por dos razones: primero, porque permitirá disponer de un conjunto de personas bien entrenadas cuyo empleo estable esté asegurado. Segundo, y más importante, porque de esta manera el valor del Laboratorio será eventualmente mucho mayor⁵⁷.

Esta política empresarial tuvo como resultado paradigmático la invención del nylon en 1940, no sólo porque su comercialización produjo enormes beneficios a la compañía, sino ante todo porque el modelo or-

⁵⁶. David A. Hounshell, 1992, *o.c.*, p. 237. Seguiremos el estudio de Hounshell a lo largo de este apartado.

⁵⁷. Carta de Du Pont a C. M. Barotn, 17-8-1908, citada en D. A. Hounshell y J. K. Smith, Jr., *Science and Corporate Strategy*, New York, Cambridge Univ. Press, 1988, p. 45.

ganizativo que llevó a dicho descubrimiento se convirtió en canónico para Du Pont, así como para el proyecto Manhattan y otros macroproyectos en los años 40 y 50. Du Pont fue llamada a colaborar con el proyecto de Los Alamos por esta razón, atribuyéndosele la importante responsabilidad de dirigir la producción de plutonio, cosa que hizo con gran eficiencia en la célebre factoría Clinton de los alrededores de Chicago. Por tanto, nos centraremos en estos dos ejemplos de macrociencia, de los muchos que podrían encontrarse en la firma Du Pont.

En los años 30, Du Pont era una empresa industrial que intervenía en negocios muy distintos: pinturas, plásticos, explosivos, productos químicos, amoníaco sintético, celofán, etc. Charles Stine, el jefe de la oficina central de investigación creó en 1927 en Wilmington (Delaware) un grupo de investigación básica, argumentando que podría ser útil para varios sectores de producción de la empresa a la vez. Uno de los científicos que fichó fue Wallace H. Carothers, un químico de Harvard, a quien puso a la cabeza del grupo de investigación sobre polímeros, con el encargo explícito de hacer investigación básica en química. El equipo inicial de Carothers no era muy numeroso (9 investigadores), por lo que no cabe hablar de macrociencia de polímeros en los años 30. Pero el inesperado descubrimiento por dicho grupo del neopreno, la primera fibra sintética, y sobre todo del nylon, una poliamida, reforzó enormemente al grupo de investigación básica. El Departamento de I+D de Du Pont empleaba en 1934 a 850 científicos e ingenieros dedicados a la investigación básica y aplicada. Bolton, el sucesor de Stine en la dirección del laboratorio de investigación básica, introdujo una nueva organización en la actividad investigadora, que con el tiempo pasó a ser el modelo organizativo principal de I+D en la empresa. Este cambio organizativo es el que convirtió la pequeña ciencia y la investigación aplicada a la industria que Du Pont promovía desde principios de siglos en una auténtica organización macrocientífica, y con el tiempo tecnocientífica.

En primer lugar, el Departamento de investigación fundamental comenzó a colaborar estrechamente con otros dos Departamentos de la empresa, orientados a la investigación aplicada. Con ello se produjo el vínculo entre científicos, ingenieros y expertos en mercadotecnia. Además, Bolton creó un grupo de dirección, al que denominó *Steering Committee*, que agrupaba a los líderes de los diversos equipos investigadores junto con los responsables de la dirección de las investigaciones. Había

dos reuniones semanales y la asistencia era obligatoria. La función del Comité era coordinar la investigación. Se establecieron reuniones de revisión de la investigación que llevaba a cabo cada grupo, en las que los investigadores o los grupos presentaban los resultados que iban obteniendo. Además organizaron el proyecto nylon en forma paralela, sin esperar a que cada grupo hubiera obtenido los resultados esperables para poner en marcha a los restantes equipos de investigación. En resumen, se creó un modelo de investigación coordinada, dirigida y continuamente supervisada por la dirección, dividiendo la investigación por componentes, poniendo en marcha todas ellas y planificando las progresivas síntesis y convergencias entre los respectivos resultados. La planta industrial para la fabricación del nylon fue construida cuando la investigación todavía estaba en curso. Otro tanto cabe decir de los estudios realizados para el lanzamiento de la fibra sintética al mercado, los cuales incidieron indirectamente en la orientación que había que dar a la actividad investigadora. En total, la compañía gastó más de 15 millones de dólares en el proyecto del nylon, una cantidad inusitada para la época, porque superaba la de algunos departamentos gubernamentales. El éxito comercial del lanzamiento, orientado exclusivamente a sujetadores femeninos, fue enorme. A partir de los 40, Du Pont orientó su producción hacia otras prendas y objetos, pero lo importante fue que atribuyó el éxito del proyecto nylon a la estrecha colaboración entre científicos, ingenieros y expertos en comercialización, así como al modelo de gestión de I+D que había diseñado Bolton.

El éxito del nylon contribuyó a prestigiar a la compañía en todo EEUU y su modelo de gestión de I+D se convirtió en canónico. En 1942, Arthur Compton se puso en contacto con Du Pont para encargarle el diseño, construcción y puesta en funcionamiento de una planta de producción de plutonio, siempre que los plazos para ello fuesen mínimos. A diferencia del uranio, el plutonio podía ser producido en grandes cantidades, razón por la que los diseñadores del proyecto Manhattan siempre optaron por dos vías posibles para la construcción de bombas atómicas, una de uranio y otra de plutonio. La eficiencia de Du Pont al cumplir el encargo recibido fue decisiva para el desarrollo del proyecto Manhattan, como vimos anteriormente. La compañía inspiraba confianza por su larga tradición en I+D, pero sobre todo por el modelo organizativo que había puesto en funcionamiento para el proyecto nylon.

Cabe decir que en este momento es cuando la compañía Du Pont se involucra de verdad en un proyecto macrocientífico. El proyecto nylon fue un prelude de ello. Al principio fue un proyecto clásico de investigación industrial. Pero la incorporación de científicos básicos y el nuevo modelo organizativo lo transformaron en uno de los grandes precursores de la tecnociencia de financiación privada. Podemos concluir, por tanto, que la empresa Du Pont aportó uno de los rasgos distintivos de la tecnociencia, sin perjuicio de que su modelo organizativo fuera modificado y corregido en las décadas ulteriores. Los científicos que trabajaron en él perdieron la autonomía tradicional, que caracteriza a la ciencia académica. Las prioridades, los objetivos concretos y los plazos para lograrlos les venían dados por el Comité que dirigía la investigación. Algunos de los miembros de dicho Comité eran relevantes científicos, pero en tanto gestores de I+D asumieron otro tipo de valores y prioridades, aparte de los puramente epistémicos. Esta transformación es una constante en el paso de la ciencia a la tecnociencia. En este caso primaron las estrategias de la empresa, en otros los de la NASA o los de instituciones militares. La tecnociencia siempre implica una mixtura entre especialistas con diversas formaciones e intereses, así como una política científica preestablecida y nuevos modelos de organización de la actividad investigadora.

e) *Tecnomedicina*

Las relaciones entre medicina y biología siempre han sido muy estrechas. Además, buena parte de la investigación en estas dos ciencias ha estado basada en las aportaciones de la física, la química, la farmacología, etc. En este apartado haremos breves alusiones a algunos de los desarrollos macrocientíficos en medicina. Otros aspectos serán considerados cuando hablemos de tecnobiología.

La emergencia de la macrofísica en la época de la segunda guerra mundial incidió fuertemente en la medicina, tanto en los aspectos científicos como en los tecnológicos. El desarrollo de la física nuclear indujo la creación de los marcadores fisiológicos de fósforo radioactivo, que comenzaron a desarrollarse en el Radiation Laboratory de Lawrence en Berkeley. En general, los radioisótopos supusieron una mejora tecnológica importante en medicina, contribuyendo a la aparición de una nue-

va disciplina, la medicina nuclear (o atómica). En 1936 se produjeron los primeros usos clínicos de esas nuevas técnicas.

Sin embargo, la macromedicina propiamente dicha surgió tras la guerra como derivación del Proyecto Manhattan. La División Médica de dicho proyecto puso en funcionamiento diversos laboratorios en el período 1942-45 (Chicago, Rochester, Berkeley, Columbia y Washington) con el fin de estudiar los efectos producidos por la exposición a las radiaciones emitidas por materiales radioactivos, así como la toxicidad de los materiales químicos que se requerían para procesar el uranio. Finalizada la guerra, los integrantes de dicha División, con el físico Warren a la cabeza, tenían claro que esa línea de investigación debía continuar. También pensaban que la medicina nuclear podría aportar una auténtica revolución en biología y en medicina⁵⁸. La penicilina (1940) fue el gran avance médico de la segunda guerra mundial, pero la investigación de la energía nuclear abrió un campo de investigación amplio y novedoso, que atrajo a físicos, químicos, médicos y biólogos, con la imprescindible colaboración de ingenieros y técnicos. En 1948, Stanford Warren, que fue Premio Nobel de Medicina, lideró el desarrollo de la nueva especialidad, al ocupar cargos claves en las diversas instituciones que se fueron creando.

La Comisión de Energía Atómica tomó el relevo del Proyecto Manhattan y mantuvo su interés por la medicina. Warren propugnó que todos los descubrimientos que se habían producido durante la guerra en el campo de la medicina y la biología dejaran de ser secretos. También fomentó la creación de laboratorios de investigación de las Facultades de Medicina, la conexión con los hospitales y la creación de una Sociedad de Radiobiología que aglutinara a la comunidad científica emergente. La Comisión de Energía Atómica (AEC) adoptó el plan Warren y las Universidades que habían colaborado en la División Médica del Proyecto Manhattan siguieron recibiendo una financiación semejante a la de la época de guerra, incorporándose otras instituciones académicas y hospitalarias a la naciente radiobiología. Esta fue una de las vías por las que surgieron la macromedicina y la macrobiología, por influencia directa

⁵⁸. Ver T. Lenoir y M. Hays, «The Manhattan Project for Biomedicine», en Phillip R. Sloan (ed.), *Controlling Our Destinies: Historical, Philosophical, Ethical and Theological Perspectives on the Human Genome Project*, Notre Dame, Univ. of Notre Dame Press, 2000, p. 34.

del proyecto Manhattan. La Universidad de California en Los Angeles, por ejemplo, firmó un contrato (GEN-12) muy importante con la AEC en 1947, por un importe de 250.000 dólares anuales. Ello permitió impulsar la biofísica, la radiología y la medicina nuclear. Ulteriormente se creó un Instituto para investigar el cáncer. En conjunto, Warren fue el promotor de un proyecto multidisciplinar de gran envergadura y tuvo el acierto de conectarlo con la enseñanza (Medical School) y con la clínica (Wadsworth Hospital, Birmingham Veterans Hospital), lo cual permitió formar a especialistas en las nuevas materias y aplicar los nuevos conocimientos de inmediato. Otro tanto ocurrió en Berkeley (Donner Foundation, especializada en la investigación del cáncer), en Rochester y en otras universidades norteamericanas.

Conforme al Informe Bush, la nueva estructuración de la actividad científica llegó plenamente a la medicina, tanto en el contexto de investigación como en los de aplicación y educación. Obviamente, esto sólo ocurrió en algunas universidades, no en todas. La macromedicina emergente convivió con la medicina clásica, aunque no sin conflictos a la hora de repartir los presupuestos del Instituto Nacional de la Salud. En conjunto, cabe decir que la macromedicina surgió en los EEUU inmediatamente después de la segunda guerra mundial y como prolongación del proyecto Manhattan en tiempos de paz. Comprobamos así la enorme importancia que tuvo dicho proyecto a la hora de reestructurar el sistema norteamericano de ciencia y tecnología. Obviamente, la industria colaboró activamente en la tarea, fabricando los nuevos instrumentos precisos. La interdisciplinariedad de la investigación es uno de los aspectos que más resaltan en la macromedicina emergente a partir de 1946-47.

Otra iniciativa muy relevante fue el *Isotope Distribution Program*, diseñado por la National Science Foundation y ejecutado por la AEC. Lo dirigió Paul Aebersold durante veinte años, trasladando los laboratorios desde Los Alamos a Oak Ridge, con el status de Laboratorio Nacional. La creación de este tipo de *national facilities* ha caracterizado la política científica de los EEUU durante el siglo XX y, como ya vimos, constituye uno de los rasgos distintivos de la macrociencia. Tratándose de grandes laboratorios, muy costosos en su construcción y en su mantenimiento, el único modo de rentabilizarlos era ponerlos a disposición de numerosas universidades y centros de investigación. Ello requiere una gestión acertada y, entre otras consecuencias, fuerza la cooperación y la coordina-

ción entre equipos que científicamente son competidores. El Oak Ridge Institute of Nuclear Studies fue utilizado por científicos de diversas disciplinas, incluidos biólogos y médicos. Se rompía con ello la separación entre las comunidades científicas, puesto que éstas colaboraban de hecho en equipos multidisciplinarios financiados por el Gobierno y sus Agencias específicas. Este Instituto es un buen ejemplo de *industria macrocientífica*, en este caso pública, cuyo funcionamiento y organización es completamente distinto al de las comunidades y laboratorios académicos. Uno de sus objetivos era estimular los usos industriales y médicos de la energía nuclear⁵⁹. Se trataba de diseminar el conocimiento que se había logrado durante la guerra y el que seguían obteniendo los laboratorios de investigación básica y aplicada, pero no sólo a través de las aulas y las publicaciones científicas, que también, sino transfiriendo dicho conocimiento a las industrias y a los hospitales, es decir, en lo que nosotros denominamos contexto de aplicación. El final de la guerra supuso la vuelta a la actividad académica normal en los EEUU, pero también la aparición de un nuevo modelo de práctica científica, que tenía precedentes puntuales antes de la guerra, pero que ahora surgía como consecuencia de una política científica prediseñada y sistemática. Aunque la autonomía de estas industrias macrocientíficas era muy grande, detrás de ellas estaba el Gobierno Federal, en la medida en que se había involucrado en la tarea de fomentar la investigación y el desarrollo.

Podrían mencionarse otros muchos grandes ejemplos de macromedicina, como la guerra contra el cáncer que impulsó la administración Nixon en los años 60, pero las breves menciones que hemos hecho pueden bastar para bosquejar las líneas maestras del cambio, que también se produjo en el ámbito de la medicina. Por supuesto, nuevas disciplinas aparecieron y también se produjeron avances científicos importantes. Pero en esta obra nos ocupamos únicamente de la transformación de la práctica científica, y esto también sucedió en medicina. Las primeras grandes empresas especializadas en radioisótopos (Tracerlab en Boston, Abbott Laboratories en el norte de Chicago) fueron creadas a finales de los años 40. El objetivo de la política científica no sólo era crear conocimiento, sino también generar industrias y aplicar de inmediato los avances científicos

59. Lenoir y Hays, 2000, *o.c.*, p. 46. En este apartado nos estamos basando en el estudio realizado por estas autoras.

y tecnológicos en la mejora del nivel sanitario del país. Si analizáramos únicamente los progresos en el conocimiento, entenderíamos sólo una parte de los objetivos de la política científica de la postguerra. El Instituto de Oak Ridge fabricaba radioisótopos (factoría científica) y luego los distribuía libremente a los agentes científicos, industriales y hospitalarios relevantes, a razón de 300.000 dólares al año (1949). Asimismo formaba expertos en radioisótopos, contribuyendo a la diseminación del conocimiento y a la creación de una comunidad de profesionales, que luego iban a insertarse en industrias, hospitales y centros de investigación de todo el país. Ulteriormente se pasó a subsidiar la adquisición de radioisótopos, a medida que el sector industrial fue creciendo. El Centro de Oak Ridge funcionó como una factoría de conocimiento, pero también como un motor en el sector de las macrociencias de la salud, dentro del sistema CyT norteamericano.

El Programa de Medicina Atómica, que contaba con unos fondos de 500.000 dólares anuales, fue decisivo para la emergencia de la macromedicina industrializada. Las 12 unidades de radioisótopos de 1949 se convirtieron en 33 en 1953. Un laboratorio medio tenía una superficie considerable (entre 1.200 y 3.000 pies cuadrados) y buena parte de ellos estaban en los hospitales. Lo importante es que esos laboratorios estaban coordinados entre sí a través de Oak Ridge, puesto que este Centro fue la matriz de todos ellos. Los laboratorios médicos fueron transformándose por todo el país, conforme a un nuevo modelo de laboratorio diseñado por expertos en política científica, construido por industriales y utilizado por científicos y técnicos.

La privatización de los laboratorios y los hospitales, junto con la informatización y otros factores, transformaron ulteriormente la macromedicina, convirtiéndola en tecnomedicina. En esta obra no nos ocuparemos de esta nueva fase, dejándola abierta a investigaciones ulteriores.

f) *Tecnobiología*

Al hablar de macromedicina, vimos que los primeros desarrollos de la microbiología surgieron como consecuencia del proyecto Manhattan. Sin embargo, el gran macroproyecto biológico es el del Genoma Humano, que se puso en marcha en los años 90. Se trata de un proyecto propia-

mente tecnocientífico, en el sentido que aquí damos a ese término, y por ello lo consideraremos como el canon de la tecnobiología. Antes de comentarlo, sin embargo, conviene mencionar las transformaciones que experimentó la biología en los años 50, y concretamente la genética. En esa época se inició la tecnobiología, aunque no tenía la envergadura que adquirió a finales del siglo XX.

El cambio en biología no procede de la macrofísica, sino de lo que hemos denominado tecnomatemática. Durante la guerra, la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo (OSRD) había financiado proyectos sobre cuestiones computacionales de interés para la balística. Norbert Wiener colaboró en esos proyectos. De ahí surgieron sus primeras propuestas sobre servomecanismos y homeostasis fisiológica, hechas conjuntamente con Bigelow y Rosenbleuth. En la etapa final de la guerra, Wiener y von Neumann promovieron estudios sobre control automático digital, que luego fueron el origen de la cibernética⁶⁰. Ambos trabajaron en biología a partir de 1945, partiendo de un modelo computacional: máquinas que se autorreproducen. La comunidad biomédica con la que von Neumann entró en contacto le animó a desarrollar esos modelos como herramienta heurística para investigar las acciones genéticas. En 1948, Wiener publicó su célebre libro *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine*, en el que se comparaban los autómatas y los organismos biológicos. Wiener coincidía con von Neumann al pensar que los aminoácidos conforman cadenas de proteínas mediante procedimientos combinatorios y aplicó modelos matemáticos a la reproducción de los genes y de los virus. Ambos introdujeron un nuevo paradigma en genética, en el sentido kuhniano del término.

Ese mismo año, Claude Shannon publicó un importante artículo sobre su teoría matemática de la comunicación y al año siguiente divulgó esas ideas en colaboración con Warren Weaver, director de la Rockefeller's Foundation Natural Science Division y del programa de biología molecular de dicha Fundación. Shannon se ocupaba en cuestiones de criptoanálisis y teoría de códigos, e introdujo conceptos como el de redundancia y el de codificación binaria, siempre en el ámbito de la comunicación entre máquinas. Como resultado, la criptología y los computadores electrónicos

60. Ver Lily E. Kay, «A Book of Life?», en R. S. Sloan, 2000, *o.c.*, pp. 99-124. En lo que sigue utilizaremos dicho artículo como fuente principal.

(en concreto el MANIAC, continuación del EDVAC de von Neumann) comenzaron a utilizarse para analizar los códigos genéticos. En conjunto, el impacto de las ideas de Wiener, von Neumann y Shannon fue enorme, hasta el punto de que los genes comenzaron a ser considerados como máquinas biológicas que se comunican entre sí mediante códigos cifrados, y no sólo como organismos bioquímicos. La noción de *código genético* fue ampliamente aceptada y utilizada, al igual que los métodos computacionales para investigarlo y descifrarlo. Henry Quastler asumió la tarea de repensar la biología como una ciencia de la información. Sus escritos fueron muy comentados, de manera que, cuando Quastler organizó un importante simposio sobre *Information Theory in Biology* en el Control Systems Laboratory de Brookhaven (1952), el nuevo paradigma encontró una comunidad científica emergente para desarrollarlo. Quastler propuso estimaciones de la cantidad de información que hay en un organismo humano (5×10^{25}) y a partir de ello calculó que la descripción genética de un ser humano podía contener 5×10^{21} páginas de información. Lo que denominó *catálogo del genoma* tendría alrededor de un millón de bits.

En resumen, justo antes de que Watson y Crick publicaran en 1953 su celeberrimo artículo sobre la doble hélice del DNA, un nuevo paradigma se había instalado en el ámbito de la biología, y más concretamente en genética. El descubrimiento de la doble hélice por parte de Watson y Crick fue típicamente científico, a base de observar fotografías de las que Watson infirió la existencia de estructuras helicoidales en los genes. Sin embargo, previamente a ello se había instaurado en genética un nuevo paradigma, que requería la utilización de poderosos instrumentos de computación a la hora de investigar, dada la envergadura de las magnitudes de información consideradas. Además, el nuevo paradigma transfería a la biología una serie de conceptos procedentes de las *computing sciences* y de la teoría de los sistemas artificiales. La genética actual no sólo está basada en la doble hélice, sino también en la noción de código genético y conceptos derivados. Por ello afirmamos que, a diferencia de la genética mendeliana, la genética de la segunda mitad del siglo XX tuvo una fuerte componente tecnocientífica, que se vio reforzada ulteriormente con la introducción de las técnicas de DNA recombinante y, sobre todo, con el proyecto Genoma Humano.

En los años 50 se produjo una auténtica proliferación de modelos combinatorios, propuestos todos ellos con el fin de descifrar el código

genético, noción que para entonces se había consolidado plenamente entre los investigadores. El propio Crick, modificando una propuesta de George Gamow (*diamond code*), propuso en 1956 el célebre *código sin comas*, que posteriormente se reveló inadecuado. Teller sugirió un código secuencial. Y otros científicos (biólogos, físicos, matemáticos, ingenieros, etc.) propusieron otros modelos. El problema central de la genética de aquella época consistía en investigar la transferencia de información desde los ácidos nucleicos a las proteínas, partiendo siempre de la hipótesis de la codificación y recurriendo a los ordenadores más potentes de la época para las investigaciones empíricas, dada la magnitud de bits que se manejaban. Por su parte, Watson comenzó a hablar de información inter-bacterial, por ejemplo, ampliando el nuevo paradigma a otros campos de la biología, aparte de los genes. El nuevo paradigma infobiológico (o infogenético) avanzó rápidamente en los años 50, atrayendo a los mejores investigadores, siempre en colaboración con matemáticos, ingenieros e informáticos. No hay que olvidar que en su artículo seminal de 1953, Watson y Crick ya decían con claridad que:

Se sigue que en una molécula larga son posibles muchas permutaciones y por tanto parecería que precisamente la secuencia de bases es el código que traslada la información genética⁶¹.

Esta etapa supuso la emergencia de la biología computacional, una de las modalidades más importantes de tecnobiología. Un estudio a fondo de la misma aportaría datos de enorme interés, pero con lo dicho hasta ahora basta como primera introducción. Por supuesto, paralelamente continuaban las investigaciones bioquímicas. Pero los infobiólogos, por así llamarlos, habían constituido una nueva comunidad, a la que cabe calificar de tecnocientífica, conforme a los rasgos distintivos que hemos apuntado en los apartados precedentes. Algunas de esas investigaciones estuvieron apoyadas por instituciones militares, así como por empresas.

El Proyecto Genoma Humano supone una continuación de esta línea de investigación, aunque en medio se produjeron aportaciones relevan-

61. J. D. Watson y F. H. Crick, «A Structure for Desoxyribose Nucleic Acid», *Nature*, 171 (1953), p. 738.

tes, a las que no vamos a referirnos, por mor de la brevedad⁶². A finales de 1966 se había descifrado el código genético entero y podía darse por cerrada la primera etapa de la genética informacional o computacional.

El origen del Proyecto Genoma Humano (PGH) tiene que ver con el éxito relativo del programa de guerra contra el cáncer promovido por la administración Nixon en los años 40. En 1986, el Premio Nobel italiano Renato Dulbecco publicó un artículo en *Nature* afirmando que había que cambiar de estrategia, promoviendo un programa de investigación a gran escala en lugar de las aproximaciones graduales que se iban haciendo. Es decir, propuso un macroprograma de investigación genética, que, como decía:

En importancia sería comparable a la conquista del espacio y se debería emprender con la misma mentalidad. Y sería aun mejor que fuera una empresa internacional, porque la secuencia del ADN humano es la realidad de nuestra especie y todo lo que ocurre en el mundo depende de su secuencia⁶³.

Independientemente del determinismo genético que subyace a esta propuesta, y que constituye uno de los principales puntos conflictivos del PGH, la propuesta de Delbecco fue bien acogida. Transfería algunos postulados de la macrociencia a la genética. No en vano el Proyecto Genoma suele ser denominado «el Proyecto Manhattan de la Biología». Por otra parte, el Departamento de Energía norteamericano daba vueltas por entonces a una idea similar, a través del Director de la Oficina de Salud e Investigación Medioambiental de dicho Departamento (DOE, a partir de ahora). En efecto, Charles de Lisi había organizado un pequeño simposio sobre el asunto en marzo de 1986, en el que se aceptó la idea, pero se puso en duda que el DOE fuera la agencia adecuada para promover un proyecto así. Los National Institutes of Health (NIH) eran candidatos obvios para hacerlo. También hubo empresas privadas que acariciaron ideas similares, como la Genoma Corporation, aunque tuvo que renun-

62. Algunas de las más importantes fueron tecnológicas, como la introducción de marcadores genéticos o las propias técnicas de secuenciación. En cambio, la identificación del ARN mensajero (Nierenberg, 1961) puede ser considerada como una aportación típicamente científica.

63. R. Dulbecco, «A Turning Point in Cancer Research: Sequencing the Human Genome», *Nature*, 231 (1986), pp. 1055-1056.

ciar al proyecto porque no encontró capital suficiente. La financiación privada no era lo suficientemente grande como para acometer macroproyectos, aunque sí proyectos tecnocientíficos de menor envergadura. Dicho sea de paso, advertimos con ello una diferencia importante entre la simultaneidad de los descubrimientos en la ciencia moderna y en la tecnociencia. En este último caso, lo más frecuente es que dos o más empresas tecnocientíficas (públicas o privadas) imaginen o diseñen simultáneamente proyectos alternativos de investigación sobre un mismo tema, no que se descubra simultáneamente un hecho en un laboratorio. En la tecnociencia compiten empresas entre sí y el punto clave estriba en poner en marcha los proyectos en el momento adecuado, además de encontrar la financiación adecuada para ello. El diseño de los proyectos tiene una importancia fundamental a la hora de lograr aceptación y apoyos. De ahí la importancia de las pre-acciones tecnocientíficas, es decir, del diseño y la planificación de lo que se pretende llevar a cabo. Se da por supuesto que, una vez iniciado un proyecto como el PGH, los hechos científicos surgirán por añadidura.

Puesto que dentro de las Agencias Gubernamentales había al menos dos dispuestas a acometer el PGH, el DOE y los NIH, la National Science Foundation medió, creando una Comisión especial para estudiar y diseñar un posible Proyecto Genoma, así como las instituciones que podrían llevarlo a cabo. Dicha Comisión aconsejó que fuera un proyecto internacional, aunque liderado por los EEUU. En lugar de secuenciar el ADN, lo cual resultaba extremadamente costoso, al menos mientras no se produjeran avances tecnológicos importantes, la Comisión propuso hacer primero un mapa del genoma humano, además de caracterizar los genomas de otros organismos (ratón, mosca de la fruta y algunas levaduras y bacterias). Paralelamente, había que financiar investigaciones para mejorar las tecnologías que posibilitaran una secuenciación más barata⁶⁴. En cambio, no se pronunció sobre la Agencia que podría encargarse del proyecto, el DOE o los NIH. El Congreso aprobó en principio la iniciativa, por lo que el DOE y los NIH pasaron a presupuestarla. Dos Agencias gubernamentales competían ante el Congreso por lograr la concesión de un macroproyecto de investigación, de la misma manera que los equipos

universitarios y las empresas de investigación compiten entre sí en las convocatorias públicas de política científica. El primer presupuesto del DOE (1988) llegaba a 12 millones de dólares. Pero el Director de los NIH, James Wyngaarden, consideró que se requerían unos 50 millones para que pudieran cumplirse de verdad los objetivos. Ello dio más fiabilidad al segundo proyecto, tras la correspondiente evaluación. La dotación final del proyecto fue de 3.000 millones de dólares para varios años. El problema ulterior consistió en encontrar una persona con suficiente prestigio y capacidad política para gestionar un proyecto de tal envergadura. Al final, James Watson fue nombrado Director del PGH, cargo que ocupó desde 1988 hasta 1992, fecha en la que dimitió, por fuertes disensiones con la nueva Directora del NIH.

Este nombramiento tiene un gran interés para nosotros, por varias razones. En primer lugar, porque confirma la idea de que los científicos de prestigio son imprescindibles para las empresas tecnocientíficas a la hora de dirigir macroproyectos. Sin embargo, a esos científicos no se les pide que aporten teorías o que investiguen en los laboratorios. Lo que se les demanda es que gestionen el proyecto, que diseñen estrategias y, sobre todo, que tengan buenas relaciones con diversas comunidades científico-tecnológicas y con los expertos en política científica. Si, además, su imagen inspira confianza al público y a los potenciales inversores, tanto mejor. Los méritos científicos son necesarios, pero no bastan para situarse en ese nuevo escenario de la tecnociencia: el despacho de dirección de un macroproyecto de investigación. Este tipo de procesos de selección están basados en varios sistemas de valores y manifiestan los valores efectivos de la tecnociencia.

En segundo lugar, una de las primeras decisiones de Watson fue que un 5% del PGH estaría dedicado a investigar las repercusiones éticas, legales y sociales del nuevo proyecto. Como veremos en el capítulo 5, esa decisión implica el reconocimiento explícito de que los valores sociales, jurídicos y morales también son relevantes en la investigación macrocientífica, al menos para estudiar sus consecuencias, algo que hubiera sido impensable en la época de la segunda guerra mundial, cuando los valores y los objetivos militares primaban sobre cualesquiera otros, incluidos los económicos. Así surgió el subprograma ELSI (*Ethical, Legal and Social Implications*), que ha tenido gran importancia como modelo a seguir en política científica. Aunque fuera de manera periférica (5%),

64. Ver K. Davies, *La conquista del genoma humano*, Barcelona, Paidós, 2001, capítulo 1. Seguiremos la exposición que hace Davies.

las cuestiones jurídicas, morales y sociales comenzaron a tener una cierta presencia en el diseño mismo de los macroproyectos.

En tercer lugar, para desarrollar el programa se creó un nuevo centro de investigación: el National Center for Human Genome Research, siguiendo el modelo Bush de política científica, pero en este caso con Watson a la cabeza. No hay grandes acciones tecnocientíficas sin nuevos agentes institucionales o empresariales, que pasan a insertarse en los sistemas nacionales de ciencia y tecnología. En este caso, el proyecto desbordó las fronteras nacionales, puesto que centros importantes del Reino Unido, Francia, Alemania y Japón decidieron colaborar con el NCHGR, aportando financiación, recursos humanos y equipamientos, entre otras cosas. La coordinación del proyecto fue internacional, lo que convirtió en indispensables las redes telemáticas para interconectar los diversos participantes en el consorcio tecnocientífico. El Nuevo Centro fue diseñado como un laboratorio-red, en el sentido que hemos atribuido a este término en el apartado 2.1.

En cuarto lugar, un fuerte conflicto de valores entre el Director Científico del Proyecto, Watson, y la dirección político-financiera (representada por Bernardine Healy, nombrada Directora de los NIH por George Bush en abril de 1991), acabó forzando al dimisión de Watson:

Healy había apoyado enérgicamente la polémica decisión del NIH de solicitar la patente de los centenares de fragmentos génicos identificados por su científico Craig Venter, aunque sólo fuera para que la oficina de patentes se definiera sobre la posibilidad de patentar genes sin ninguna función conocida. Watson censuraba la investigación de Venter y estaba muy indignado con la decisión de Healy de seguir adelante con la solicitud de patentes. Por si fuera poco, Healy le pidió a Venter que la asesorara sobre el futuro de la investigación del genoma humano en los NIH al tiempo que le decía a Watson que se abstuviera de expresar más críticas en público⁶⁵.

Ya en esta primera escaramuza del PGH podemos comprobar que no basta con ser un gran científico para ser un buen gestor científico. La

65. K. Davies, 2001, *o.c.*, p. 52. Conviene señalar que Healy reprochó a Watson que fuera accionista de algunas empresas biotecnológicas, porque ello podía generar conflictos de intereses. Watson replicó que casi todos los investigadores destacados eran accionistas de ese tipo de empresas.

apropiación del conocimiento, en este caso genético, forma parte de la estructura de la tecnociencia, a diferencia de la ciencia, en la que el conocimiento es un bien común que se hace público, salvo excepciones. Aun trabajando para los NIH, Venter representaba bien al empresario tecnocientífico que luego llegó a ser al fundar Genoma Celerics y defendía los valores empresariales junto a los valores tradicionales de la ciencia, como la publicidad del conocimiento. El mapa del genoma, y sobre todo su ulterior secuenciación, no sólo es un bien epistémico. En la época de la tecnobiología, ante todo es un bien económico, o por decirlo en términos más claros, una nueva modalidad de capital. La administración Reagan ya había decidido en la década anterior que el Gobierno debía ser reemplazado por la iniciativa privada para liderar la investigación científica, siempre que ello fuera posible. No es de extrañar que la administración Bush retomara esa política, pese al enorme prestigio nacional e internacional de Watson.

A Watson le sucedió Francis Collins, aunque Venter fue incrementando su prestigio. A partir de 1986 introdujo el método de *secuenciación automática*, recurriendo para ello a una de las pocas máquinas secuenciadoras entonces existentes, que permitía analizar cientos de genes al mismo tiempo, mientras que los demás investigadores los estudiaban uno a uno⁶⁶. De esta manera daba un paso decisivo hacia la conversión de la genética en tecnogenética. A partir de esa fecha, todas las investigaciones de Venter contaron con grandes equipamientos informáticos. En 1991, Venter y Adams concibieron un nuevo método de secuencia, el EST (*expressed sequence tag*), con el que se abrió la polémica de las patentes en el PGH. Craig Venter culminó su trayectoria en 1998, cuando comunicó a Collins, el sucesor de Watson, que iba a crear una nueva empresa que secuenciaría el genoma antes de 2005, fecha inicialmente prevista para el proyecto PGH. Para ello iba a recurrir a una nueva técnica de secuenciación, a centenares de máquinas secuenciadoras y a uno de los superordenadores más potentes. Dicho propósito fue publicitado en la prensa, con el fin de atraer financiación. La creación de Celera Genomics obligó a que PGH incrementara sus fondos para poder competir con Venter en la carrera tecnocientífica. Durante dos años, la contienda tecnogenética se

66. La ABI 373A, fabricada por *Applied Biosystems*, había sido diseñada para secuenciar ADN.

desarrolló en los laboratorios, los despachos financieros y los medios de comunicación. La mediación del Presidente Clinton puso fin a esta «controversia tecnocientífica», llegando ambos equipos a un pacto en junio de 2000. Al final, el equipo público y el privado pudieron anunciar el 2002 la culminación del trabajo.

Sin embargo, Celera Genomics había introducido importantes novedades en la práctica investigadora, que rápidamente fueron imitadas por otras empresas de tecnobiología. Aparte de las ya comentadas (patentes, uso masivo de ordenadores, campañas de comunicación en *mass media*, etc.), hay una derivación que nos interesa resaltar, porque ilustra muy bien la vinculación entre la tecnociencia y la economía de la información y el conocimiento.

En 1992, Reid Adler, Director de la Oficina de Transferencia Tecnológica de los NIH, había intentado patentar las primeras 2500 secuencias génicas parciales obtenidas con el método EST. Tras una gran polémica en todo el mundo, en la que intervino el Vicepresidente Al Gore (aparte de John Watson, claro), la Oficina de Patentes norteamericana rechazó la solicitud, en buena medida porque intentaba patentar no sólo las secuencias parciales, sino también los genes subyacentes, muchos de los cuales todavía estaban por identificar. Tras una segunda tentativa con 4448 EST, los NIH renunciaron a pedir más patentes. Para entonces, Venter había dejado de trabajar para los NIH, debido a que una solicitud suya de un proyecto de investigación de 10 millones de dólares había sido rechazada. Pasó a dirigir el Institute for Genomic Research (TIGR), institución sin ánimo de lucro financiada con 70 millones de dólares por un mecenas, Wallace Steinberg. El Instituto fue equipado con 30 secuenciadores automáticos ABI 373A, 17 estaciones ABI Catalyst y una base de datos relacional instalada en un ordenador Sun SPARC Center 2000 de gran potencia. El objetivo inmediato consistía en multiplicar por 10 el ritmo de producción de EST, por lo que el Instituto se convirtió en una gran factoría tecnocientífica, con la peculiaridad de que sólo producía secuencias, es decir, información. A largo plazo, el objetivo científico consistía en investigar la evolución comparando las secuencias de las diversas especies. Se trataba, por tanto, de un macroproyecto estrictamente info-genético, en donde todos los instrumentos eran tecnologías de información y comunicación. Por tanto, consideraremos al TIGR como el principal canon de empresa tecnobiológica de finales del siglo XX.

Mas las novedades no acabaron ahí. Para recuperar su inversión, Steinberg creó una empresa asociada al Instituto, Human Genome Sciences (HGS), y le cedió un 10% de las acciones a Venter, por haber sido cofundador de la misma. El éxito ulterior de TIGR entre los científicos, y el éxito empresarial paralelo de HGS, convirtió a Venter en uno de los primeros científicos que llegaron a ser multimillonarios. La investigación tecnogenética no sólo podía ser rentable para los empresarios que la financiaban, sino también para los propios investigadores.

A partir de 1993, HGS se fue convirtiendo en una empresa farmacéutica. Su estrategia consistió en vender el acceso a la base de datos ETS a las empresas del ramo. En mayo de 1993, una empresa británica (SmithKline-Beecham) pagó 125 millones de dólares por el 7% de las acciones de HGS junto con el derecho exclusivo para comercializar los ETS. El conocimiento científico de la base de datos del TIGR se había convertido en capital puro y duro, que comenzó a ser altamente rentable para Steinberg y Venter. Este último y el Presidente de HGS, Haseltine, llegaron a ocupar la portada de la revista *Business Week*: había surgido un modo de hacer negocios con el conocimiento científico. La base de datos relacional del TIGR se convirtió en una auténtica mina de conocimiento, que era generado por Venter y su equipo de científicos con ayuda de nuevos equipamientos informáticos, cada vez más potentes. La revolución tecnocientífica en Biología encontró así uno de sus más destacados *ejemplares*, en el sentido kuhniiano del término. La práctica científica se transformó radicalmente, debido a que a la investigación se le superponía una estrategia empresarial novedosa y rentable.

Los científicos recibieron este cambio con significativas muestras de rechazo, pero empresas similares comenzaron a proliferar por todo el mundo y no faltaron investigadores trabajando en ellas. El propio Venter acabó fundando su propia empresa, como vimos. En cualquier caso, cabe afirmar que la transformación más radical de la estructura de la práctica científica en biología se produjo en la década de los 90 en el TIGR, siendo Craig Venter y sus socios quienes lideraron esa revolución tecnocientífica en biología.

Habría muchas más cuestiones a comentar, pero ya nos hemos extendido suficientemente sobre el PGH y su ulterior privatización como HGS, y ulteriormente como Genoma Celerics.

Para resumir este primer análisis sobre la emergencia de la tecnobiología, diremos que la informática y las disciplinas surgidas de las *computing sciences* han tenido un papel muy importante en la transformación de la biología, y en particular de la genética. La secuenciación de los genes es ante todo una operación tecnológica, que requiere considerables medios y habilidades técnicas. Los datos que se obtienen (el mapa del genoma humano, por ejemplo) son estrictamente informáticos, de modo que sólo pueden ser representados con ayuda de potentes ordenadores. La empresarialización de la actividad investigadora es muy habitual en genética. Por otra parte, hemos comprobado que el Proyecto Genoma acabó generando auténticos *bancos de conocimiento*, que produjeron considerables beneficios económicos. En conjunto, también en el caso de la biología cabe decir que a finales del siglo XX ha surgido una tecnobiología con fuerte impronta informática y empresarial. Los avances del conocimiento que ha suscitado son indudables, pero también es constatable la profunda transformación de la práctica científica que ha tenido lugar a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, y ante todo en su década final.

g) Tecnogeología

Los satélites de observación y las tecnologías informáticas han modificado profundamente el modo de hacer los planos geológicos de la Tierra, la Luna o Marte, transformando por completo el conocimiento y la práctica geológica. Algunos instrumentos de observación permiten detectar objetos o sustancias concretas a bastantes metros de profundidad. Las sondas tradicionales eran mecánicas, las actuales son telemáticas. De nuevo estamos ante un ejemplo claro de tecnociencia.

También en este caso la informática desempeña una función básica, por ejemplo mediante las técnicas de representación tridimensional. Nos limitaremos a citar cómo los propios geólogos conciben esta revolución tecnogeológica, o infogeológica, como también podría ser denominada: «en la actualidad, los geólogos están participando en una revolución técnica que ha ampliado enormemente las posibilidades de la visualización y la interpretación científica mediante el uso de técnicas sofisticadas de presentacio-

nes tridimensionales»⁶⁷. Estas técnicas son imprescindibles para simular los procesos geológicos, es decir, para representar informáticamente el conocimiento científico. Conviene resaltar que este tipo de tecnologías han sido fuertemente impulsadas por las compañías petroleras, obviamente interesadas en el avance de la tecnobiología y de la tecnogeología. Los departamentos de investigación de dichas empresas utilizan habitualmente los ordenadores más potentes del mercado (CRAY I y II, etc.), por lo que también en este caso podemos afirmar que la tecnogeología se ha desarrollado ampliamente en el último cuarto del siglo XX. Aun así, los expertos en la materia afirman que «uno de los axiomas de los procesos de simulación informática es que los ordenadores nunca proporcionan el poder computacional que satisfaría las necesidades de los geólogos»⁶⁸. Disponer de grandes equipamientos informáticos es una condición necesaria para investigar en geología y para aplicar a la industria del petróleo dichos conocimientos.

Las nuevas tecnologías de la información y la telecomunicación se utilizan también para la teledetección geológica y para la simulación de los grandes cataclismos que se producen en el globo terrestre: volcanes, terremotos, maremotos, etc. Otro tanto cabe decir de la geología marina, cuyo avance está estrechamente vinculado a las nuevas tecnologías. En conjunto, la tecnogeología se ha desarrollado enormemente en las últimas décadas, lo cual no impide que siga existiendo la geología clásica, basada en los métodos tradicionales de la ciencia. También en este caso cabe distinguir entre geología y tecnogeología, sin perjuicio de que ambas tengan un tronco común, porque la segunda procede de la primera. La síntesis entre ciencia y tecnología constituye, en este caso, la nota más destacada. Pero también se observa la estrecha vinculación con las grandes empresas, en particular las compañías petroleras.

h) Tecnociencias sociales

La aplicación de la estadística transformó por completo la sociología, que pasó a ser una disciplina empírica. Lo importante es subrayar que tam-

67. R. Pflug, «Three-dimensional Computer Graphics in Geology», en R. Pflug y J. W. Harbaugh (eds.), *Computer Graphics in Geology*, Berlín, Springer, 1992, p. XIII.

68. J. W. Harbaugh, «Major Issues in Simulating Geologic Processes», *Ibid.*, p. XVII.

bién en este caso, dada la complejidad de las sociedades, la tecnología es un requisito imprescindible para obtener datos empíricos, así como para procesarlos, almacenarlos, compararlos entre sí, etc. Las encuestas de opinión son un buen ejemplo de lo que decimos, al igual que la elaboración de los censos. La utilización de lectoras ópticas automatizadas para procesar los datos brutos muestra de nuevo que también en el caso de la sociología la obtención de datos empíricos significativos sería imposible sin recurrir a diversas herramientas tecnológicas. Otro tanto cabe decir en el caso de la economía, cuyos investigadores recurren una y otra vez a simulaciones informáticas para modelizar la situación de la economía en los diversos países. Hoy en día es imposible tener una representación del estado económico de un país sin recurrir a las herramientas que permiten el procesamiento de datos y la elaboración de simulaciones para hacer prognosis sobre la evolución económica.

Los ejemplos podrían multiplicarse, pero no merece la pena detenernos en ello. Entendemos que este breve recorrido por diversas ciencias (naturales y sociales) ilustra suficientemente la emergencia de la tecnociencia y, en muchos casos, su relevancia dentro de cada disciplina concreta. Obsérvese que en todos esos casos la informática juega un papel importante, sin perjuicio de que también intervengan otras tecnologías. Por eso decimos que *la informática es el formalismo de la tecnociencia*, al modo en que la matemática fue el formalismo principal de la ciencia moderna. La ciencia escribía los datos empíricos, la tecnociencia los infoescribe. El procesamiento y la transmisión de esos datos también se lleva a cabo por vías informáticas y telemáticas, al igual que la presentación de los resultados que se obtienen a partir de ellos. Las técnicas de visualización científica, por otra parte, permiten convertir esos datos en imágenes y en modelos científicos. La construcción de modelos científicos, habitualmente matematisados, ha sido una de las características distintivas del saber del saber científico. A partir de esos modelos se emitían las hipótesis y se llevaban a cabo las contrastaciones empíricas. En el caso de la tecnociencia ese tipo de modelos no bastan y es preciso recurrir a modelos informáticos, cuyo manejo requiere equipamiento y habilidades tecnológicas específicas. Por ello los equipos de investigación tecnocientífica tienen que estar compuestos por científicos y tecnólogos. Para llevar adelante dichas investigaciones son precisos ambos tipos de conocimiento. Es otra de las razones que arguimos para hablar de tecnociencia, y no sólo de ciencia.

Como conclusión de este apartado, diremos que el test de las tecnociencias específicas ofrece resultados satisfactorios. Aunque no toda la ciencia se ha convertido en tecnociencia, sí cabe afirmar que en todas las ciencias se ha producido la emergencia de esta nueva modalidad de ciencia. Los numerosos rasgos distintivos que hemos propuesto en los apartados 2.1 y 2.2 valen en principio para distinguir la ciencia de la tecnociencia. En el resto de este libro los tomaremos como puntos de partida para nuestra indagación.

Las revoluciones tecnocientíficas

I. LA CONCEPCIÓN KUHNIANA DE REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

La obra de Kuhn ha tenido una gran influencia, ante todo en filosofía, historia y sociología del conocimiento científico. En este capítulo partiremos de sus propuestas, con el fin de examinarlas críticamente a la luz de los cambios experimentados por la ciencia en la segunda mitad del siglo XX. Según Kuhn, «la característica esencial de las revoluciones científicas es su alteración del conocimiento de la naturaleza intrínseco al lenguaje mismo»¹. Las revoluciones tecnocientíficas a las que vamos a referirnos no caen bajo esa caracterización, ni por lo que respecta al conocimiento, ni a la naturaleza, ni al lenguaje. Contrariamente a Kuhn, mantendremos que las revoluciones tecnocientíficas:

1) No alteran únicamente el conocimiento, sino ante todo la práctica científica y tecnológica. El conocimiento es uno de los resultados de las acciones tecnocientíficas, no el único, ni en ocasiones el más importante. Por otra parte, no hay conocimiento tecnocientífico sin acciones previas, por lo que conviene analizar en primer lugar las acciones. Durante el siglo XX, las principales teorías científicas han seguido siendo aceptadas. Salvo en algunas ciencias (cosmología, genética, etc.), no ha habido crisis de los principales paradigmas. Sin embargo, se ha producido otro tipo de transformación, que afecta ante todo a la práctica científica: la aparición de macrociencias y tecnociencias. Para explicar esa transformación, la epistemología tradicional es insuficiente, incluida la epistemología kuhniana. Las revoluciones tecnocientíficas son praxiológicas, no epistemológicas ni metodológicas. Aunque generan nuevas teorías y nuevas disciplinas científicas, ello es un efecto derivado de la gran transformación en la estructura de la actividad científica.

¹ T. S. Kuhn, *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Barcelona, Paidós, 1989, p. 92.

2) Las tecnociencias modifican el mundo social, no sólo la naturaleza. Lo principal es la transformación del mundo que producen, y en particular del mundo social. El conocimiento científico es un medio para modificar la correlación de fuerzas en una guerra, para obtener beneficios económicos en el mercado, para mejorar la salud de un país, etc. Dicha transformación se logra desarrollando (I+D) los resultados de la investigación científica y tecnológica mediante empresas, organizaciones militares, instituciones políticas, etc., que son las que producen la transformación social al basar sus acciones y sus estrategias en los resultados de la tecnociencia. Los cambios gnoseológicos que provocan las revoluciones tecnocientíficas son instrumentales. Si no generan desarrollo tecnológico e innovación, no son cambios tecnocientíficos, sino únicamente científicos. La tecnociencia no sigue el programa baconiano, conocer bien la naturaleza para poderla dominar mejor, sino que se orienta hacia la transformación, el control y en algunos casos el dominio de las sociedades y los seres humanos. La tecnociencia es una nueva modalidad de poder, que se plasma en la organización de los sistemas de ciencia y tecnología en los diversos países. Por ello está estrechamente vinculada al poder político, económico y militar.

3) Las revoluciones tecnocientíficas conllevan un profundo cambio en el lenguaje científico y tecnológico, pero dicha transformación no atañe a las relaciones de significado entre el lenguaje y la naturaleza, que son las que preocuparon a Kuhn. Según él, las revoluciones científicas «alteran el lenguaje con el que se describe la naturaleza»². Se trata de lo que Kuhn había denominado en muchos de sus escritos «cambio de significado» y que en el ensayo *¿Qué son las revoluciones científicas?* volvió a caracterizar como «un cambio en el modo en que las palabras y las frases se relacionan con la naturaleza, es decir, un cambio en el modo en que se determinan sus referentes»³.

Ulteriormente indicaremos más diferencias entre las revoluciones científicas y las tecnocientíficas. Por el momento, nos detendremos en la cuestión del lenguaje, donde nuestra oposición a Kuhn está basada en un matiz muy importante, que conviene dejar claro.

Cuando Kuhn se refiere al lenguaje científico, piensa en una relación referencial entre las palabras y la naturaleza. El problema que más le ocu-

pó fue el de los conceptos científicos y sus cambios de significado cuando se producen revoluciones científicas, así como la aparición de nuevos conceptos. En el caso de las revoluciones tecnocientíficas, también surgen nuevos lenguajes: los lenguajes informáticos de cada disciplina. Pero la función de dichos lenguajes no es la de los lenguajes naturales ni la de los lenguajes científicos (términos teóricos, términos observacionales, enunciados de leyes, formulación de hipótesis explicativas, etc.). Aunque pueden referirse a cosas y objetos, ello es secundario.

Ante todo, los lenguajes informáticos *ordenan acciones*. Un lenguaje de programación está basado en comandos para que una máquina lleve a cabo determinadas acciones cuando se den una serie de condiciones previamente fijadas. Dicho más intuitivamente: cuando pulsamos un teclado de ordenador, un ratón o una pantalla táctil, ordenamos que una máquina previamente programada ejecute una acción que queremos llevar a cabo. Si la acción resultante no es la prevista, o nos hemos equivocado al operar, o la máquina no funciona bien o no está bien programada. En las acciones tecnocientíficas, los errores, las torpezas y las equivocaciones tienen una importancia capital. Se trata de errores técnicos, que inciden radicalmente sobre los resultados que se obtienen. Por ello, lo primero que hay que comprobar es que las máquinas funcionan bien y que las acciones han sido bien realizadas. La *corrección* de las acciones es condición necesaria, aunque no suficiente, de la validez de los resultados. En una fase ulterior habrá que contrastar esos resultados (datos, imágenes, modelos, simulaciones) con el mundo. En ese segundo estadio entramos en el ámbito de la semántica y de las relaciones de significación, típico de la ciencia. Pero en el caso de la tecnociencia la mediación técnica es imprescindible, así como la corrección de las acciones, tanto al ser realizadas como, sobre todo, en su diseño previo. Por ello estamos ante una nueva modalidad de ciencia, la tecnociencia, donde lo primero es la corrección, el control y la comprobación de las acciones técnicas prediseñadas por un experto y luego realizadas por un operador, o a veces por una máquina, cuando el diseño implica automatismo. Las cuestiones semánticas son relevantes en la tecnociencia, pero el diseño, la adecuación y la realización correcta de las acciones es un problema previo y diferente al estudiado por Kuhn. Por decirlo en términos de Hacking, primero se interviene, luego se representa⁴.

2. *Ibid.*

3. Kuhn, *o.c.*, p. 87.

4. I. Hacking, *Representar e intervenir*, México, FCE, 1997.

Al reducir la filosofía al problema de las representaciones lingüísticas y conceptuales del conocimiento nos estamos olvidando de lo que hemos hecho previamente para obtener los datos que representamos.

De lo anterior se derivan importantes consecuencias filosóficas. En primer lugar, no hay hechos tecnocientíficos sin acciones previas. Los hechos no vienen dados por la naturaleza, no se ofrecen a nuestra experiencia inmediata, suscitando nuestra curiosidad. Por el contrario, han de ser obtenidos tras desplegar enormes aparatos de observación y experimentación, los cuales han de funcionar bien. Por ejemplo, cuando los físicos utilizan un acelerador de partículas, diseñan cuidadosamente los experimentos que van a realizar. Dichos experimentos son muy costosos y por ello han de ser proyectados con todo cuidado y precisión. Si, tras haber llevado a cabo un experimento concreto, se cree haber descubierto una partícula elemental nueva, su existencia siempre es inferida a partir de los datos ofrecidos por el acelerador y los demás instrumentos que lo implementan. Cualquier error de los aparatos o de los operadores, por mínimo que sea, invalida por completo el experimento. Por ello la investigación tecnocientífica supone controles continuos, repeticiones, comprobaciones de que no hubo errores, etc. Es una condición necesaria para proseguir, que no garantiza el éxito, pero cuya ausencia asegura el fracaso. Una vez comprobada la corrección del diseño y de la ejecución, los datos obtenidos por el acelerador pasan a ser hechos científicos, previa repetición del experimento y ulterior comprobación por parte de otros operadores. A partir de ahí puede aplicarse la metodología científica clásica, elaborando hipótesis, interpretando los hechos, intentando explicarlos (o incluso predecirlos), formulando leyes, etc. Pero esas cuestiones semánticas y epistemológicas son palabras vacías si se descubre un pequeño error en alguna acción, o un mal funcionamiento de los aparatos, o algún factor imprevisto en el diseño del experimento. Estas exigencias técnicas previas plantean cuestiones filosóficas de envergadura, por ejemplo la necesidad de disponer de una teoría de la *acción correcta*, no sólo del conocimiento justificado o válido. La historia de la tecnociencia está plagada de *falsos hechos*, derivados de acciones incorrectas por parte de los experimentadores, incluido el diseño inadecuado de los experimentos.

Asimismo es preciso comparar las acciones previstas y las efectivamente realizadas, para ver el grado de adecuación entre unas y otras. En tal caso estamos ante un problema de correpondencia y adecuación en-

tre acciones, que nada tiene que ver con la verdad como adecuación de los filósofos clásicos, sino con el problema de la intercorrespondencia entre acciones independientemente del operador que las lleve a cabo. Al investigar científicamente, diferentes operadores repiten las mismas acciones una y otra vez, a veces con distintos aparatos, pudiendo obtener resultados levemente diferentes entre ellos, como es frecuente. Todos estos problemas son praxiológicos y, desde luego, anteriores a los problemas epistemológicos que luego, por ser la tecnociencia una modalidad de ciencia, también se suscitan. Diremos por tanto que la noción de verdad como correspondencia, típica de la ciencia moderna, está subordinada a la corrección previa de las acciones. Más adelante veremos que, en términos kuhnianos, el problema más grave de la tecnociencia consiste en la inconmensurabilidad entre las prácticas de unos operadores y otros, máxime si dicha incompatibilidad la producen máquinas contruidas por empresas tecnocientíficas rivales. En tales casos, el primer problema es la fiabilidad de los instrumentos. Algunas de estas antinomias técnicas ya surgieron en la ciencia moderna⁵, pero con la emergencia de la tecnociencia se han convertido en cuestiones previas a resolver, antes de abordar los problemas semánticos. Los sistemas tecnológicos que sirven de apoyo a las investigaciones científicas hoy en día son tan complejos que el control de las acciones y de los instrumentos es absolutamente imprescindible si queremos aceptar un determinado resultado como un hecho científico.

En las revoluciones tecnocientíficas se produce un cambio radical en lo que respecta al lenguaje. Los infolenguajes o lenguajes informáticos son uno de los rasgos distintivos de las tecnociencias. Operamos con ordenadores y con otros artefactos tecnocientíficos produciendo cambios sígnicos (datos, imágenes, sonidos, etc.). Aquí es donde intervienen los lenguajes informáticos, por mencionar únicamente el lenguaje tecnocientífico canónico. Otro tanto ocurre cuando no es el ser humano el que actúa, sino que los cambios de estado en los sistemas estudiados son detectados por las máquinas (detectores, sensores, robots, buscadores, traductores automáticos, sondas espaciales, satélites, etc.), provocando

5. Recuérdese la negativa de Bellarmino a mirar por el telescopio de Galileo, o los diferentes resultados ópticos que se obtenían en la época de Newton al usar unas lentes u otras.

automáticamente las acciones de los aparatos. A continuación, y como efecto de dichas acciones, tendremos imágenes o datos de objetos diversos (naturales, sociales, artificiales) en las diversas pantallas y registros de datos. Estaremos nuevamente en relación referencial o de significado. Mas, cuando ello sucede, ya no estamos usando el infolenguaje. Ese lo usamos al pulsar la tecla, hacer clic con el ratón o accionar el mando a distancia. Antes de que lleguemos a utilizar los lenguajes naturales o científicos, ya hemos efectuado acciones tecnológicas basadas en lenguajes de programación. Los *tecnolenguajes*, por decirlo genéricamente, son un requisito indispensable para que se produzcan acciones tecnocientíficas. Hasta los propios lenguajes naturales y científicos (descriptivos, referenciales, significativos, etc.) se transforman por influencia de las tecnociencias, convirtiéndose en tecnolenguajes. Por otra parte, surgen nuevos tecnolenguajes, desconocidos antes de la revolución tecnocientífica: el TEX de los matemáticos, la visualización científica y los infolenguajes genéticos son buenos ejemplos, como vimos en el apartado 2.3. Estos últimos son códigos y lo importante es la sintaxis, no la semántica.

En resumen, y para no detenernos excesivamente en este punto, las revoluciones tecnocientíficas conllevan un cambio de lenguaje muy importante, y en esto coincidimos con Kuhn. Pero los tecnolenguajes no son referenciales y tampoco se refieren a la naturaleza, al menos en primera instancia. Las referencias de los lenguajes informáticos no son objetos naturales, sino info-objetos. Los datos y las hipótesis se contrastan en ese nuevo espacio semiótico mediante simulaciones informáticas, modificación de parámetros, etc. La caracterización kuhniana de las revoluciones científicas resulta insuficiente para las tecnocientíficas, porque los tecnolenguajes informáticos son de índole muy distinta a los lenguajes científicos clásicos.

2. LOS PARADIGMAS CIENTÍFICOS, SEGÚN KUHN

Recordemos brevemente las principales propuestas de Kuhn sobre las revoluciones científicas. Los filósofos de la ciencia más relevantes de mediados del siglo XX (Carnap, Popper, Hempel, etc.) habían centrado sus reflexiones en las teorías científicas, que eran consideradas como las unidades básicas para el análisis filosófico e histórico de las ciencias. Toulmin

y Hanson plantearon las primeras críticas a este modelo «teoreticista», pero fue Kuhn quien consiguió ponerlo radicalmente en cuestión. El propósito la noción de *paradigma* para designar ese marco común que aglutina y pone de acuerdo a los científicos y que es mucho más amplio que las teorías, entendidas éstas como conjuntos de enunciados. Como ha indicado Pérez Ransanz, Kuhn usa ese término en dos sentidos diferenciados:

- 1) Paradigma como ejemplo de solución exitosa (y sorprendente) de cierto tipo de problemas, que es reconocido por toda la comunidad pertinente, y
- 2) paradigma como conjunto de compromisos compartidos por una comunidad de especialistas»⁶.

Esta propuesta general, así como sus concreciones ulteriores (distinción entre ciencia normal y ciencia revolucionaria, anomalías, crisis de un paradigma, revolución científica, etc.), fueron expuestas en el libro *Estructura de las revoluciones científicas*, que fue publicado en 1962⁷, y luego matizadas en el *Postscript* de 1969 y en sus *Segundos Pensamientos sobre Paradigmas*⁸. En esta revisión, Kuhn partió de un criterio sociológico para la identificación de los paradigmas: «un paradigma es lo que los miembros de una comunidad científica, y sólo ellos, comparten»⁹. A continuación se preguntó por dichos compromisos compartidos y propuso una nueva expresión para aludir a los paradigmas como conjunto de compromisos compartidos: *las matrices disciplinarias*. Los científicos no sólo comparten teorías, sino algo más amplio, las matrices disciplinares, las cuales tienen al menos cuatro componentes: las generalizaciones simbólicas, los modelos, los valores y los ejemplares. En cualquier caso,

6. A. R. Pérez Ransanz, *Kuhn y el cambio científico*, México, FCE, 1999, p. 35.

7. T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1962, aunque la edición canónica es la de 1970, corregida y aumentada por el propio Kuhn. Citaremos por la traducción al español de esa segunda edición (México, FCE, 1971), pese a algunas deficiencias en dicha traducción. Pérez Ransanz señala que esta obra de Kuhn ha vendido más de un millón de ejemplares en todo el mundo. Cabe decir que ha sido la obra más influyente en los estudios sobre la ciencia de la segunda mitad del siglo XX.

8. Traducido en el volumen del mismo título (Madrid, Tecnos, 1978), así como en T. S. Kuhn, *La tensión esencial*, México, FCE, 1982, apartado XII, pp. 317-343. Citaremos por esta última edición.

9. Kuhn 1982, *o.c.*, p. 318.

las diversas acepciones de la noción kuhniana de paradigma siempre están vinculadas a la existencia de comunidades científicas.

En cambio, las tecnociencias no las hacen las comunidades científicas, sino entidades más complejas, las *empresas tecnocientíficas*. Desde un punto de vista teórico, los miembros de estas empresas comparten muchas menos cosas que las comunidades científicas. En particular, no comparten los mismos lenguajes, los mismos valores ni los mismos objetivos, lo cual no les impide colaborar en una misma empresa investigadora. En algunos casos ni siquiera comparten el conocimiento científico, salvo muy someramente: el conocimiento científico y tecnológico es algo instrumental para algunos miembros relevantes de las empresas tecnocientíficas. Por ejemplo, el director de una empresa de I+D puede tener ante todo una formación de gerente o director de empresas, siempre que cuente a su lado con un buen consejero científico y otro tecnológico. Otro tanto cabe decir de los expertos en política científica, de los Directores de Agencias gubernamentales o de los consejeros militares especializados en I+D. A estas personas les interesa el conocimiento científico, pero no como fin en sí mismo, sino como medio para lograr mejor sus propios fines. En algunas ocasiones este tipo de agencias tecnocientíficas están dirigidas por científicos o ingenieros con alto conocimiento en la materia, en otras basta con un conocimiento muy somero de las teorías y saberes que permiten la investigación y la innovación. No han faltado expertos en humanidades que han asumido eficazmente la dirección de importantes agencias tecnocientíficas. Por tanto, en las empresas tecnocientíficas no se requiere un conocimiento compartido, ni mucho menos la aceptación de un determinado paradigma epistemológico. Pueden utilizarse incluso paradigmas opuestos, con el fin de probar cuál de los dos ofrece mejores resultados desde el punto de vista de la innovación. De hecho, para llevar adelante un macroproyecto de investigación, no es raro financiar a equipos investigadores que trabajan paralelamente desde perspectivas teóricas y metodológicas diversas. Lo importante es el logro de los objetivos del proyecto, no las creencias epistémicas de los investigadores. Un director de un macroproyecto de investigación puede contar con grupos cuyas hipótesis, procedimientos y métodos de trabajo son muy distintos, e incluso incompatibles. De hecho, es frecuente que así sea, como comprobamos en el caso del proyecto Manhattan. Las empresas tecnocientíficas ponen a competir entre sí a los diversos equipos de

científicos e ingenieros y lo que cuenta es el logro de los objetivos previstos, no la mayor o menor verosimilitud de las hipótesis teóricas de partida. Los paradigmas científicos se contrastan en la práctica, en función de los resultados obtenidos. Quien dirime la rivalidad no es la comunidad científica, sino el agente tecnocientífico (militar, empresarial, político) que ha encargado y contratado la realización de dichas investigaciones con dos equipos que rivalizan entre sí. Otro tanto cabe decir en el caso de las empresas de I+D. A los gerentes de dichas empresas les interesa el conocimiento que genera desarrollo e innovación. La verosimilitud de las teorías de partida no les preocupa en absoluto, siempre que sirvan para generar nuevos productos que resulten competitivos en el mercado.

La noción de comunidad científica, tal y como fue concebida por Merton y desarrollada por Kuhn y otros, resulta insuficiente para analizar la tecnociencia y para identificar los posibles «paradigmas tecnocientíficos». Todo ello en el supuesto de que el término «paradigma» resulte adecuado para hablar de la tecnociencia, lo cual está por ver. Por el momento, hablaremos de empresas tecnocientíficas que utilizan instrumentalmente unos u otros paradigmas (o teorías) con el fin de obtener resultados valiosos. En la tecnociencia estamos ante acciones técnicas, tal y como éstas quedaron definidas en el capítulo primero. Si un laboratorio de investigación básica se inserta en una empresa tecnocientífica, incluso sus investigaciones devienen acciones técnicas, porque forman parte de un sistema más complejo en el que las propias teorías e hipótesis científicas tienen una función puramente instrumental. Un científico puede hacer hallazgos muy importantes desde el punto de vista científico, pero si esos logros no contribuyen al desarrollo del proyecto tecnocientífico en el que está inserto, será arrinconado, y en último término excluido de dicho proyecto. Seguirá siendo un científico, pero no se habrá convertido en un tecnocientífico. Para serlo, es preciso subordinar los intereses epistémicos a los objetivos generales del proyecto. La historia de la tecnociencia está llena de ejemplos donde se manifiesta el malestar de los científicos ante la nueva situación, por ejemplo cuando se prima ante todo la obtención de patentes industriales como resultado de la investigación. Aquellos científicos que asumen la pluralidad de valores de la tecnociencia, en cambio, llegan a convertirse en auténticos empresarios tecnocientíficos, como vimos en el caso de Craig Venter.

Por otra parte, para que una empresa tecnocientífica desarrolle bien sus actividades es preciso dilucidar cuál es su organización más adecuada, asignando tareas, responsabilidades y funciones. Un científico o un ingeniero que trabajan como investigadores en una empresa tecnocientífica pueden ignorar por completo el sentido último de sus acciones, cosa que no ocurría en los laboratorios clásicos. Los «paradigmas» tecnocientíficos, caso de haberlos, han de ser muy distintos a los paradigmas kuhnianos, debido a que, por encima de las comunidades científicas e ingenieriles, ha surgido una nueva modalidad de agente tecnocientífico, la empresa pública o privada de I+D+i, cuyas acciones tienen sentido en el marco de una red de empresas tecnocientíficas. Una empresa tecnocientífica pública (por ejemplo una Agencia o un Laboratorio Nacional –o multinacional, como el CERN) difiere radicalmente de una empresa tecnocientífica privada por sus objetivos, fuentes de financiación, procedimientos de gestión, constricciones legales y criterios de valoración de los resultados que se deriven de su actividad. Luego competirán entre sí, por ejemplo en el Proyecto Genoma, pero esa competencia no sólo atañe al conocimiento, sino ante todo a las patentes, las aplicaciones, la implantación en el mercado, la publicidad de los resultados, etc. En particular, las empresas tecnocientíficas compiten entre sí a la hora de integrar en sus plantillas a los mejores científicos e ingenieros. La rivalidad entre paradigmas adquiere un sentido completamente diferente en el caso de las tecnociencias.

3. COMPONENTES DE LOS PARADIGMAS

Volvamos a Kuhn, analizando las diversas componentes de sus paradigmas. Las generalizaciones simbólicas son las componentes formales de los paradigmas: unas veces se presentan como fórmulas matemáticas ($f = m \cdot a$, $I = V/R$) y otras veces se expresan mediante palabras: «la acción es igual a la reacción», por ejemplo. Según Kuhn, «el poder de la ciencia, en general, parece aumentar las más de las veces con el número de generalizaciones simbólicas que sus practicantes tienen a su disposición»¹⁰. Suelen expresar leyes de la naturaleza, pero no sólo eso: también

10. Kuhn 1971, *o.c.*, p. 281.

funcionan «como definiciones de algunos símbolos que enumeran ... las leyes son a menudo corregibles gradualmente, pero las definiciones, siendo tautologías, no lo son»¹¹. Por ello los cambios de paradigma suelen implicar la redefinición de los conceptos básicos: «sospecho que todas las revoluciones implican, entre otras cosas, el abandono de generalizaciones cuya fuerza fue, hasta entonces, la de las tautologías»¹².

La segunda componente son los modelos, los cuales: «proveen al grupo de analogías preferentes o, cuando se sostienen profundamente, de una ontología. Por una parte, son heurísticos: el circuito eléctrico puede considerarse, provechosamente, como un sistema hidrodinámico en estado estable, o el comportamiento de un gas como el de una colección de microscópicas bolas de billar en movimiento aleatorio. Por otra parte, son los objetos del compromiso metafísico: el calor del cuerpo es la energía cinética de sus partículas componentes, o, más obviamente metafísico, todos los fenómenos perceptibles se deben al movimiento y a la interacción de átomos cualitativamente neutrales, en el vacío»¹³.

La tercera componente son los valores, entendiendo por tales lo que nosotros llamamos *valores epistémicos*, entre los cuales Kuhn señaló explícitamente la precisión, la coherencia, la amplitud, la simplicidad y la fecundidad, así como la utilidad, aunque éste como valor adicional o externo a la ciencia. Dichos valores «usualmente son compartidos entre las diferentes comunidades más ampliamente que las generalizaciones simbólicas o los modelos. Y contribuyen en mucho a dar un sentido de comunidad a los científicos naturales en su conjunto»¹⁴. Por tanto, esta componente axiológica es transdisciplinaria, porque esos valores no sólo son compartidos por cada comunidad científica, sino por todas ellas, o al menos por todas las que se dedican a las ciencias naturales. Esta matización es importante, pues muestra que los valores de la ciencia son transversales a sus diferentes disciplinas, como también sucede en el caso de las tecnociencias. Aunque en otros lugares ya hemos comentado ampliamente las tesis de Kuhn sobre los valores de la ciencia¹⁵, nos detendremos un momento en su concepción de dichos valores compartidos,

11. *Ibid.*

12. *Ibid.*, p. 282.

13. Kuhn, 1982, *o.c.*, pp. 321-322.

14. Kuhn, 1971, *o.c.*, p. 283.

15. Ver Echeverría, 1995, *o.c.*, apartado I.

aplazando el análisis de la cuarta componente de las matrices disciplinares, los ejemplares, que «son soluciones de problemas concretos aceptados por el grupo como paradigmáticas en el sentido usual del término»¹⁶.

Kuhn mantuvo que esos valores compartidos por los científicos naturales «funcionan en cualquier tiempo», aunque «su importancia particular surge cuando los miembros de una comunidad particular deben identificar las crisis o, posteriormente, elegir entre caminos incompatibles en donde practican su disciplina»¹⁷. Es decir, los valores emergen explícitamente cuando los paradigmas entran en crisis, así como en las revoluciones científicas. En las épocas de ciencia normal no se plantean cuestiones de valores, pudiendo parecer incluso que la ciencia es *value-free*, como muchos filósofos positivistas sostuvieron¹⁸. Según Kuhn, no es así. La ciencia tiene sus propios valores, luego denominados epistémicos (Putnam) o cognitivos (Laudan). Dichos valores son transdisciplinares y desempeñan una función muy importante precisamente en los momentos de crisis y revolución científica. Por ser transparadigmáticos, los valores de la ciencia serán uno de los criterios que utilizarán los científicos para asumir (o no) que un paradigma ha entrado en crisis (por ejemplo por haber dejado de ser fecundo, frente a otro menos preciso y riguroso pero mucho más fecundo) o para elegir a título individual entre varias propuestas alternativas. Aunque Kuhn no lo diga con la rotundidad con que nosotros lo estamos haciendo, la componente axiológica de las matrices disciplinares desempeña un papel clave en las revoluciones científicas, precisamente cuando las definiciones de los conceptos básicos, los modelos y los ejemplares son puestos en cuestión.

Ello no implica afirmar que el sistema de valores de la ciencia proporcione un algoritmo de decisión para elegir entre teorías alternativas cuando un paradigma entra en crisis. Kuhn negó una y otra vez la existencia de un algoritmo axiológico de decisión. Por nuestra parte estamos plenamente de acuerdo con él en este punto, como ya hemos argumentado en el libro *Ciencia y Valores*. Sin embargo, según Kuhn, incluso en épocas de crisis los valores de la ciencia permanecen, aunque su aplicación o

ponderación por parte de cada científico individual pueda cambiar. «Hay valores que son usados en el enjuiciamiento de todas las teorías» —afirmó explícitamente Kuhn¹⁹. Las teorías alternativamente propuestas para resolver un enigma o una anomalía «deben permitir, antes que nada, la formulación del enigma y su solución; deben ser, hasta donde sea posible, simples, autoconsistentes, y con respecto a otras teorías comúnmente extendidas, compatibles y plausibles (pienso ahora que una debilidad de mi texto original es la poca atención dada a valores tales como la compatibilidad interna y externa al considerar las fuentes de crisis y factores en la alternativa teórica). También existe otro tipo de valores —por ejemplo, la ciencia no debería (o no necesita) ser socialmente útil— pero lo precedente indica lo que quiero decir»²⁰. Aunque sea de pasada, llamamos la atención sobre esta última afirmación, porque constituye un lugar común entre muchos científicos que se dedican a la investigación básica. Tradicionalmente, la tecnología y la ciencia aplicada tenían que ser útiles. La ciencia pura, en cambio, se guiaba por valores estrictamente epistémicos. Kuhn expresa claramente este tópico, que ha cambiado radicalmente con la emergencia de la tecnociencia, aunque ya en la época de la ciencia moderna muchas instituciones científicas hicieron suyo el valor «utilidad» (Royal Society, American Philosophical Association), aunque sólo fuera a nivel de principios.

Pese al enorme interés suscitado por su *Estructura de las revoluciones científicas*, estos pasajes de Kuhn apenas si han sido comentados, probablemente porque en la época en que fueron publicados (1970) seguía imperando el dogma empirista de la estricta separación entre la ciencia y los valores. Sin embargo, tienen una gran importancia para la axiología de la ciencia y, por lo que a las tecnociencias respecta, nos serán muy útiles para precisar algunos de las diferencias entre las ciencias y las tecnociencias.

Veámoslo. En primer lugar, es claro que el rigor, la coherencia (interna y externa) y la simplicidad desempeñan un papel importante a la hora de valorar teorías, *incluso cuando éstas teorías son inconmensurables desde el punto de vista del conocimiento*, es decir, en los casos de crisis de un paradigma y de revoluciones científicas. Siendo transparadigmáticos, esos valores, y otros que podría mencionarse (como la fecundidad, retoman-

16. Kuhn, 1982, *o.c.*, p. 322.

17. Kuhn, 1971, *o.c.*, p. 283.

18. Por ejemplo Russell y Ayer. La neutralidad axiológica de la ciencia fue un lugar común de la filosofía de la ciencia del siglo XX, aunque a partir de los años 80 el panorama cambió considerablemente.

19. *Ibid.*

20. *Ibid.*, pp. 283-294.

do las tesis de Lakatos), pueden ser decisivos para orientar las decisiones individuales de los científicos: abandonar o no un paradigma, optar por una u otra teoría alternativa. A diferencia de Feyerabend, para Kuhn no todo vale. Hay criterios axiológicos que, incluso en plena crisis de los paradigmas, orientan el juicio de los científicos y, lo que es más importante, sus acciones. Una propuesta teórica que sea imprecisa, incoherente, incompatible con otras teorías que no están en crisis, inane, etc., normalmente será rechazada por los científicos, y ello en el apogeo de una revolución científica, cuando la ciencia normal se está viniendo abajo. Los valores aportan una cierta estabilidad a la ciencia incluso en las épocas revolucionarias. La tesis kuhniana de la inconmensurabilidad queda así atemperada por las componentes axiológicas de las matrices disciplinares.

Sin embargo, en tales momentos los valores no son aplicados igual por todos los científicos, sino que se producen diferentes valoraciones. Para unos primará la coherencia (piénsese en Berkeley criticando el Cálculo Infinitesimal por ser contradictorio), para otros la fecundidad (Euler apenas se preocupó por los fundamentos del Cálculo y utilizó brillantemente la nueva técnica matemática para resolver múltiples problemas físicos y matemáticos), para otros la novedad o el asombro ante lo sorprendente y promisorio de las nuevas propuestas (caso del programa einsteiniano frente al de Lorentz, o de la actitud subjetiva del propio Cantor ante la demostración de la biunivocidad entre los números enteros y los racionales). Los valores de la ciencia siguen compartiéndose en tales momentos, pero las prioridades axiológicas de los científicos divergen, o cuando menos sus respectivas ponderaciones. Kuhn siempre se quejó de que, cuando aludió a los valores de la ciencia y a su diferente aplicación subjetiva, recibió una avalancha de críticas, acusándole de subjetivismo, si no de irracionalismo. Sin embargo, su postura ante este problema, que es uno de los más delicados de la filosofía de la ciencia, fue siempre la misma, aunque sus matizaciones no fueran entendidas en aquella época:

Los valores pueden ser compartidos por hombres que difieren en su aplicación en un grado más grande que otras clases de componentes de la matriz disciplinar. Los juicios de exactitud son relativamente estables, aunque no del todo, de un tiempo a otro, o, en un grupo particular, de un miembro a otro. Pero los juicios de simplicidad, compatibilidad, plausibilidad, etc., a

menudo varían enormemente de un individuo a otro» ... «Y lo que es más importante, los valores a menudo dictarían alternativas diferentes en estas situaciones donde deben ser aplicados valores diferentes, tomados aisladamente. Una teoría puede ser más exacta pero menos compatible o plausible que otra; nuevamente nos proporciona un ejemplo la vieja teoría cuántica. En pocas palabras, si bien los valores son ampliamente compartidos por los científicos y aun cuando los acuerdos respecto a estos valores son algo profundo y constitutivo de la ciencia, la aplicación de ellos se ve, a veces, afectada considerablemente por las características de la personalidad individual y por los antecedentes del científico, lo que individualiza y diferencia a los miembros del grupo²¹.

Extraigamos algunas consecuencias de estas tesis de Kuhn, que nos parece acertadas:

- 1) Los valores son constitutivos de la ciencia, no ajenos a ella. Obviamente, Kuhn alude a los valores epistémicos, entre los cuales —conviene subrayarlo— jamás menciona el valor «verdad», y ni siquiera «verosimilitud».
- 2) Los valores de la ciencia constituyen un sistema, no son considerados aisladamente. En nuestra propia terminología, Kuhn es contrario al monismo axiológico y proclive a una consideración conjunta de varios valores epistémicos antes de emitir un juicio sobre la aceptabilidad o el rechazo de una teoría.
- 3) Los científicos *aplican* unos u otros criterios de valoración a las teorías. Por nuestra parte, este punto resulta muy importante. Los valores han de ser caracterizados como funciones en el sentido fregano del término.
- 4) No es lo mismo compartir una definición, una fórmula matemática, un modelo o un ejemplar paradigmático que compartir un sistema de valores. En los primeros casos se aceptan o no esas componentes, que forman parte del «núcleo duro» de las teorías. En el caso de los valores, también se comparten, pero no al 100%. Su aplicación es *cuestión de grados*. Este es uno de los motivos por los que afirmamos tajantemente el carácter gradual de los valores.
- 5) En tales casos la racionalidad no consiste en emitir juicios coincidentes en función de un único criterio de valoración, sino en sopesar y

debatir los diversos criterios de valoración, es decir, en ponderar más o menos los diversos valores. La racionalidad axiológica difiere considerablemente de la racionalidad basada en la atribución (o no) de propiedades a las cosas, como el texto de Kuhn muestra y como, por nuestra parte, hemos recalcado más de una vez²². Se trata de una racionalidad deliberativa y plural, y ello necesariamente, por estar sujeta a varios requisitos de aceptabilidad, no a uno solo.

En el caso de las tecnociencias la situación es estructuralmente diferente, porque el sujeto de la tecnociencia es plural y los diversos agentes que lo componen ni siquiera comparten los mismos sistemas de valores. De ahí que los conflictos de valores sean inherentes a la actividad tecnocientífica, a diferencia de la ciencia, donde sólo se manifiestan en las épocas de crisis y revolución. Las cuestiones axiológicas parecen no existir en las épocas de ciencia normal, precisamente porque hay un sistema de valores compartidos cuya ponderación respectiva se ha normalizado, en mayor o menor grado. En el caso de la tecnociencia no es así, porque no interviene una sola comunidad, sino varias, cada una de ellas con su propio subsistema de valores (epistémicos, técnicos, económicos, militares, políticos, sociales, ecológicos, etc.). Parafraseando a Kuhn: las tecnociencias en época normal también presentan conflictos de valores, porque en la actividad tecnocientífica intervienen activamente comunidades heterogéneas, representadas normalmente a través de agentes concretos que encarnan sus respectivos valores y, en su caso, intereses. Por tanto, los conflictos de valores son «connaturales» a la actividad tecnocientífica. Cuestión diferente es el modo de resolverlos, o de llegar al menos a puntos de equilibrio. Sobre esto volveremos más adelante.

Para terminar con este breve comentario a Kuhn mencionaremos otro pasaje suyo relativo a los valores de la ciencia. En él se aborda la debatida cuestión de la subjetividad u objetividad de los valores. Contrariamente a quienes trataban de desterrar todo rasgo de subjetividad en las valoraciones de los científicos, Kuhn consideró que ese recurso a lo subjetivo puede ser muy beneficioso en tiempos de crisis de paradigma:

La variabilidad individual en la aplicación de valores compartidos puede servir de función esencial a la ciencia. Los puntos en donde deben ser aplicados

22. Ver Echeverría, 2002, *o.c.*, cap. 1.

los valores también son, invariablemente, aquellos en donde se corren riesgos. La mayor parte de las anomalías son resueltas por los medios normales; numerosas propuestas de nuevas teorías resultan estar equivocadas. Si todos los miembros de una comunidad respondieran a cada anomalía como una fuente de crisis, o admitieran cada nueva teoría promovida por un colega, la ciencia se estancaría. Si, por otro lado, nadie reaccionara a las anomalías o a las teorías de reciente cuño en forma altamente riesgosa, habría pocas revoluciones o ninguna. En asuntos como éstos recurrir a los valores compartidos antes que a reglas compartidas que dirijan la elección individual, puede ser el camino de la comunidad para distribuir riesgos y asegurar el éxito de sus actividades a largo plazo²³.

Kuhn no rechaza las valoraciones subjetivas porque piensa que pueden contribuir a mejorar los valores intersubjetivos, o cuando menos su aplicación. Aunque nunca desarrolló una axiología de la ciencia, limitándose a hacer este tipo de consideraciones, podemos interpretar que percibió muy bien las diferencias entre la epistemología, la metodología y la axiología, luego instaurada por Laudan y su modelo reticular²⁴. La metodología pudiera consistir en un conjunto de reglas que, aplicadas sistemáticamente, conducen a resultados seguros y determinados. La axiología no funciona así. Las funciones axiológicas pueden ser aplicadas de manera diferente por los agentes evaluadores, o si se prefiere por los científicos que deciden optar por una u otra teoría. Siendo varios los criterios de valoración, se plantea el problema de hallar la resultante de esa pluralidad de acciones de evaluación. Frente a las concepciones monistas de la racionalidad, basadas en la maximización de un valor (la verdad o verosimilitud en el caso de la ciencia, la eficiencia en el de la tecnología), Kuhn puede ser considerado un precursor de la racionalidad axiológica plural que nosotros propugnamos²⁵. Retomaremos el debate en el quinto capítulo.

Tras este *excursus* sobre la concepción kuhniana de los valores de la ciencia, nos queda por comentar la cuarta y última componente de sus paradigmas, los ejemplares, es decir, las soluciones de problemas que han sido aceptadas como soluciones válidas por las comunidades científicas.

23. Kuhn, 1971, *o.c.*, pp. 285-286.

24. L. Laudan, *Science and Values*, Berkeley, Univ. of California Press, 1984.

25. Echeverría, 2002, *o.c.*, cap. 1.

En el caso de la tecnociencia, dichos ejemplares tienen una concreción tecnológica: un determinado algoritmo que resuelve un problema computacional, un aparato que mejora la precisión de las observaciones o de las mediciones, un gran equipamiento que incrementa la velocidad, la capacidad de cálculo o las posibilidades de la experimentación, una empresa que asume plenamente la nueva estructura de la práctica científica, etc. En una palabra, aunque a la construcción de dichos ejemplares les subyazcan varias teorías científicas, estamos ante resoluciones tecnológicas de los problemas, no ante soluciones teóricas. No hay ejemplares propiamente científicos, sino tecnocientíficos. Algunos adoptan la forma de aparatos, otros, en cambio, son modelos de organización y funcionamiento de una empresa tecnocientífica que ha ofrecido buenos resultados en un determinado país o área de conocimiento y que, de inmediato, es imitada y considerada como modelo organizativo que resuelve ante todo problemas ligados a la práctica científica. Los ejemplares canónicos de la tecnociencia son artefactos, algunos de ellos físicos, otros intelectuales, otros de organización social y de gestión de la actividad tecnocientífica. En cualquier caso, resuelven problemas de la práctica científica, antes que problemas teóricos.

4. LOS PARADIGMAS TECNOCIENTÍFICOS

Tras este breve repaso a las concepciones kuhnianas, se trata ahora de explorar hasta qué punto valen para la tecnociencia, no sólo para la ciencia. De lo dicho hasta ahora puede inferirse que el modelo kuhniano para las revoluciones científicas tiene que ser ampliado y modificado en varios puntos para intentar aplicarlo a las revoluciones tecnocientíficas. Kuhn distinguió entre las generalizaciones simbólicas, los modelos, los valores y los ejemplares de un paradigma. En este apartado exploraremos si estos conceptos siguen siendo válidos en el caso de las tecnociencias.

Al respecto, conviene recordar una de las diferencias entre ciencia y tecnociencia: ésta última implica ante todo cambios en la práctica científica, no sólo en el conocimiento. Por tanto, cabe distinguir entre generalizaciones simbólicas, modelos, valores y ejemplares desde dos perspectivas, la teórica y la práctica. De esta manera, la noción de paradigma se amplía, porque incluye ambas dimensiones.

Con respecto a las generalizaciones simbólicas, los lenguajes científicos siguen existiendo, pero a ellos se les superpone una nueva modalidad de lenguaje, los tecnolenguajes o infolenguajes. Los conceptos y términos científicos, sean teóricos u observacionales, continúan desempeñando su función referencial y semántica. La tecnociencia mantiene una componente lingüística a la hora de ser formulada, puesto que sigue siendo ciencia. Sin embargo, a los lenguajes científicos clásicos se les superponen los tecnolenguajes, que son los que más se utilizan en la práctica investigadora. Las múltiples variantes de *software* que se usan para controlar el funcionamiento de los instrumentos científicos son un buen ejemplo de generalización simbólica necesaria para la práctica tecnocientífica, dado que muchas de las actividades (calcular, observar, medir, experimentar, incluso demostrar) no son posibles sin esas herramientas informáticas. Normalmente, son muy diferentes según las disciplinas y las líneas de investigación. Dominarlas es un requisito indispensable para poder investigar, debido a que los datos, las hipótesis y los resultados se expresan conforme a formatos tecnológicos. En algunas materias se utilizan poderosos instrumentos de cómputo, en otras es indispensable dominar las técnicas de visualización científica. En conjunto, los tecnolenguajes pueden ser considerados como las generalizaciones simbólicas kuhnianas de las tecnociencias. Obsérvese que esos tecnolenguajes también pueden ser utilizados para cuestiones organizativas, de administración y de evaluación. Los lenguajes informáticos inciden en todas las fases de la actividad tecnocientífica, no sólo en la investigación.

La nueva estructuración de la práctica científica genera nuevos instrumentos formales que, conforme se convierten en estándares nacionales o internacionales, pueden ser considerados como generalizaciones simbólicas que ordenan la práctica científica misma. Vimos que las empresas tecnocientíficas son mucho más amplias y complejas que los observatorios, laboratorios y gabinetes de los científicos clásicos. Además de los protocolos de laboratorio y de los artículos para revistas científicas, los tecnocientíficos han de saber cumplimentar adecuadamente otro tipo de documentos: formularios para solicitar proyectos de investigación, informes de evaluación, hojas de cálculo, contratos de patentes, etc. Este segundo tipo de generalización simbólica no es científica, sino económica, administrativa y jurídica, pero ya vimos que la burocracia y la gestión son una parte fundamental de las empresas tecnocientíficas. Su existencia y su ge-

neralización en un país o en una determinada disciplina revelan la implantación de la tecnociencia. Normalmente, este tipo de exigencias resultan tediosas para los investigadores, aunque son imprescindibles dada la estructura actual de la actividad tecnocientífica. Es habitual que los grandes equipos de investigación incluyan personas especializadas en este tipo de habilidades y destrezas, que no atañen al conocimiento científico, pero sí a la práctica. También son frecuentes los casos en que los propios investigadores tienen que aprender a usar competentemente ese nuevo tipo de instrumentos, que no son de observación o experimentación, sino de gestión. La instauración de sistemas de política científica siempre da lugar a la creación de instrumentos normalizados para la gestión de la ciencia y la tecnología. Aunque puedan parecer de menor importancia que los instrumentos científicos clásicos, lo cierto es que en la tecnociencia son fundamentales, debido a la estructura misma de los sistemas de ciencia y tecnología, que obligan a utilizar dichos protocolos a todos los equipos investigadores a la hora de hacer propuestas, emitir informes y presentar resultados. En una palabra: la gestión y la administración de las empresas tecnocientíficas generan nuevas generalizaciones simbólicas, normalmente informatizadas: las hojas EXCEL de cálculo, las plataformas informáticas para presentar y evaluar proyectos, etc. Esta nueva modalidad de generalización simbólica era impensable en la época de la ciencia moderna, pero hoy en día consume buena parte del tiempo de los tecnocientíficos. El dominio de estas técnicas es un requisito indispensable para que una investigación tenga éxito, en un grado no menor al dominio de los lenguajes científicos tradicionales. Los sistemas de indicadores de ciencia y tecnología, imprescindibles en los gabinetes de política científica, pueden ser considerados como otra modalidad de generalización simbólica. El análisis de dichos indicadores y, sobre todo, de los cambios que experimentan, proporciona un buen indicio de la existencia de paradigmas dominantes en la práctica tecnocientífica.

Por lo que respecta a los modelos teóricos, no hay grandes variaciones, salvo en algunas ciencias concretas, como la cosmología y la biología, en las que se han producido revoluciones científicas en el sentido kuhniano del término, además de las revoluciones praxiológicas a las que nosotros nos referimos. En el plano ontológico, los tecnocientíficos adscritos a un mismo paradigma comparten una ontología básica, al igual que los científicos. La omnipresencia de la informática privilegia los mo-

delos computacionales, pero ello es comparable a lo que ocurrió en la ciencia moderna, cuando el mecanicismo fue una ontología predominante. Asimismo son dominantes los modelos evolucionistas, como lo muestra el hecho de que las propias herramientas informáticas se distingan entre sí conforme a generaciones, al igual que otros muchos artefactos tecnocientíficos. La teoría de sistemas es otro de los grandes modelos ontológicos de la tecnociencia, por ejemplo en el caso de la cibernética y en las tecnociencias que de ella se derivan.

Sin embargo, por lo que se refiere a la práctica aparecen otros tipos de modelos: las llamadas «buenas prácticas», que rápidamente devienen canónicas para otras instituciones y empresas tecnocientíficas. El *benchmarking* es un procedimiento habitual en las empresas tecnocientíficas, lo cual permite la configuración de auténticos modelos para la práctica científica: modos de organizar la actividad investigadora, de gestionar las patentes, de establecer redes de laboratorios o consorcios entre bibliotecas y centros de investigación, etc. En el apartado 2.1 tuvimos ocasión de referirnos a algunos de esos modelos de la práctica tecnocientífica.

El mayor cambio entre la ciencia y la tecnociencia se refiere a los valores, como vimos en el apartado anterior. Sigue habiendo valores que guían las acciones tecnocientíficas, pero éstos no son compartidos por todos los agentes, razón por la cual los conflictos axiológicos son continuos. Además los sistemas de valores que guían la actividad tecnocientífica son mucho más complejos y plurales, por lo que una propuesta o resultado tiene que superar varias instancias de evaluación para ser considerada como una aportación de interés. Por ello atribuimos tanta importancia a la axiología a la hora de distinguir entre ciencia y tecnociencia, como veremos con mayor detalle en el capítulo 5.

Por último, la noción kuhniana de ejemplares sigue siendo válida, aunque con las matizaciones que ya hemos visto. Dichos ejemplares adoptan la forma de artefactos tecnológicos que se han revelado extremadamente útiles para la resolución de problemas, convirtiéndose en canónicos para los científicos, pero también para la propia sociedad. Tarde o temprano, muchos de los artefactos canónicos que usan los científicos son transferidos a la sociedad civil, adaptándolos para los nuevos usos que ésta precisa. Los más novedosos son los que versan sobre la organización de la actividad científica, como hemos señalado anteriormente. Son artefactos tecnosociales y suelen ser estudiados por las tecnociencias

sociales. Los sistemas estructurados de ciencia y tecnología son un ejemplo típico.

Podemos concluir, por tanto, que la noción de «paradigma» puede seguir siendo utilizada en filosofía de la tecnociencia, aunque con matices y variaciones significativas, si la comparamos con la noción kuhniana. Hablando en términos generales, cabe decir que los paradigmas tecnocientíficos se superponen a los científicos, introduciendo nuevas componentes, como los modos de organizar y gestionar los procesos de obtención de conocimiento. En una misma disciplina científica puede haber personas que, aceptando un mismo paradigma científico en lo que respecta a las teorías y los métodos, difieran por completo en cuanto a los paradigmas tecnocientíficos. No todos los físicos son tecnofísicos, ni todos los biólogos son tecnobiólogos. Estando de acuerdo en los postulados básicos de sus ciencias respectivas, pueden estar radicalmente en desacuerdo con el modo de diseñar y organizar la actividad investigadora.

5. DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS A LAS TECNOCIENTÍFICAS

La noción kuhniana de 'paradigma' ha de ser ampliada, matizada y modificada. Otro tanto cabe decir en el caso de las revoluciones científicas:

1) Las revoluciones tecnocientíficas suponen un profundo cambio en la práctica científica y tecnológica, que afecta a la estructura de ambas. Así como los filósofos de la ciencia subrayaron la existencia de una estructura en el conocimiento científico, para investigar sobre la tecnociencia es preciso clarificar en primer lugar la *estructura de la actividad tecnocientífica*. La revolución tecnocientífica no es, *prima facie*, una revolución epistemológica o metodológica (los métodos y el conocimiento científico siguen existiendo y valiendo), sino ante todo una revolución praxiológica.

2) A lo largo del siglo XX, la macrociencia y la tecnociencia han producido numerosos cambios teóricos, e incluso revoluciones en el sentido kuhniano del término. Así ha ocurrido en cosmología, en biología, en química y en otras muchas disciplinas científicas y tecnológicas, algunas de nuevo cuño. Sin embargo, al analizar las revoluciones tecnocientíficas no debemos centrarnos en esos cambios teóricos o metodológicos, sino ante todo en los cambios praxiológicos. Lo importante es localizar los

cambios en la práctica científica y en su organización, así como la inserción de sectores y grupos de las comunidades científicas en diversas empresas tecnocientíficas, sean éstas públicas o privadas, civiles o militares. Dichas transformaciones se producen primero en universidades y centros de investigación muy concretos, por ejemplo en el MIT, en Stanford o en Berkeley en los años 30, o también en algunas empresas industriales que crean departamentos de I+D (como Du Pont en los años 30). Esta sería la fase pre-revolucionaria, en la que está emergiendo el nuevo paradigma tecnocientífico, en este caso la macrociencia. Durante la segunda guerra mundial este proceso se generalizó. Por ello fechamos en esta época la primera revolución tecnocientífica. Pero lo decisivo fue la consolidación de esa nueva estructura de la práctica científica, lo cual se logra con la creación de un nuevo sistema de ciencia y tecnología en los EEUU en la fase inmediatamente posterior a la postguerra. El mantenimiento tras la guerra de una práctica científica basada en la estrecha colaboración entre científicos e ingenieros, en la aparición de empresas de I+D, en la subordinación de los objetivos puramente científicos o ingenieriles a los objetivos señalados por los financiadores de los macroproyectos, etc., es la clave para determinar el momento en que se produjo la revolución tecnocientífica. Cuando esa nueva estructuración de la actividad científica y tecnológica se trasladó a otros países, siempre empezando por centros y empresas concretas, es cuando la revolución tecnocientífica se expandió, sin perjuicio de que pudiera haber precedentes en algunos países europeos (Gran Bretaña, Alemania, Francia) de ese nuevo modo de hacer ciencia. Otro tanto cabe decir de la Unión Soviética, en donde habría que hacer un estudio histórico detallado para aclarar el modo en que la revolución tecnocientífica se produjo allí después de la segunda guerra mundial. Cabe afirmar, en cualquier caso, que la aparición de las políticas científicas centralizadas y coordinadas en diversos países, junto con la creación de grandes Agencias nacionales de ciencia y tecnología, son signos institucionales de que la revolución tecnocientífica comenzaba a producirse.

3) Puesto que la noción de *comunidad científica* es básica para la reflexión kuhniana sobre las revoluciones, cabe afirmar que la insuficiencia mayor radica en dicha noción. En la época de la tecnociencia, a las comunidades científicas e ingenieriles se les superponen otro tipo de agentes sociales (políticos, militares, empresarios, etc.) que desempeñan un papel

determinante en la actividad tecnocientífica. Genéricamente hablando, la aparición de las *empresas tecnocientíficas* es uno de los signos que marcan la llegada de la tecnociencia. Allí donde un departamento universitario o un centro de investigación se convierte en empresa, pública, privada o mixta, y va adquiriendo formas de organización y funcionamiento claramente empresariales, cabe barruntar que se está produciendo el paso de la ciencia a la tecnociencia, sin perjuicio de que esas mutaciones organizativas puedan fracasar luego. Ello independientemente de la disciplina en que tal transformación ocurra. La tecnociencia implica ante todo un nuevo modo de organización de la actividad científica y tecnológica. La evolución personal de científicos como Vannevar Bush, John von Neumann, John Watson o Craig Venter ilustra bien esta tesis.

Obsérvese que el objeto de estudio para la historia y la filosofía de la ciencia cambia radicalmente. En el caso de las revoluciones científicas kuhnianas, había que estar atento a la emergencia de nuevas teorías y nuevos métodos, por ser revoluciones epistemológicas y metodológicas. Las revoluciones tecnocientíficas, en cambio, son ante todo praxiológicas. Se trata de investigar el momento en que la nueva estructura de la práctica científico-tecnológica se impone en una universidad, centro de investigación, empresa o país. La aparición de la *Big Science* fue un cambio de este tipo, y por ello ha de ser considerado como la primera emergencia de la tecnociencia. En las últimas décadas del siglo XX se produjo una segunda revolución tecnocientífica, caracterizada por la introducción generalizada de las tecnologías informáticas en los laboratorios, observatorios y centros de investigación. Por ello distinguimos estas dos modalidades de revoluciones tecnocientíficas en el siglo XX, sin perjuicio de que un estudio histórico más detallado pudiera permitir discernir otras formas de emergencia de la tecnociencia.

6. DE LA INCONMENSURABILIDAD ENTRE TEORÍAS A LA INCOMPATIBILIDAD ENTRE SISTEMAS TECNOCIENTÍFICOS

Nuestras divergencias con Kuhn apuntan a la médula de su concepción sobre las revoluciones científicas, que acabó centrándose en el problema de la inconmensurabilidad entre paradigmas, y en sus últimos escritos en una versión lingüística de la inconmensurabilidad, basada en la noción

de intraducibilidad: «afirmar que dos teorías son inconmensurables significa afirmar que no hay ningún lenguaje, neutral o de cualquier otro tipo, al que ambas teorías, concebidas como conjuntos de enunciados, puedan traducirse sin resto o pérdida»²⁶. Kuhn llamó *inconmensurabilidad local* a esta última versión de su tesis, que tantos ríos de tinta ha hecho correr desde la publicación de su libro *Estructura de las revoluciones científicas*. Se trata de una inconmensurabilidad semántica, en la que los términos usados por unos u otros científicos no significan lo mismo. En el caso de las revoluciones tecnocientíficas, es preferible hablar de *incompatibilidad entre sistemas tecnológicos* que de inconmensurabilidad entre teorías:

1) La incompatibilidad entre tecnosistemas afecta ante todo a las prácticas científico-tecnológicas, incluidos los agentes, los instrumentos, los objetivos de sus acciones y los resultados que se derivan de ellos. Aunque luego converjan en lo que respecta al conocimiento, los «paradigmas tecnocientíficos rivales» difieren radicalmente entre sí en los procedimientos, las técnicas, los estilos de acción y la organización de la actividad científica. Hay «inconmensurabilidad práctica», no solamente teórica, y esto da lugar a culturas tecnocientíficas opuestas e incompatibles entre sí. Por ejemplo, hay empresas tecnocientíficas en las que impera el secreto y el principio de jerarquía. Es lo más frecuente en el caso de las investigaciones de índole militar. Otras, por el contrario, son mucho más abiertas y cooperativas. Unas y otras compiten duramente entre sí a la hora de lograr financiación, obtener prestigio, explotar patentes y conseguir la primacía en el mercado de los productos tecnocientíficos derivados. Si se llegara a hacer un estudio a fondo, la contraposición entre la investigación macrocientífica soviética y la norteamericana durante la Guerra Fría ilustraría bien estas diferencias.

2) Conforme han argumentado los defensores de la concepción semántica en filosofía de la ciencia (Suppes, Sneed, Moulines, Van Fraassen, Giere y otros), las teorías científicas no son conjuntos de enunciados lingüísticos, sino clases de modelos, en particular modelos matemáticos. En el caso de la tecnociencia, esta concepción no lingüística de las teorías y de los resultados de la investigación resulta literalmente imprescindible. La tecnociencia también tiene una componente teórica muy importan-

26. *Ibid.*, p. 99.

te, que habitualmente se expresa en forma de modelos informáticos y artefactos tecnológicos que son los «ejemplares» (en el sentido de Kuhn) de los «paradigmas tecnocientíficos». Muchas innovaciones tecnocientíficas ni siquiera adoptan la forma de teorías más o menos verosímiles desde un punto de vista empírico. Son aparatos, *software*, técnicas de acción y organización. La inconmensurabilidad tecnocientífica es muy diferente a la de las teorías científicas y por ello es preferible hablar de incompatibilidad entre sistemas tecnológicos alternativos o rivales.

3) Tanto las formulaciones matemáticas como las no matemáticas de las teorías científicas, por inconmensurables que éstas sean, pueden ser expresadas en un mismo lenguaje informático. Ello no implica que los términos o conceptos inconmensurables entre sí pasen a significar lo mismo. Sin embargo, la digitalización e informatización de los datos requiere la existencia previas de estándares y protocolos comunes, sin los cuales las representaciones informáticas son estrictamente incompatibles entre sí. El problema grave surge cuando las representaciones informáticas y digitales son incompatibles entre sí. La incompatibilidad tecnocientífica abre un abismo mayor que la inconmensurabilidad entre teorías porque afecta a la práctica y a las acciones, no sólo a las teorías y a las imágenes del mundo.

4) No entramos en el debate sobre la traducción. Por el momento nos basta con que sea posible una transliteración a sistema binario de los diversos sistemas de signos científicos y tecnológicos²⁷. Pues bien, ésta es una de las principales virtudes de los lenguajes informáticos. No sólo la transliteración entre lenguajes naturales o la traslación del discurso a signos escritos mediante las técnicas de reconocimiento automático de voz, sino además la transferencia automática de datos, sonidos e imágenes entre sí. La gran novedad metodológica de las tecnociencias radica en la posibilidad de recurrir a simulaciones informáticas, por ejemplo al representar fórmulas y bases de datos por medio de imágenes y sonidos, y recíprocamente. Los diagramas y las representaciones cartesianas de las funciones matemáticas son posibles, pero, además, es posible representar informáticamente funciones no lineales, con lo que los científicos disponen de imágenes y datos que no eran accesibles mediante las técnicas

²⁷. Lo cual es posible en lenguas de origen greco-latino con el código ASCII, y en general con UNICODE.

matemáticas tradicionales. La digitalización e informatización de los lenguajes naturales, de las fórmulas matemáticas, de las tablas científicas, de las imágenes, de los movimientos y de los sonidos es uno de los motores de la revolución tecnocientífica, porque aumenta considerablemente las capacidades de acción científica. En términos kuhnianos: cabe hablar de nuevas generalizaciones simbólicas (infosimbólicas, en este caso), aunque éstas sean de muy distinta índole a las que caracterizaron a los paradigmas de la ciencia moderna. En nuestros propios términos: las tecnociencias más desarrolladas son infociencias, así como las ciencias matematizadas suponían un avance respecto a las no matematizables en la ciencia moderna. Eso sí, la mediación que introducen los tecnolenguajes es muy distinta a la mediación de los lenguajes naturales y matemáticos en los que se expresan las ciencias.

7. DE LAS CONTROVERSIAS CIENTÍFICAS A LAS CONTIENDAS TECNOCIENTÍFICAS

Desde que Kuhn definió la noción de paradigma científico y afirmó su disputada tesis sobre la inconmensurabilidad de los paradigmas alternativos, los filósofos, historiadores y, sobre todo, los sociólogos de la ciencia han prestado mucha atención a las controversias científicas. Anteriormente a Kuhn, esos episodios eran considerados como lamentables incidentes en el interior de las comunidades científicas. A partir de Kuhn, en cambio, las controversias ilustraban la confrontación entre paradigmas y por ello habían de ser estudiadas y analizadas a fondo.

Si aceptamos que parte de la ciencia contemporánea es tecnociencia habremos de preguntarnos por las diferencias entre las controversias científicas y las tecnocientíficas. En este apartado intentaremos mostrar que los rasgos distintivos apuntados en los apartados 2.1 y 2.2 nos ofrecen una buena guía para diferenciar ambos tipos de controversias. Diremos por tanto que:

a) Puesto que la tecnología tiende a transformar el mundo, no sólo a conocer cómo es, una controversia tecnocientífica implica dos o varios modos alternativos de transformar el mundo. La ciencia norteamericana y la soviética después de la segunda Guerra Mundial son dos buenos ejemplos, y ello en diversos ámbitos: energía nuclear, exploración del es-

pacio, desarrollo de armas y sistemas de defensa, investigación industrial, etc. La competencia entre sistemas informáticos alternativos (por ejemplo Windows y Linux) constituye un ejemplo más reciente, al igual que la carrera entre el PGH público y la empresa Celera Genomics para hacer el mapa del genoma humano. Puesto que las contraposiciones entre paradigmas tecnocientíficos alternativos no son puramente discursivas, sino que se desarrollan transformando el mundo mediante prácticas efectivas, el término «controversia» ha de ser reemplazado por el de «conflicto». En algunos casos, esos conflictos no sobrepasan el ámbito de la política científica. En otros se desarrollan en el mercado, en forma de competencia entre empresas tecnocientíficas rivales. Mas no hay que olvidar los vínculos entre la tecnociencia y las actividades militares. Abundan los ejemplos de proyectos macro- y tenocientíficos rivales durante la guerra fría, e incluso en operaciones libradas en los campos de batalla. Las bombas de Hiroshima y Nagasaki son el primer ejemplo, pero no el único. Por tanto, hay ocasiones en que las «controversias» tecnocientíficas devienen conflictos militares, que se resuelven en función de la mayor o menor capacidad de destrucción de los artefactos fabricados por el enemigo, sean éstos aviones, submarinos o redes de telecomunicaciones. Cuando el poder de la tecnociencia es destructivo, gana quien posee mayor capacidad de destrucción.

b) Los paradigmas tecnocientíficos rivales pugnan en particular por transformar la propia ciencia. Uno de los puntos centrales de contraposición consiste en mostrar que el nuevo paradigma tecnocientífico mejora radicalmente la práctica científica y promete enormes avances en lo que se refiere al conocimiento. Siempre se insiste en las enormes posibilidades que cada paradigma tecnocientífico abre para la ciencia, y en su caso para la sociedad. Frecuentemente se promete una especie de salvación universal, una tierra prometida si se impulsa debidamente el paradigma naciente frente al anterior. Así ocurrió con la energía nuclear, con la conquista del espacio, con los ordenadores, con la tecno-estadística en ciencias sociales, con Internet, con el proyecto genoma, con la ingeniería genética, etc. En todos y cada uno de estos casos, el nuevo paradigma prometía inmensos avances para la ciencia y para la sociedad. Paralelamente generaba preocupación por las consecuencias que podrían derivarse, y por tanto oposición. Las controversias tecnocientíficas suelen asimismo plantearse en términos de tecnofilia y tecnofobia, sobre todo

cuando llegan a la sociedad. Hemos afirmado que la tecnociencia no sólo transforma la naturaleza, sino también la sociedad. Los conflictos que se derivan de esa tentativa pueden ser considerados como otra clase de controversia tecnocientífica.

c) La actividad tecnocientífica requiere grandes equipamientos para desarrollarse, motivo por el cual las controversias suelen adoptar formas específicas: unos intentan que tales y cuales grandes equipamientos sean financiados y construidos, otros se oponen a ello, por considerarlos un dispendio económico cuyos beneficios están por ver, y apoyan proyectos alternativos, insistiendo siempre en su mayor prioridad. El debate en EEUU sobre el Supercomputer Supercollider es un caso canónico. Estas controversias desbordan el ámbito de la discusión académica y científica, escenificándose en los despachos de política científica, en los Departamentos de I+D de las empresas, en los Parlamentos y, en su caso, ante los tribunales. Frecuentemente dividen a las comunidades científicas, mas no por razones epistémicas, sino praxiológicas. Por tanto, las controversias tecnocientíficas no se producen en las revistas y libros científicos sino en las oficinas y agencias donde se lucha por obtener la financiación adecuada para los macroproyectos y las nuevas instituciones que habría que crear para desarrollarlos. Se resuelven a favor de unos u otros mediante acciones y decisiones de política científica (pública o privada), no mediante un debate metodológico o epistemológico. Es interesante observar que muchas de estas contiendas versan sobre la cuestión de la prioridad, pero no en el descubrimiento, como en la ciencia moderna, sino en la financiación. Muchos conflictos se producen antes de que las investigaciones sean puestas en marcha, es decir, en la fase de pre-acción y diseño. El coste de los proyectos suele ser un factor importante a tener en cuenta a la hora de argumentar a favor o en contra, independientemente de las excelencias científicas que se puedan derivar de unos u otros proyectos.

d) Las controversias tecnocientíficas siempre tienen una faceta económica, frecuentemente la más importante. El establecimiento de líneas prioritarias de financiación suele ser decisivo entre paradigmas tecnocientíficos rivales. Diremos por tanto que este tipo de polémicas siempre tienen un reflejo *presupuestario*. Las numerosas revoluciones tecnocientíficas fallidas (por ejemplo la televisión de alta definición) dejan como rastro un despilfarro económico. Son casos significativos a estudiar. En cualquier caso, no hay revolución tecnocientífica sin apoyo económico

fuerte y decidido, es decir sin cuantiosas inversiones. Era una de las características de la macrociencia, pero sigue siéndolo en la tecnociencia, a mayor o menor escala.

e) En lugar de circunscribirse a una pugna entre comunidades científicas y tecnológicas, los cambios revolucionarios suelen ser llevados a cabo por empresas o por agencias gubernamentales que funcionan conforme a nuevos modelos empresariales de gestión. Una comunidad tecnocientífica que pretenda promover un cambio importante habrá de buscar fuentes de financiación públicas o privadas para el mismo e introducir nuevos modelos de asignación y gestión de los recursos. La expectativa de beneficios ulteriores (económicos, sociales, políticos, etc.) desempeña una función muy importante, sin perjuicio de que también puedan esperarse beneficios epistémicos y tecnológicos. Una revolución tecnocientífica nunca se hace por puro amor a la ciencia y al conocimiento. Siempre intervienen otros sistemas de valores, y en particular los económicos. Conforme al carácter empresarial de la actividad tecnocientífica, una revolución de este tipo requiere algún tipo de *marketing*, sea a nivel político, empresarial o social. Sin esas habilidades una revolución tecnocientífica no triunfa, independientemente de que se requieran también aportaciones epistémicas (descubrimientos) e innovaciones tecnológicas relevantes. La novedad estriba en que los grandes cambios en el conocimiento no bastan para suscitar una revolución.

f) El sujeto que lleva a cabo las revoluciones tecnocientíficas no es un sujeto individual (como Einstein o Mendel), sino un conjunto de *agentes sociales*. Los vínculos que les mantienen unidos son diversos, pero la existencia de lazos estables y alianzas estratégicas entre gremios diversos (científicos, tecnólogos, políticos, empresarios, militares, etc.) son un factor indispensable para el progreso de una revolución tecnocientífica. Dichos vínculos son transdisciplinarios, a diferencia de las revoluciones científicas. Conforme a lo dicho en el párrafo anterior, incluyen agentes expertos en la comunicación del conocimiento a la sociedad, o cuando menos a sus dirigentes. De ahí la importancia crucial de la difusión y recepción de las innovaciones tecnocientíficas, que se manifiesta en el mercado, por una parte, pero también a nivel de opiniones y de actitudes de los diversos sectores sociales.

g) El público desempeña una función importante en las controversias tecnocientíficas, y no sólo por la imagen favorable o desfavorable que se

haga de las nuevas propuestas, sino ante todo como futuro usuario de las innovaciones que resulten. Tarde o temprano, la pugna entre dos o más paradigmas tecnocientíficos queda mediatizada por la mayor o menor aceptación del público a sus propuestas derivadas. En la mayoría de los casos esto se traduce en forma de artefactos tecnológicos que compiten en el mercado. Puesto que esas innovaciones tecnológicas transforman las capacidades de acción humana, la aceptación mayor o menor por parte de la sociedad de esas modificaciones se convierte en uno de los criterios de dilucidación de las controversias. Obsérvese que, al haber diversos tipos de público y de sociedades, las innovaciones tecnocientíficas pueden tener mayor o menor grado de aceptación y de difusión en unas u otras sociedades. Las revoluciones tecnológicas más importantes (ferrocarril, automóvil, electrodomésticos, etc.) cristalizaron en el contexto de aplicación, cuando dichas tecnologías adquirieron amplísima difusión en varios países. En el caso de la tecnociencia, el público no es más que una de las instancias de resolución parcial de las controversias, junto a instancias políticas, empresariales, institucionales, etc. Pero su papel suele ser importante en el caso de las innovaciones tecnocientíficas más significativas.

h) Desde una perspectiva axiológica, las controversias tecnocientíficas siempre conllevan conflictos de valores en varios subsistemas axiológicos, no sólo en el subsistema de valores epistémicos. Ello se debe a que la tecnociencia transforma el mundo, y más concretamente las sociedades. Por tanto, los cambios tecnocientíficos suelen tener consecuencias sociales, políticas, ecológicas, jurídicas, etc., no sólo epistémicas, tecnológicas o económicas. En algunos casos tienen derivaciones militares e implicaciones morales y religiosas. En esas ocasiones las controversias tecnocientíficas suelen radicalizarse (conflictos militares, negativas a actuar tecnocientíficamente en base a creencias religiosas o a principios morales). Son los ejemplos más interesantes para un análisis axiológico en profundidad, porque involucran diversos sistemas de valores y distintos agentes que promueven o priorizan unos u otros subsistemas de valores.

i) El hecho de que la tecnociencia esté basada en la informática implica que, por lo general, las controversias tecnocientíficas se manifiestan en forma de propuestas informáticas opuestas y alternativas. Por tanto, para elegir casos de estudios conviene fijarse en aquellas polémicas que se manifiestan en forma de productos informáticos incompatibles (sistemas

de configuración, procesamiento, navegación, almacenamiento, etc.). Las tecnologías de la información son un ámbito muy adecuado para el estudio de las controversias tecnocientíficas.

En conjunto, las controversias tecnocientíficas desbordan la noción de controversia: son contiendas, a veces en el sentido literal de la palabra (combates militares), a veces en sentido figurado: conflictos políticos, económicos, sociales, jurídicos, etc. Se desarrollan en los mercados, en las empresas, en las instituciones, en medios políticos, en la sociedad, en medios de comunicación y, a veces también, en el campo de Marte. En tales casos los agentes tecnocientíficos son militares, por ejemplo Estados que pugnan por ser grandes potencias y por ello dedican grandes inversiones a la investigación y el desarrollo. Por lo general, las contiendas tecnocientíficas las libran conglomerados de agentes sociales (*lobbies*). Por tanto, una comunidad tecnocientífica que pretenda promover un nuevo paradigma ha de aliarse con otros tipos de agentes sociales. Ya no basta con controlar las sociedades científicas o el poder académico para imponerse en una controversia, como en tiempos de Newton. Las contiendas tecnocientíficas se desarrollan en otros muchos escenarios e impregnan la sociedad, tarde o temprano. De ahí que la componente social, junto a la económica, la tecnológica y la epistémica, sean las cuatro facetas mínimas a considerar en dichas controversias. Cuando esas controversias devienen conflictos militares, su resolución en los campos de batalla suele ser particularmente dramática y destructiva, tanto para el medio ambiente como para las sociedades involucradas en la contienda.

En todos esos casos estamos ante sistemas tecnológicos incompatibles entre sí, en el sentido de no integrables, no compositibles. Esto sería el trasunto tecnocientífico de lo que Kuhn denominó inconmensurabilidad entre paradigmas científicos. Obsérvese, sin embargo, que esta incompatibilidad inicial suele verse paliada con el transcurso del tiempo. Asimismo es importante subrayar que en el caso de las contiendas tecnocientíficas los defensores de uno u otro paradigma no tienen empacho en espiar las innovaciones, en copiarlas y apropiárselas ni en utilizar estrategias de *benchmarking*. La impregnación empresarial de la tecnociencia da lugar a que el combate entre paradigmas tecnocientíficos recurra a tácticas y estrategias muy distintas a las que utilizaban las comunidades científicas en sus polémicas.

Lo dicho anteriormente ha de ser considerado como una primera aportación al tema de las controversias tecnocientíficas. Se trata de abrir un nuevo campo de investigación a los estudios de ciencia y tecnología, sean éstos filosóficos, históricos, sociológicos, políticos, económicos, sociales, ecológicos, morales o de otro tipo. Las propuestas anteriores han de ser confrontadas con estudios de casos procedentes de las diversas modalidades de tecnociencia. Esos estudios de caso permitirán corregir y mejorar las sugerencias precedentes.

Sistemas y acciones tecnocientíficas

I. ESTRUCTURA DE LA PRÁCTICA TECNOCIENTÍFICA

Los filósofos de la ciencia del siglo XX han analizado a fondo la estructura del conocimiento científico, distinguiendo teorías, leyes, hipótesis, conceptos, hechos, etc. La concepción heredada se centró en la expresión lingüística de dicho conocimiento, tanto en lenguajes naturales como en formalizaciones matemáticas. La concepción semántica siguió aceptando que las teorías son las claves de bóveda del conocimiento científico, aunque pasó a analizarlas como clases de modelos, más que como entidades lingüísticas. En los últimos años han surgido nuevas corrientes en filosofía de la ciencia: unas subrayan la componente social del conocimiento científico y tecnológico, incluidas las teorías, otras señalan la importancia de la experimentación para la obtención de conocimiento científico, criticando la primacía de los aspectos teóricos y mostrando la relevancia de la tradición experimental en la historia de la ciencia. Por supuesto, hay otras muchas tendencias destacables, que no es el caso de enumerar aquí¹, tanto en el ámbito estricto de la filosofía de la ciencia y la tecnología como en el más general de los estudios de ciencia y tecnología.

En este capítulo nos proponemos abrir un nuevo tema para la investigación filosófica e interdisciplinaria: analizar la estructura de la actividad tecnocientífica. Es una cuestión compleja, porque atañe a ámbitos muy diversos de la ciencia y la tecnología, como se ha podido comprobar en los dos primeros capítulos de este libro. Las propuestas que vamos a hacer a continuación serán necesariamente provisionales. Se centrarán en la elucidación de dos conceptos que nos parecen necesarios para la filosofía de la tecnociencias: sistemas tecnocientíficos y acciones tecnocientíficas. Dichas acciones se producen en el marco de diversos sistemas tecnocientíficos, por lo que es preciso conocer la estructura de estos últimos para analizar la estructura de la actividad tecnocientífica. No

1. Al respecto, ver Echeverría, 1999, *o.c.*, capítulo 8.

dudamos de que investigaciones ulteriores mejorarán sin dificultad estas propuestas y añadirán otros conceptos importantes que aquí no son considerados.

Nos ocuparemos únicamente de la primera época de la tecnociencia, tal y como ésta se configuró en los EEUU en la época de la segunda guerra mundial. Un análisis de la instauración del sistema que puso en marcha y luego sustentó la macrociencia, aunque sea somero, nos permitirá deslindar varias componentes estructurales y analizar algunas relaciones entre dichas componentes. Partiremos de una concepción sistémica de la tecnociencia, y por tanto holista. La tecnociencia requiere la constitución y consolidación de sistemas de ciencia y tecnología (SCyT), de los que forman parte otros muchos subsistemas (instituciones, empresas, agentes, equipamientos, innovaciones, etc.). Pero, además, añadiremos una metodología analítica, basada en la distinción de componentes básicas del sistema SCyT y de sus subsistemas integrados, así como de las acciones tecnocientíficas que se llevan a cabo en dichos marcos sistémicos. Este sistemismo analítico se concretará en la axiología de la tecnociencia de la que nos ocuparemos en el capítulo siguiente.

La progresiva implantación del sistema SCyT ofrece diversas variantes según los países y las disciplinas. Dicho sistema genera una nueva forma de cultura, la *cultura tecnocientífica*, que entra en relación (y a veces en colisión) con culturas previamente existentes, incluida la cultura científica moderna². Las componentes que vamos a distinguir presentan distintas variantes según las disciplinas y los sistemas SCyT de cada país. Aun así, hay una estructura general que resulta común a todos ellos, en mayor o menor grado. Se trata de elucidar las componentes básicas de dicha estructura, con el fin de presentar un primer análisis de la misma, que ulteriormente habrá de ser afinado y mejorado, contrastando esas propuestas conceptuales con las especificidades de cada sistema científico-tecnológico concreto.

2. No pensamos que la cultura científica sea una. Galison ha mostrado que cabe distinguir entre tres subculturas, la de los teóricos, la de los experimentalistas y la de los instrumentos. En el caso de la tecnociencia, esas subculturas entran en contacto con otras formas de cultura (empresarial, política, militar, ecológica, jurídica, etc.). Los diversos subsistemas de valores que distinguiremos en el capítulo 5 pueden servir como índice para diferenciar subculturas dentro de las tecnociencias, sin olvidar la incidencia que las culturas nacionales tienen en la estructuración de los diversos sistemas de ciencia y tecnología.

Hechas estas salvedades, hay varias tareas a llevar a cabo. En primer lugar, es preciso definir el marco en que se desarrolla la actividad tecnocientífica. En segundo lugar, hay que precisar quiénes son los agentes tecnocientíficos más relevantes y cuáles las acciones características de la tecnociencia. En tercer lugar, nos hace falta una teoría de las acciones tecnocientíficas: partiremos de las propuestas que hemos hecho en el libro *Ciencia y Valores*³. Hay otras componentes estructurales a distinguir, pero el estudio de estas tres primeras (sistema CyT, agentes básicos y tipos de acciones) junto con esa teoría de la acción nos permitirán desbrozar algo la estructura de la práctica tecnocientífica. Analizaremos y comentaremos algunas de ellas, no todas. El tema que abordamos es muy amplio y se trata de dar unos primeros pasos en su estudio, no de llegar al final, ni mucho menos de agotarlo.

2. LA EMERGENCIA DE LA POLÍTICA CIENTÍFICA

Vimos en el capítulo 1 que las macrociencias surgieron en la época de la segunda guerra mundial en los EEUU. Otros países (Alemania, Gran Bretaña) se orientaban en una dirección similar, aunque el conflicto bélico impidió la consolidación de las tecnociencias en ellos. También vimos que surgen primero en el ámbito de la física y de las matemáticas, en base a necesidades de la investigación básica (ciclotrones, computadoras) o de la actividad militar (radares, trayectorias de proyectiles, bombas atómicas...). Estos primeros macroproyectos tuvieron éxito y posibilitaron el desarrollo de otros muchos. La alianza entre científicos, tecnólogos, militares e industriales se reveló mutuamente beneficiosa, sin perjuicio de los conflictos que se suscitaron, razón por la cual el Gobierno de los EEUU decidió institucionalizar y dirigir políticamente dicha alianza, convirtiéndola en alianza estratégica. Para ello se remodeló el sistema científico y tecnológico estadounidense.

Suele atribuirse a Vannevar Bush y a su informe de 1945, *Science, the Endless Frontier*⁴, el diseño básico del sistema SCyT norteamericano. Por

3. Echeverría, 2002, *o.c.*, cap. 2.

4. Editado en Washington por la National Science Foundation en 1945 y reeditado en 1960 y 1990.

nuestra parte, consideramos que la aprobación y puesta en práctica de las directrices de dicho informe sintetizan bien la fase inicial de la macrociencia, pese a que autores como Greenberg han ironizado sobre el mito del «creador» de la nueva política científica y tecnológica, suministrando algunos argumentos en contra de dicho mito fundacional⁵. Es cierto que algunas Universidades norteamericanas (MIT, Berkeley, Stanford) ya habían dado pasos en esa dirección. Pero la ampliación de dicho modelo a todo el país, junto con su aprobación parlamentaria para la época de la postguerra, supusieron pasos decisivos para la consolidación y desarrollo de lo que ya había sido ensayado anteriormente.

El informe Bush nos interesa como *diseño* de un nuevo marco para la actividad científica y tecnológica en la postguerra y también como teoría sobre la influencia de la ciencia sobre la sociedad. La fase de diseño, por cierto, fue complicada y conflictiva. Los defensores de la tradición científico-tecnológica anterior en los EEUU (prioridad de los Estados frente al Gobierno Federal, desconfianza respecto a la intervención del Gobierno en cuestiones científicas, búsqueda de mecenas privados para apoyar a las Universidades y centros de investigación, etc.) opusieron considerable resistencia a las nuevas ideas, por lo que Bush precisó de un fuerte apoyo político para poder llevar adelante sus propuestas. Aun así, Truman tardó más de cuatro años en ponerlas en práctica. Es importante subrayar que, una vez publicado, dicho informe fue una acción macrocientífica muy importante, a pesar de que no se hizo en un laboratorio, sino en un nuevo escenario de la macrociencia, el *gabinete de política científica y su entorno*, es decir la Casa Blanca, la Cámara de Representantes y los Comités que asesoraron a Bush⁶. El objetivo de dicha acción no era generar conocimientos específicos, sino crear las condiciones de posibilidad para ello, transformando la práctica científica e introduciendo cambios importantes en su marco institucional,

5. Daniel S. Greenberg, *Science, Money and Politics*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 2001, capítulo 3.

6. No hay que olvidar que Vannevar Bush procedía del MIT, donde había sido Vicepresidente y Decano de Ingeniería en 1932. En 1938 se desplazó a Washington para presidir la Carnegie Institution y durante la guerra dirigió la Oficina de Investigación Científica y Desarrollo en la propia Casa Blanca. Bush convenció al Presidente Roosevelt de la conveniencia de concebir una política científica para la postguerra, aunque su informe lo presentó a Truman, tras el fallecimiento de Roosevelt.

político, financiero y social. Fue una acción macrocientífica porque su objetivo era transformar la estructura de la ciencia norteamericana en su conjunto. Además, el informe Bush formuló una nueva *teoría de la práctica científica*, que Bush había ido aquilatando a partir de su larga experiencia como científico, en primer lugar, y luego en altos cargos institucionales en el MIT, la Carnegie Institution y la Office of Scientific Research and Development, de la que fue director durante la presidencia de Roosevelt.

Al final, el informe Bush fue asumido políticamente, tras múltiples polémicas, debates y críticas, que no cesaron después de la guerra. No todo lo propuesto por Bush se hizo realidad y, además de lo que él propugnó, se hicieron otras muchas cosas. Mas la *acción Bush* inició una profunda transformación de la ciencia y la tecnología norteamericana, y ello a muchos niveles. En lo inmediato, tuvo efectos institucionales importantes, puesto que varias de las acciones que sugirió, como la creación de un Consejo Científico adscrito a la Presidencia del país y la creación de una Agencia Nacional de coordinación (la National Science Foundation, como se llamó) fueron llevadas a cabo y produjeron efectos duraderos. En términos kuhnianos, la creación de la NSF (o las de la NASA, los NIH, etc.) pueden ser consideradas como logros ejemplares del nuevo paradigma tecnocientífico, en la medida en que éste transforma la práctica científica. No son los únicos ejemplares canónicos⁷. Si comparáramos dicha institución y sus objetivos con la creación de la Royal Society en el siglo XVII podríamos inferir múltiples rasgos distintivos entre la revolución científica y la revolución tecnocientífica.

Uno de los principales fue la emergencia de la política científica, punto éste que Bush subrayó insistentemente en su informe:

7. En 1947, cuando Bush había sido relevado por Steelman, se creó el President's Scientific Research Board para asesorar al Presidente de los EEUU en política científica. Conviene mencionar asimismo que, puesto que Bush no incluyó la medicina en su informe, los Institutos Nacionales de la Salud, que no tenían gran envergadura, optaron por crear la National Foundation for Medical Research, que contribuyó decisivamente a convertir la medicina en tecnomedicina, incorporándola al nuevo sistema científico-tecnológico. Otro tanto ocurrió en otros ámbitos. Incluso los expertos en ciencias sociales protestaron por haber sido excluidos de la NSF, aunque en este caso tuvieron que transcurrir bastantes años hasta la emergencia de las tecnociencias sociales y de las correspondientes instituciones y empresas que las promueven.

No tenemos una política nacional para la ciencia. El gobierno apenas ha comenzado a utilizarla en el bienestar de la nación. No hay dentro de él un organismo encargado de formular o ejecutar una política científica nacional. No hay comisiones permanentes del Congreso dedicadas a este importante tema. La ciencia está entre bastidores. Habría que ponerla en el centro del escenario, porque en ella radica gran parte de nuestra esperanza para el futuro⁸.

Este fue el objetivo principal del informe Bush: convencer al Presidente Roosevelt y al Congreso de la necesidad de diseñar una política científica para la postguerra. El texto ofrecía una fundamentación teórica para dicha iniciativa, así como un conjunto de acciones estratégicas para ponerla en marcha.

3. EL INFORME BUSH

Es importante recordar que Bush, Director en aquella época de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico, que tanto había contribuido a fomentar los grandes proyectos macrocientíficos en tiempos de guerra, escribió su informe a solicitud del Presidente de los EEUU. En su carta de 17 de noviembre de 1944, Roosevelt indicaba a Bush cuatro puntos específicos a los que debía responder:

- 1) ¿Qué puede hacerse de manera coherente con la seguridad militar y con la aprobación previa de las autoridades militares, para hacer conocer al mundo lo más pronto posible las contribuciones que durante nuestro esfuerzo bélico hicimos al conocimiento científico?
- 2) Con especial referencia a la guerra de la ciencia contra la enfermedad, ¿qué puede hacerse hoy para organizar un programa a fin de proseguir en el futuro los trabajos realizados en medicina y ciencias relacionadas?
- 3) ¿Qué puede hacer el gobierno hoy y en el futuro para apoyar las actividades de investigación encaradas por organizaciones públicas y privadas?
- 4) ¿Puede proponerse un programa eficaz para descubrir y desarrollar el talento científico de la juventud norteamericana, de modo que sea posible

asegurar la continuidad futura de la investigación científica en este país, en un nivel comparable al alcanzado durante la guerra⁹.

Con este guión, Bush se centró en las ciencias naturales, incluidas la biología y la medicina. La revolución tecnocientífica se inició en el campo de las ciencias físico-naturales, tardando muchas décadas en llegar a las ciencias sociales y humanas. La tesis central de su informe quedaba expresada en la carta de remisión del mismo, así como en numerosos pasajes del texto:

El progreso científico es una clave esencial de nuestra seguridad como nación, para mejorar nuestra salud, tener puestos de trabajo de mayor calidad, elevar el nivel de vida y progresar culturalmente¹⁰.

Bien entendido que, cuando Bush habla de progreso científico, se refiere ante todo a lo que hoy en día se denomina investigación básica en el ámbito de las ciencias físico-naturales. La segunda idea directriz, posiblemente la más novedosa, consistió en afirmar que «la ciencia sólo puede ser eficaz para el bienestar nacional como integrante de un equipo, ya sea en las condiciones de la paz o la guerra»¹¹. Se consagraba así a nivel teórico lo que estaba siendo la práctica habitual en EEUU durante la contienda militar: los científicos colaboraban estrechamente con ingenieros, militares, empresarios y políticos en sus investigaciones, saliendo de la tradicional torre de marfil de la ciencia académica. El primer postulado de Bush ha sido criticado desde varios puntos de vista, como veremos más adelante. Sin embargo, casi nadie se ha ocupado del segundo. A nuestro modo de ver, ese «trabajo en equipo» ha contribuido poderosamente a modificar la actividad científica. El mestizaje cotidiano entre las diversas subculturas que conforman la macrociencia y la tecnociencia modificó los hábitos, las costumbres y, en parte, los valores.

Bush afirmaba con gran energía que las tradiciones norteamericanas en ciencia y tecnología eran insuficientes para mantener el liderazgo que los EEUU habían mostrado a lo largo de la guerra. Tomando como ejemplo la investigación en medicina, señalaba que:

9. *Ibid.*, p. 3.

10. *Ibid.*, p. 4.

11. *Ibid.*, p. 6.

8. V. Bush, *Science, the Endless Frontier*, Washington, United States Government Printing Office, 1945, p. 13. Citaremos la traducción de Horacio Pons.

las fuentes tradicionales de sostén de la investigación médica, en gran medida ingresos provenientes de donaciones, otorgamientos de fondos y aportes privados, están disminuyendo y no hay perspectivas inmediatas de un cambio en esta tendencia. Entretanto, el coste de la investigación médica se ha elevado. Si pretendemos mantener en la medicina el progreso que marcó los últimos 25 años, el gobierno debería extender su apoyo financiero a la investigación médica básica en las facultades de medicina y las universidades¹².

Esta será la respuesta principal a las cuatro preguntas de Roosevelt. Lo importante es que el Gobierno Federal lidere la investigación científica aportando importantes presupuestos. Durante la guerra había sido así, pero sólo en las áreas que interesaban al Departamento de Defensa. Había que extender esa nueva estructura financiera a todas las ciencias físico-naturales. Dicho en nuestros propios términos: Bush proponía que el Gobierno se convirtiera en el *principal agente tecnocientífico* del país. Así ocurrió en la época de la macrociencia. El Gobierno y el Congreso crearon comisiones de política científica y reservaron un capítulo presupuestario para fomentar la investigación y del desarrollo. Se trataba de involucrar profundamente a los poderes ejecutivo y legislativo en el fomento de la investigación científica. Este *giro político-financiero* fue la propuesta central de Bush a Roosevelt. Por nuestra parte, lo consideramos como el primer gran cambio estructural, imitado luego por otros países.

Pasando al capítulo de defensa, Bush hacía ver que la guerra moderna era «un combate de técnicas científicas», poniendo como ejemplo las batallas contra los submarinos alemanes, el radar y otras nuevas armas recientemente desarrolladas. La capacidad de defensa y de ataque de una nación dependen estrictamente del conocimiento científico. Por ello, concluía, «debe haber más –y más adecuadas– investigaciones militares en tiempos de paz»¹³. Los científicos civiles tenían que seguir colaborando con los militares:

La mejor manera de lograrlo es mediante una organización de control civil con estrecha vinculación con el ejército y la armada, pero con financiamiento directo del Congreso y facultades explícitas de iniciar investigaciones mi-

litares que complementarán y fortalecerán las llevadas a cabo directamente bajo el control de ambas fuerzas¹⁴.

Los ejércitos mantendrían sus propios centros de investigación, pero, además, se proponía crear una organización que vinculara institucionalmente a los científicos y a los militares, siempre bajo la dependencia financiera del Congreso, es decir, con un capítulo específico de los presupuestos del Estado. Bush volvía a insistir en que el Gobierno y el Congreso tenían que ser los agentes tecnocientíficos principales, sin perjuicio de que siguieran existiendo Agencias militares dedicadas a la investigación.

El diseño del nuevo sistema de ciencia y tecnología se completaba con el capítulo industrial. Para que haya pleno empleo –razonaba Bush– «debemos hacer nuevos productos, mejores y más baratos». Para ello debía haber:

una multitud de nuevas y vigorosas empresas. Pero los nuevos productos y procesos no nacen plenamente desarrollados. Se fundan en nuevos principios y nuevas concepciones, que a su vez resultan de la investigación científica básica. Esta es el capital científico. Por otra parte, ya no podemos depender de Europa como una fuente importante de este capital. Es evidente, entonces, que más y mejores investigaciones científicas son un elemento esencial para el logro de nuestra meta del pleno empleo¹⁵.

El silogismo es contundente y está a la base de lo que ulteriormente ha sido denominado *modelo lineal* de la ciencia y el progreso social. El pleno empleo y el progreso de una sociedad no se logran sin empresas competitivas. Estas no son competitivas si no son capaces de fabricar y vender productos nuevos y baratos. Las innovaciones comerciales e industriales sólo surgirán si hay desarrollos tecnológicos y avances científicos. Por tanto, la investigación científica es la base del progreso empresarial y del pleno empleo, al igual que lo era de la salud y la defensa. Podríamos criticar más de una de estas inferencias, pero nuestro objetivo en este apartado no es la crítica, sino el análisis. Veremos que al modelo Bush le subyacen otros postulados, que conviene elucidar antes de proceder a un

12. *Ibid.*, p. 7.

13. *Ibid.*

14. *Ibid.*

15. *Ibid.*

comentario crítico. Es obvio que Bush da por supuesta una economía de mercado y que defiende una posición de liberalismo económico. Sin embargo, hay otros presupuestos todavía más determinantes, como veremos a continuación.

Lo notable es que Bush hable de la investigación científica básica como una nueva forma de capital, *el capital científico* (o del conocimiento, como ahora se diría). Hasta la segunda guerra mundial, EEUU importaba esos conocimientos científicos de Europa y luego los implementaba tecnológica, industrial y comercialmente. Tras la tremenda contienda bélica, Europa iba a quedar descapitalizada desde el punto de vista del conocimiento. Buena parte de sus científicos fallecerían o emigrarían, la industria quedaría arrasada y no habría fuentes de financiación para promover la investigación básica, puesto que los países europeos tendrían otras prioridades, como la reconstrucción de las infraestructuras ciudadanas e industriales. Por tanto, era imprescindible que EEUU tomara el relevo y se hiciera con el dominio de ese nuevo mercado de capitales. De hecho, ya lo estaba haciendo, al contratar a su servicio a los mejores científicos europeos en trance de emigración. Se trataba de reafirmar una práctica ya existente, consolidándola cara al futuro como una estrategia duradera. Hablando en términos generales, cabe decir que uno de los grandes éxitos de los EEUU en el siglo XX ha consistido en su capacidad para atraer capital intelectual al país, procedente primero de Europa, luego de otros países. Hoy en día, esa política se mantiene. La URSS también la practicó pero, tras su desaparición como Estado, el mercado del capital científico está dominado casi por completo por los EEUU, pese a los esfuerzos de Canadá, Europa y otros países por atraer «cerebros», como suele decirse.

Sólo estamos comentando el resumen que el propio Bush hizo de su informe, sabedor sin duda de que un Presidente no iba a leerse el texto entero, pero sí el resumen. Ahí están, muy claramente sintetizadas, las ideas motrices de la política científica que Bush propuso crear. El pivote básico siempre es la investigación científica, en base a una razón muy importante y altamente novedosa para la época, al menos a esos niveles de interlocución. El dinero, los recursos naturales y las industrias son modalidades importantes de capital, pero hay una nueva que ha sido cultivada en Europa y no en los EEUU: la ciencia. Asumiendo el riesgo de incurrir en un anacronismo, diremos que Bush anticipó algunas de las

tesis básicas de lo que actualmente se denomina sociedad del conocimiento, entendido éste como una nueva forma de riqueza y de poder:

¿Cómo incrementamos este capital científico? En primer lugar, debemos contar con muchos hombres y mujeres formados en la ciencia, porque de ellos depende tanto la creación de nuevo conocimiento como su aplicación a finalidades prácticas. Segundo, debemos fortalecer los centros de investigación básica que son principalmente las facultades, universidades e institutos de investigación ... Sólo ellas dedican casi todos sus esfuerzos a expandir las fronteras del conocimiento¹⁶.

Aparte de las factorías industriales, hay que estar atento a otro tipo de factorías, las que generan conocimiento y amplían las fronteras de la noosfera, por decirlo en términos de Sáez Vacas¹⁷. Estos son los científicos, con sus facultades, universidades y centros de investigación. Invertir en la ciencia implica incrementar el *noo-capital*, siempre que dichas inversiones estén dirigidas por personas competentes en la materia. El Consejo Científico que proponía Bush era una especie de Consejo de Administración del capital científico, el cual, con financiación gubernamental, tenía como tarea principal acumular e incrementar la nueva modalidad de capital. A nuestro modo de ver, aquí radica el gran cambio teórico que subyace, con relativa claridad, en el informe Bush. El conocimiento científico ya no es un bien en sí, sino un bien económico, y en concreto un capital. Algunos comentaristas han afirmado que esa terminología era puramente metafórica y que había sido introducida teniendo en cuenta los posibles lectores del informe. Esa habilidad retórica es cierta. Pero no es menos cierto que, al afirmar estas ideas, Bush estaba prefigurando uno de los rasgos distintivos más importantes de la revolución tecnocientífica: la conversión del conocimiento científico en capital económico y de las comunidades científicas en empresas tecnocientíficas. Obviamente, no dio este último paso. Se limitó a preconizar la vinculación estrecha entre la ciencia académica y el mundo empresarial, como efectivamente ocurrió en los EEUU durante la época de la macrociencia. Pero conviene subrayar que Bush anticipó en 1945 uno de los postulados

16. *Ibid.*, pp. 7-8.

17. F. Sáez Vacas, 2000, *o.c.*

básicos de la tecnociencia actual, que la distingue netamente de la ciencia moderna: *el conocimiento es un bien económico (y militar, y social, y sanitario), no sólo un bien epistémico*. A nuestro modo de ver, éste es el postulado principal de la teoría Bush y de la revolución tecnocientífica. Por ello afirmamos que la tecnociencia implica un cambio radical de los valores de la ciencia, empezando por su valor principal, el conocimiento científico.

Bush indicaba también la posibilidad de fomentar la investigación científica en las empresas mediante una adecuada política de impuestos y de patentes, acciones que fueron puestas en práctica cuarenta años después por la administración Reagan y que, a nuestro entender, fueron decisivas en la emergencia de la tecnociencia propiamente dicha, que está basada en la privatización de los noo-capitales y en su rentabilización ulterior a través de las patentes, las licencias de uso, las transferencias de conocimiento, las inversiones bursátiles, la compraventa de empresas tecnocientíficas, etc. Siendo un decidido partidario de la primacía del Gobierno como agente tecnocientífico, Bush aconsejaba «crear una junta permanente de asesoramiento en ciencia, para que aconseje al poder ejecutivo y el poder legislativo en estas materias»¹⁸. En nuestros propios términos, el poder político debía ser el principal gestor del nuevo capital, el conocimiento científico, impulsando su creación y su transferencia a las empresas, a los hospitales, al sector militar y, en último término, a la sociedad. Aunque no desarrolló la tesis de que la ciencia incrementa considerablemente el nivel cultural de un país, no cabe duda de que ello dependía de la potenciación de la enseñanza de la ciencia entre los jóvenes norteamericanos. La puesta en marcha de un enérgico plan para otorgar becas de personal investigador y la organización de un sistema de difusión del conocimiento científico, aparte de las revistas académicas clásicas, eran otras dos propuestas de Bush, en respuesta a la cuarta pregunta de Roosevelt:

La rapidez o lentitud con que desplazemos cualquier frontera científica dependerá de la cantidad de científicos altamente calificados y capacitados que la exploren¹⁹.

18. *Ibid.*, p. 8.

19. *Ibid.*

Y un poco más adelante:

El techo real de nuestra productividad de nuevo conocimiento científico y su aplicación en la guerra contra la enfermedad y el desarrollo de nuevos productos e industrias, es el número disponible de científicos capacitados²⁰.

Obsérvese que el objetivo último siempre consiste en expandir las fronteras del conocimiento. Este es la nueva forma de capital. Para incrementarlo, es preciso formar investigadores científicos mediante becas, de modo que el manantial del conocimiento no se agote. Las personas son las que generan nuevo conocimiento, siempre que cuenten con una buena formación previa e instrumentos adecuados. En la medida en que dicho capital crezca en un país, éste será más poderoso militarmente, más sano, más productivo y más culto, aparte de acercarse a la meta del pleno empleo. La frontera sin fin que daba título al informe es la nueva frontera del conocimiento, que los EEUU tenían que conquistar. El proyecto tenía suficiente recorrido como para servir de base a una política científica duradera, como así ha sido, con los lógicos altibajos y cambios de orientación. Los programas de investigación y desarrollo impulsados por el gobierno de los EEUU han ido cambiando en función de las necesidades y de las ideologías de las sucesivas administraciones, pero la estructura básica del sistema se ha mantenido intacta, al menos hasta mediados de los años 60.

Habría muchas más cosas a comentar en el informe Bush, pero las anteriores bastan para nuestro objetivo en este libro. Ya no estamos ante iniciativas macrocientíficas puntuales como las de los años 30 en Stanford, el MIT o Berkeley, algunas de ellas con participación del propio Vannevar Bush. Estamos ante una *teoría de la práctica científica*, y todavía más, ante las bases de una nueva *economía política de la ciencia*. Económicamente está inspirada en el capitalismo. Políticamente en la democracia y en la creencia en que el poder político debe liderar la conquista de la nueva frontera del conocimiento, porque ello traerá beneficios para todo el país. Por otra parte, se trata de una teoría claramente nacionalista, o si se prefiere americanista. Para Bush es claro que EEUU debe tomar el relevo de Europa en el cultivo del conocimiento científico

20. *Ibid.*, p. 9

y que debe hacerlo mejor que el Viejo Continente, vinculando estrechamente la investigación básica y el desarrollo tecnológico. El sistema SCyT está pensado como un sistema creado por los EEUU, para EEUU y en EEUU. Los breves párrafos que Bush dedica en su informe a la difusión internacional del conocimiento científico acumulado a lo largo de la guerra son los más flojos de todo el informe. Hasta los años 70 no hubo una política científica con objetivos a nivel internacional. Es la fase de la tecnociencia, en la que la transferencia de conocimiento y de tecnología a otros países se convirtió en un instrumento para la diplomacia y la firma de acuerdos que tuvieran interés para las empresas norteamericanas.

Desde el punto de vista axiológico, también hay un postulado central: la *libertad de investigación*. Bush insiste en ella una y otra vez a lo largo del texto. El recalcó que habría que «dejar el control interno de las políticas, el personal y el método y alcance de la investigación en manos de las instituciones en que ésta se efectúa»²¹. Esas instituciones eran las universidades y los centros de investigación, que Bush consideraba como «los manantiales de conocimiento»²². Durante la guerra hubo que imponer rígidos controles a la producción de conocimiento, pero una vez terminado el conflicto militar había que retornar a la plena libertad investigadora. Bush hizo un auténtico canto a la libertad de investigación al afirmar que:

El progreso científico en un amplio frente resulta del libre juego de intelectos libres, que trabajen sobre temas de su propia elección, y según la manera que les dicte su curiosidad por la exploración de lo desconocido. En cualquier plan de apoyo gubernamental a la ciencia debe preservarse la libertad de investigación²³.

Este fue el punto más conflictivo de su informe a la hora de pasarlo a la aprobación del Congreso norteamericano. Según Bush, cada investigador debía ser libre para elegir sus propios temas de investigación. Ello contradecía la práctica reciente, en la que los Directores de los macroprogramas definían estrictamente los objetivos y la programación, como

21. *Ibid.*, p. 10.

22. *Ibid.*, p. 13.

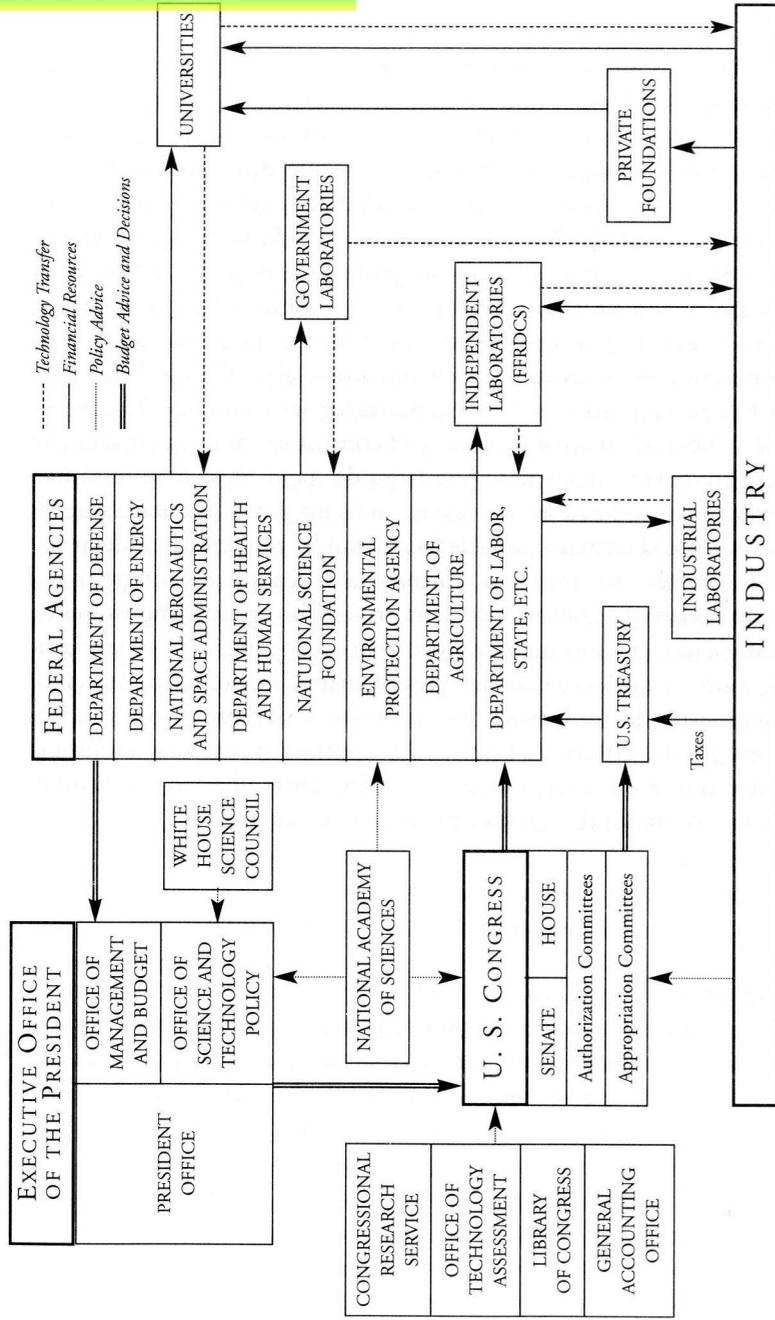
23. *Ibid.*

vimos al final del segundo capítulo. Por otra parte, muchos parlamentarios creían que los fondos que el Congreso dedicaba a investigación habrían de estar sujetos a las mismas normas jurídicas y procedimentales que el resto de las inversiones públicas, algo que Bush pretendió evitar en lo posible, atribuyendo la responsabilidad de la gestión a las direcciones de las agencias federales y, a través de ellas, al Gobierno norteamericano. No es fácil prever con detalle los gastos que surgirán al desarrollar un macroproyecto de investigación. Los descubrimientos científicos y los avances tecnológicos que pudieran producirse modifican una y otra vez las necesidades financieras, normalmente al alza. Por eso Bush quería que la ciencia tuviera las menores trabas legales y políticas. El conflicto entre la libertad de investigación y el control social de la ciencia está en el origen de la tecnociencia. A lo largo del siglo XX se manifestó una y otra vez, sobre todo en la crisis de los años 60. Bush intentaba que las relaciones entre la ciencia y la sociedad fueran las tradicionales: dejar hacer a los expertos. Sin embargo, afirmaba a la vez que el Congreso y el Gobierno tenían que convertirse en los principales agentes impulsores de la investigación. ¿Cómo no va a incidir en la investigación quien la financia, a no ser que actúe por razones filantrópicas, como un mecenas? Los congresistas, los militares y los empresarios siempre intentaron imponer sus propios criterios y prioridades, contrariamente a la autonomía de la ciencia que Bush reivindicó. La tensión entre libertad y control es uno de los conflictos de valores típicos de la tecnociencia.

4. NUEVOS AGENTES TECNOCIENTÍFICOS

Prescindiremos de los detalles históricos de la constitución del sistema norteamericano de ciencia y tecnología para analizar su estructura básica, tal y como ésta estaba configurada en la época en que apareció la tecnociencia, es decir a principios de los años 80 (ver cuadro 1). Podemos distinguir seis ámbitos principales de acción, con diversos agentes en cada uno de ellos.

a) La Casa Blanca tenía su Consejo Científico, conforme había preconizado Bush en 1945. Además, la Oficina Ejecutiva del Presidente contaba con su propia oficina de política científico-tecnológica, vinculada a la Academia Nacional de Ciencias y al Congreso. Tanto el Senado como



CUADRO I. La Organización de la Ciencia en Estados Unidos.

Fuente: D. Dickson, *The New Politics of Science*, Chicago, Univ. of Chicago Press, 1988, p. 22.

la Cámara de Representantes tenían sus Comités CyT, normalmente con presencia de científicos e ingenieros, aparte de los propios políticos. Además el Congreso disponía de la célebre Biblioteca del Congreso, de una Oficina de Evaluación de Tecnologías y de otra Oficina que tenía a su cargo el Control Contable. La Oficina de Patentes, creada años antes, dependía tradicionalmente del Departamento de Comercio, que había sido uno de los más activos en los años 30 a la hora de financiar la investigación científica. Podemos resumir la estructura de este primer ámbito del sistema SCyT diciendo que en él se produce una alianza, no exenta de problemas, entre el poder ejecutivo, el poder legislativo y el poder emergente de los científicos e ingenieros. No hubiera habido macrociencia en la postguerra sin la inserción de destacados científicos en el corazón del poder ejecutivo y legislativo. Obviamente, ello politizó la ciencia. Mantener la neutralidad axiológica de la ciencia a partir de la segunda guerra mundial es una notable ingenuidad. Curiosamente, es la época en que muchos filósofos y científicos insisten en la separación estricta entre la ciencia y los valores.

b) Las Agencias Federales dedicadas a la ciencia y la tecnología eran muchas. Cada una de ellas tenía a su cargo algunos grandes programas, aunque también hubo pugnas entre ellas por algunos, como el proyecto Genoma. Destacaban la NSF, la NASA, la Agencia de Protección Medioambiental, los Institutos de la Salud y las agencias de los Departamentos de Defensa, Comercio, Energía, Agricultura, Trabajo, etc. Todas estas agencias federales mantenían estrechas relaciones de colaboración con las universidades, los centros de investigación gubernamentales, los centros de investigación independientes y, por supuesto, las industrias, con sus laboratorios y sus departamentos de I+D. La Oficina de Patentes comenzó a asemejarse a un banco del conocimiento, al menos en lo que respecta a I+D. La Biblioteca del Congreso desempeñaba una función similar en lo que se refiere al conocimiento científico tradicional. Las Fundaciones privadas completaban el mapa del sistema CyT norteamericano, contribuyendo a la financiación de programas concretos, a la incorporación al sistema de científicos destacados o a la provisión de grandes equipamientos. Este era el mapa básico del segundo nivel del sistema CyT norteamericano. Por supuesto, algunas de esas instituciones y corporaciones aglutinaban a su vez complejas estructuras. Entre ellas destacan los departamentos de dirección y las comisiones asesoras. Los científicos y los inge-

nieros comenzaron a competir entre sí por tener un lugar en dichas comisiones e instancias de decisión, no sólo por hacer descubrimientos en los laboratorios y publicarlos rápidamente en las revistas de mayor prestigio.

c) Las organizaciones militares dedicadas a I+D siguieron existiendo después de la guerra y su crecimiento fue continuado, salvo en la década 1965-75. Hay que destacar que a partir de los años 80 sus presupuestos han vuelto a incrementarse vertiginosamente, por lo que la tecnociencia militarizada conforma un tercer sector del sistema SCyT norteamericano. Este tercer ámbito está aparentemente separado de los demás, sobre todo del mercado y la sociedad, pero de hecho mantiene vínculos muy estrechos con muchos agentes tecnocientíficos civiles e industriales. Una reflexión sobre la tecnociencia y sobre los sistemas tecnocientíficos que no tome en consideración el sector tecnomilitar resulta claramente insuficiente. Precisar su estructura interna no suele ser fácil, por falta de información pública. Sin embargo, hay suficientes casos de estudio como para poder analizar las tecnociencias militares.

d) Un cuarto ámbito es el propiamente empresarial. Al principio fue estrictamente industrial. En el último cuarto de siglo fue evolucionando hacia la economía de la información y el conocimiento. Hasta los años 60, intervenía complementando las iniciativas del gobierno y de las agencias federales, así como firmando contratos de investigación con las universidades y centros de investigación, como en la época industrial. A partir de los años 80, las empresas tecnocientíficas comenzaron a ser las protagonistas en investigación, diseñando sus propias políticas de I+D. El Estado siguió teniendo un papel importante en el sistema SCyT, pero más bien como catalizador que como motor del mismo, con la excepción de algunos macroprogramas, que siguieron estando a cargo de las instituciones científicas federales. En esta época se produjeron dos grandes novedades en este ámbito del sistema SCyT: la aparición de nuevas fuentes de financiación (entidades de capital-riesgo, Bolsa, etc.) y la incorporación de algunos científicos a los Consejos de Administración de dichas empresas, con los consiguientes conflictos de intereses. En el apartado 2.1 tuvimos ocasión de comentar estos cambios.

e) El quinto ámbito del sistema SCyT es el mercado, en el que se comercializan las innovaciones tecnocientíficas convenientemente rediseñadas para su uso civil. Es el caso de los radares, de los ordenadores, de los sistemas de telecontrol, de la robótica, de las fibras sintéticas, de los

polímeros y de algunos artefactos de uso común, como la televisión, el teléfono, el microondas o el avión. A partir de ese momento, la aceptación por parte de los consumidores de los nuevos inventos tecnocientíficos pasa a ser un criterio decisivo para la evaluación de las acciones tecnocientíficas. La investigación y el desarrollo no bastan, es preciso considerar además la innovación. El diseño de las políticas CyT de las empresas privadas no sólo incluye aspectos científicos y tecnológicos, sino también financieros y mercantiles. A la postre, hay que vender el conocimiento, no basta con producirlo. Esta es la época en que la macrociencia va dejando paso a la tecnociencia propiamente dicha, que se caracteriza por el mayor protagonismo de la iniciativa privada. El conocimiento no sólo es un capital, sino también un bien cotizable en el mercado. Comenzó a haber grandes depósitos privados de conocimiento, no sólo depósitos públicos como las bibliotecas y las oficinas de patentes. En conjunto, a partir de los años 80 este cuarto ámbito del sistema SCyT comenzó a ser el principal. Por ello hablamos de una privatización sistemática del conocimiento, que rompe con las tradiciones de la ciencia moderna.

f) El sexto y último ámbito que vamos a distinguir es la sociedad. Tradicionalmente, las relaciones entre la ciencia y la sociedad habían sido canalizadas a través de los sistemas educativos, y en particular a través de las universidades y su función docente y transmisora del conocimiento. Ya vimos que Bush recomendó reforzar las instituciones de educación superior, cosa que se hizo. Las universidades norteamericanas pasaron a ser las mejores del mundo en la época de la postguerra. Asimismo apoyó la difusión del conocimiento científico en la sociedad, lo cual también se llevó a cabo, aunque a través de nuevos canales de comunicación, que son específicos de la tecnociencia. Es el momento en que surgen grandes plataformas para presentar las novedades tecnocientíficas (*Nature*, *Science*, etc.) así como revistas, magacines y suplementos de divulgación de calidad. El cine y la literatura de ciencia-ficción también desempeñaron una función importante a lo largo del siglo XX. En conjunto, al sistema educativo tradicional se le superpuso un segundo sistema para difundir el conocimiento, basado en los nuevos medios de información y comunicación. A partir de los años 80, la presentación de los grandes avances científicos y tecnológicos a través de los *mass media* se convirtió en una nueva práctica tecnocientífica. Aparte de los grandes investigadores, comenzaron a ser apreciados los buenos divulgadores y comunicadores del

conocimiento tecnocientífico. Se trata de un nuevo cambio estructural, que sustituye las presentaciones de los avances científicos ante personas notables, propias de la ciencia moderna, por campañas mediáticas de lanzamiento de dichas novedades, con el fin de que lleguen rápidamente al conjunto de la sociedad. El conocimiento científico y tecnológico se divulga más y mejor, pero se concibe a la sociedad como una entidad pasiva, es decir, como un simple receptor de información y conocimiento. Ya vimos en el capítulo 2 que, desde mediados de los 60, la sociedad había abandonado esa pasividad y comenzó a mostrarse crítica con algunos aspectos del sistema SCyT, empezando por su dependencia de organizaciones militares, y siguiendo por los impactos medioambientales que producen algunas innovaciones tecnocientíficas. Desde entonces, cabe afirmar que los conflictos entre la tecnociencia y la sociedad forman parte de la estructura de los sistemas SCyT.

Este primer bosquejo de la estructura básica del sistema norteamericano de ciencia y tecnología muestra la profunda transformación que se produjo tras la guerra, siguiendo las líneas maestras del plan de Vannevar Bush. La investigación científico-tecnológica fue impulsada fuertemente por el Gobierno y el Congreso a través de las Agencias federales, la mayoría de las cuales contaban con presupuestos muy considerables para desarrollar sus actividades de I+D. Subsidiariamente, otros muchos agentes colaboraron con dicha política científica. Este nuevo diseño del sistema SCyT dio lugar a profundos cambios en la práctica científica, entre los cuales mencionaremos los siguientes:

1) Asignaciones presupuestarias muy considerables para I+D. El apoyo federal creció un 14% anual en dólares constantes entre 1953 y 1961. Como señala Bruce L. R. Smith, «el crecimiento fue a la vez una condición y una parte de la doctrina»²⁴, puesto que permitió acallar a los científicos discrepantes y favorecer a los entusiastas. La política presupuestaria es una componente básica de los sistemas SCyT, tanto por lo que compete al Gobierno como al Congreso y a las Agencias Federales.

2) Creación de Comisiones para el diseño de las políticas científicas y para la toma de decisiones en el Congreso. Este nuevo agente tecnocientífico, las Comisiones Asesoras, tiene una enorme importancia en los nuevos sistemas SCyT. Sus funciones pueden ser muy diversas, según las

instituciones o empresas a las que asesoran, pero siempre cumplen tres: garantizar la presencia de las comunidades científicas en la toma de decisiones, proponer nuevas iniciativas y resolver los conflictos que pueden surgir entre diversos agentes del sistema SCyT. La presencia en dichas Comisiones conlleva poder. Las pugnas por acceder a ellas son moneda corriente, y no sólo entre líneas de investigación que compiten entre sí, sino también entre disciplinas científicas.

3) Impulso, financiación y desarrollo de proyectos estratégicos desde la National Science Foundation y otras Agencias Federales. Con ello se inició la tradición de las líneas prioritarias de investigación, que ha marcado profundamente la estructura de la actividad tecnocientífica. Al igual que el Gobierno y el Congreso, las diversas Agencias Federales definían sus objetivos, indicaban y financiaban sus líneas prioritarias y desarrollaban programas concretos para lograr esos objetivos. A través de estas acciones se produjo una fuerte interrelación entre las comunidades científicas e ingenieriles y los nuevos agentes del sistema SCyT. Además se creaban las *condiciones iniciales* que luego harían posible los avances científico-tecnológicos. En la época de la tecnociencia, los mayores avances del conocimiento se producen en aquellas áreas que previamente han sido elegidas como prioritarias. Estamos ante un *progreso dirigido*, e incluso planificado, con la peculiaridad de que la dirección no siempre corresponde a los científicos. Como vimos en el capítulo 2, aquellos científicos que asumen esas funciones experimentan una mutación en tanto científicos. El científico-gestor aporta una nueva forma de subcultura científica.

4) Potenciación de los proyectos y contratos de investigación, haciendo competir a los equipos investigadores a nivel federal, no estatal. Ello obligaba a los científicos a hacer un diseño previo de lo que querían hacer (estado de la cuestión a investigar, hipótesis de partida, objetivos a lograr, plazo para ello, recursos humanos y económicos necesarios, metodología a aplicar, plan de trabajo, resultados científicos y tecnológicos esperables, etc.). Las Universidades y Centros de Investigación públicos y privados que quisieran avanzar en ciencia o tecnología tenían que adecuarse a las políticas del Gobierno o hacer propuestas que resultaran interesantes para la NSF y las restantes Agencias. No sin rechazos, la investigación pasó a estar fuertemente mediatizada por las políticas científico-tecnológicas. Además, se produjo una estandarización del modo de hacer propuestas de investigación, generándose protocolos y formularios

24. Smith, 1990, *o.c.*, p. 39.

que representan auténticas *generalizaciones simbólicas de la práctica tecnocientífica*. En lugar de proponer hipótesis, teorías, etc., los científicos pasaron a tener que proponer primero *proyectos de investigación*, algunos de los cuales son aceptables para las Agencias, otros no. Dominar esas nuevas formas, que no son matemáticas ni conceptuales, sino prácticas, se convirtió en una nueva exigencia para los científicos. Con la llegada de la tecnociencia, todos esos formatos se han ido informatizando y telematizando. Una parte significativa del tiempo de trabajo de los investigadores se dedica hoy en día a la cumplimentación de dichos formularios. Desde el punto de vista de la ciencia moderna, podrá parecer un trabajo menor, frente a las excelencias del trabajo en el laboratorio. Sin embargo, para ser tecnocientífico es preciso ser un experto en esas nuevas generalizaciones simbólicas, que son tan importantes como los lenguajes científicos tradicionales. De hecho, las evaluaciones de las solicitudes se llevan a cabo en primer lugar por razones de forma (haber cumplimentado bien los *templates*). Sólo cuando se ha pasado este umbral se comienzan a analizar las cuestiones de contenido científico.

5) Creación de nuevas profesiones, como las de asesores y expertos en gestión de políticas científicas, así como en evaluación de la ciencia y la tecnología, reciclando para ello a algunos científicos e ingenieros. El peso de estos nuevos agentes tecnocientíficos creció conforme el sistema tecnocientífico se fue consolidando, dando lugar a la temida burocracia de la macrociencia. Hoy en día, la tecnociencia ha generado una inmensa infoburocracia. Las múltiples páginas WEB son un nuevo escenario de la actividad tecnocientífica, al igual que sucede en otros sectores de la vida social.

6) La introducción de sistemas de indicadores para medir el desarrollo tecnocientífico, que puede ser considerada como una nueva generalización simbólica (en el sentido de Kuhn), con la peculiaridad de que no se refiere al conocimiento, sino a la práctica científica. Un ejemplo típico son los indicadores de impacto de las publicaciones científicas, que se han convertido en la principal regla para medir la excelencia investigadora. La Cienciometría, la Bibliometría y los estudios de impacto constituyen nuevas generalizaciones simbólicas, con modelos matemáticos y leyes, como vimos en el caso de Solla Price, pero siempre con la diferencia de que dichos formalismos no se refieren a la naturaleza, sino a la sociedad y a la propia ciencia. Dichos modelos cuantitativos inciden fuertemente en la actividad de cada científico e ingeniero, incentivando su productividad,

al valorarse el número de publicaciones, proyectos, patentes y contratos de investigación, así como sus respectivos impactos y resultados. Todos estos ejemplos muestran que un conjunto de *tecnologías sociales* son determinantes en los actuales sistemas de ciencia y tecnología. El estudio a fondo de esas tecnociencias sociales resultaría decisivo para caracterizar con mayor precisión la revolución tecnocientífica.

7) Ampliación a los proyectos de investigación del sistema de evaluación anónima y por pares, tradicional en las comunidades científicas para publicar en las revistas. La creación de Agencias de evaluación y seguimiento de la investigación supuso un cambio revolucionario por lo que respecta a la práctica científica, al normalizarse y protocolizarse los procesos de evaluación. Pero más importante todavía es el cambio en la estructura de las comisiones de evaluación, sobre todo en las empresas tecnocientíficas privadas. En este caso, los criterios de evaluación nunca son únicamente epistémicos. La pluralidad axiológica de la ciencia se manifiesta empíricamente en los diversos protocolos de evaluación que se utilizan para tomar decisiones, elegir entre propuestas alternativas, asignar fondos, contratar a personas, establecer categorías dentro del personal investigador, etc. La tecnociencia no sólo ha modificado el contexto de investigación y de aplicación, también el de evaluación.

8) Fomento de las patentes y la transferencia de conocimiento a la industria, siempre mediante incentivos económicos. La pregunta de Roosevelt a Bush sobre el modo de difundir públicamente el conocimiento secreto que se había producido a lo largo de la guerra apuntó a un tema central de la tecnociencia: la difusión y la divulgación del conocimiento científico.

Podríamos continuar enumerando cambios concretos suscitados en la práctica tecnocientífica, sobre todo si, además del sector público nos ocupáramos del sector privado de I+D, pero las siete anteriores son más que suficientes para hacernos una idea de las profundas diferencias entre la tecnociencia y la ciencia tradicional. Por supuesto, no pretendemos afirmar que los siete puntos anteriores procedan directamente del informe de Vannevar Bush. Tampoco que no hubiera precedentes de este tipo de acciones²⁵. Lo que intentamos caracterizar son las diferencias entre

25. Parafraseando a Kuhn, podría hablarse de una frase «preparadigmática», en la que se apuntan algunos de los cambios que traerá consigo el paradigma tecnocientífico.

los sistemas tecnocientíficos concretos y la ciencia académica anterior a la segunda guerra mundial. Dicha pluralidad de subsistemas se fueron constituyendo y consolidando paulatinamente durante la segunda mitad del siglo XX, pero aquí no nos interesan tanto los pasos que se dieron para ello, sino el cambio estructural conjunto. Hoy en día los sistemas SCyT, con todos los subsistemas imbricados en ellos, están consolidados en muchos países. Aunque siempre evolucionan y cambian, mantienen una serie de invariantes que permiten caracterizarlos con un cierto grado de precisión. En todo caso, no hay duda de que los actuales sistemas SCyT muestran diferencias estructurales muy importantes si se compara con las instituciones científicas de la época moderna. Entonces había una ciencia académica. Hoy en día cabe afirmar que estamos ante una ciencia postacadémica, como dice Ziman²⁶, aunque dicha denominación no nos parece la más acertada para entender el fondo de las transformaciones que se han producido a lo largo del siglo XX.

5. EL MODELO LINEAL DE BUSH COMO TEORÍA DE LA CIENCIA

Hechas estas precisiones, volvamos al informe Bush, puesto que no sólo aporta una serie de propuestas de acción para transformar el sistema SCyT, sino también una *teoría de la ciencia*, que ha sido denominada el *modelo lineal*. No se trata de una teoría filosófica, porque no se centra en el conocimiento científico, sino en la función social de la ciencia, y más

Puede ser fechada a principios de los años 30 en los EEUU. Algunas Universidades ya habían promovido este tipo de cambios: por ejemplo el MIT, o Princeton. Así surgieron el Radiation Laboratory del MIT o los ciclotrones de Princeton. El propio Gobierno Federal había tenido en los años 30 algunas iniciativas que podríamos denominar «pre-tecnocientíficas», e incluso durante la primera guerra mundial. Pero el embrión de sistema tecnocientífico que se creó en los años 20 fue desmantelado al terminar la guerra, cosa que no ocurrió en la segunda guerra mundial. El National Research Council, por ejemplo, desempeñó un papel muy modesto a la hora de catalizar y coordinar las iniciativas. El Departamento de Comercio fue la principal fuerza impulsora de la política científica norteamericana en los años 20, pero algunas de sus principales iniciativas no cristalizaron. Por otra parte, muchas de esas instituciones fueron creadas imitando instituciones similares europeas, a diferencia del informe Bush, que supuso grandes novedades en la organización del sistema SCyT. Ver Smith, 1990, *o.c.*, cap. 2 para la ciencia norteamericana antes de la segunda guerra mundial.

26. Ver J. Ziman, *Real Science*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 2000.

concretamente de la investigación básica. La *teoría Bush* ha servido como fundamentación de la nueva política científica y de los cambios en la estructura de la actividad científica que se fueron realizando a lo largo del siglo XX y que acabamos de enumerar y comentar muy sucintamente. La tecnociencia no ha tenido una fundamentación lógica, epistemológica ni metodológica, como muchos filósofos trataron de dar a la ciencia a lo largo del siglo XX. Su justificación ha sido praxiológica, o si se quiere pragmática, y más concretamente económica, política y militar, lo cual constituye una nueva diferencia entre tecnociencia y ciencia, de gran significación para la filosofía.

La teoría Bush puede ser criticada desde muchos puntos de vista. No es una teoría rigurosa, ni precisa. Tampoco se adecua a los datos que ofrece la historia de las relaciones entre ciencia y tecnología. Como muchos autores han subrayado, no es cierto que la investigación básica genere siempre desarrollo tecnológico. Con mucha frecuencia sucede lo contrario: la tecnología surge primero, y luego vienen las teorías científicas. Pero lo cierto es que la teoría Bush ha sido útil y eficaz, puesto que ha contribuido considerablemente a transformar el mundo, en este caso el propio sistema de ciencia y tecnología. Se trata de una teoría tecnológica, no de una teoría científica. Es ingeniería social, por decirlo en términos de Popper. Pese a todas sus insuficiencias, sigue siendo operativa y eficaz, puesto que muchos científicos, tecnólogos y expertos en política científica la siguen aceptando como si enunciara los principios básicos de la actividad tecnocientífica. Las críticas y «refutaciones» de historiadores, filósofos y sociólogos han tenido muy poco efecto sobre la teoría, y ello por motivos que pueden ser entendidos fácilmente: no han sido hechas desde el propio paradigma tecnocientífico y por ello ni siquiera han sido atendidas. Tampoco han aportado alternativas, por lo que, en general, se han mostrado ineficaces, además de incómodas. El «asunto Sokal» y las recientes «guerras de la ciencia» muestran el rechazo del núcleo duro de la tecnociencia con respecto a ese tipo de críticas, que se hacen desde la periferia del sistema, si no desde el exterior. Desde un punto de vista argumentativo, se insiste en el desconocimiento científico de los críticos. Pero la función de estos debates consiste en reforzar la estructura básica del sistema SCyT y renovar sus postulados fundamentales, que tienen su origen en el informe de Vannevar Bush.

Vimos que Bush propugnaba una nueva independencia respecto a Europa, no ya política, sino científica²⁷. El mismo título de su informe, la frontera sin fin, tocaba la fibra fundacional de los EEUU de América. La ciencia era la nueva mina de oro, donde puede hallarse el fundamento del capital económico y la base del progreso militar, sanitario y comercial. Conforme exponía sus tesis, iba proponiendo una estrategia de acción político-científica con claras connotaciones nacionalistas:

Hoy en día es más verdadero que nunca que la investigación básica es la que marca el paso al progreso. Durante el siglo XIX, el ingenuo talento mecánico de los yanquis, basándose sobre todo en los descubrimientos básicos de científicos europeos, consiguió que las artes técnicas avanzaran mucho. Ahora la situación es diferente. Una nación que dependa de las demás en su nuevo conocimiento científico será más lenta en su progreso industrial y más débil en su posición competitiva en el comercio mundial, independientemente de las habilidades mecánicas que posea²⁸.

La buena situación de los EEUU en lo que a tecnología respecta no bastaba. Se requería ir al núcleo mismo del progreso tecnológico, económico y militar, que radica en el conocimiento científico, el cual sólo se obtiene potenciando la investigación básica. Esta se convierte en el principal motor económico. Estamos ante lo que podemos denominar *principios básicos de la actividad tecnocientífica*, o si se quiere ante la primera formulación de los compromisos metafísicos del paradigma tecnocientífico, por utilizar la terminología de Kuhn. Obsérvese que no se están formulando leyes de la naturaleza, aunque se invoquen. A diferencia de Newton, Bush está enunciando los principios metafísicos de una nueva filosofía social, no de una filosofía natural. Dichos principios se han convertido en modelos (en el sentido de Kuhn) del progreso de una sociedad, y no sólo heurísticos, sino ontológicos. Hemos comprobado que la revolución tecnocientífica generó nuevas generalizaciones simbólicas (los indicadores, la cienciometría, los índices de impacto, los estudios cuantitativos sobre la ciencia y la tecnología, etc.) y también dio lugar a *accio-*

²⁷. Al respecto, ver S. Mukerji, *A Fragile Power. Scientists and the State*, Princeton, Princeton Univ. Press, 1989.

²⁸. *Ibid.*, p. 13.

nes ejemplares (fundación de la NSF, establecimiento de un sistema competitivo para la obtención de fondos para la investigación, creación de empresas tecnocientíficas, etc.), posteriormente imitadas en los sucesivos países que se fueron adhiriendo al nuevo paradigma. Muchas de las componentes del paradigma tecnocientífico, al menos en relación a su primera época, la de la macrociencia, tienen su expresión en el informe Bush, y por ello consideramos ese texto como la primera expresión teórica de la revolución tecnocientífica.

Aunque Bush alude una y otra vez al conocimiento científico, los «principios» que enuncia y las consecuencias o leyes que de ellos se derivan versan todos sobre la actividad científico-tecnológica. Bush no está analizando la estructura del mundo físico, químico o biológico, sino la de un sector muy concreto de la vida social: la ciencia. Los principios prácticos que enunció (su metafísica social) generan leyes, pero no leyes de la naturaleza, sino leyes para la sociedad (presupuestarias, fiscales, económicas), que debían ser aprobadas por el Congreso y el Senado y puestas en práctica por el Gobierno y sus Agencias. Como hemos insistido a lo largo de este libro, la tecnociencia no pretende dominar ni transformar la naturaleza, sino la sociedad. Bush no tiene duda alguna de que el conocimiento de las leyes de la naturaleza y la investigación básica son los instrumentos más adecuados para transformar y mejorar la sociedad, entendiendo por tal la sociedad norteamericana. Su metafísica social se centra en esa tesis. De ella emanan sus recomendaciones y propuestas, siempre con vistas a dos objetivos:

1) El predominio de los EEUU sobre los demás, tanto en lo que respecta al poder militar como a la industria y el comercio. Dicha primacía se había logrado en la guerra. Había que consolidarla en la época de la postguerra.

2) La salud y el progreso económico interno del país.

Bush no preconiza el conocimiento por el conocimiento, ni la búsqueda de la verdad. Estos no son los objetivos de la tecnociencia, sino medios instrumentales para lograr los nuevos objetivos. Tampoco es un seguidor del programa baconiano: conocer la naturaleza para poder dominarla mejor. La tecnociencia que instituye y fundamenta teóricamente tiene otros compromisos ontológicos y, desde luego, otros objetivos. Medio siglo después, cuando la revolución tecnocientífica ha triunfado y se ha propagado por otros países, aunque el predominio es-

relaciones entre la ciencia y las instituciones militares. En este caso tendríamos un esquema bastante diferente:

Investigación básica → Investigación Aplicada → Desarrollo Tecnológico → Innovación → Producción → Capacidad armamentística → Uso (o disuasión) → Poder militar.

Bien entendido que, aparte de quienes usan las armas tecnocientíficas, están quienes padecen sus efectos, es decir las víctimas. Este tipo de «usuarios» también ha de ser tenido en cuenta, puesto que las acciones tecnocientíficas militares pueden producir bienes para algunos, pero con certeza generan males para otros.

Una tercera variante del esquema representa la incidencia de las ciencias sobre la actividad empresarial, tema explícitamente considerado por Bush en su informe y central para nuestra indagación sobre la tecnociencia:

Investigación básica → Investigación Aplicada → Desarrollo Tecnológico → Innovación → Competitividad empresarial → Producción → Comercialización → Consumo → Beneficios económicos

Una cuarta se refería a la salud, y la propuesta de Bush puede resumirse así:

Investigación básica → Investigación Aplicada → Desarrollo Tecnológico → Innovación → Producción → Uso clínico → Salud.

Podríamos proponer otras líneas específicas, tanto partiendo del texto de Bush como de desarrollos posteriores de la política científica norteamericana, por ejemplo en relación con el medio-ambiente. En conjunto, más que lineal, estamos ante un *modelo arborescente*, donde la investigación científica básica siempre está en la raíz y la tecnología constituye el tronco. Las ramas del árbol son algunos sectores sociales (sociedad en general, defensa, industria, salud, etc.) sobre los cuales inciden directamente las innovaciones tecnocientíficas, y por ende la investigación básica que las sustenta. Conviene subrayar que todas las ramificaciones están basadas en la investigación científica y la innovación tecnológica. Una razón más para hablar de tecnociencia. Asimismo hay que señalar, por lo

que respecta a la axiología, que las valoraciones que puedan hacerse de las acciones tecnocientíficas depende mucho del lugar de la cadena donde se sitúe el evaluador. Por ejemplo, si éste es quien padece una acción militar o quien sale perjudicado por una intervención médica, su valoración de la tecnociencia será altamente negativa, como es lógico. Concluiríamos de ello que *la tecnociencia no se percibe (ni se valora) igual desde un lugar de la estructura del sistema de ciencia y tecnología que desde otro*. Ello no implica un relativismo, sino un perspectivismo estructural. Dado que hay diferentes componentes estructurales, las valoraciones que se hagan serán coherentes con el lugar del sistema desde el que se llevan a cabo. Por tanto, las disensiones y los conflictos valorativos están garantizados en la tecnociencia.

Estas primeras esquematizaciones, aun incorporando más matices analíticos, tienen dos inconvenientes importantes. En primer lugar, no representan el papel de la Administración y de sus políticas científicas para poner en movimiento el sistema. Por tanto, hay que incorporar nuevas componentes:

Departamentos de Política Tecnocientífica → Parlamento (presupuestos, leyes, control) → Gobierno (acciones de política tecnocientífica, Agencias, nombramientos) → Financiación → Investigación básica → Investigación Aplicada → Desarrollo Tecnológico → Innovación → Transformación (de los ejércitos, las empresas, el sector sanitario, las sociedades, etc.).

A nuestro modo de ver, esta última esquematización explicita la importante función de los Gobiernos en el desarrollo tecnocientífico, a través de sus servicios de política científico-tecnológica, durante la primera época de la tecnociencia. Asimismo sintetiza los últimos eslabones de los modelos anteriores en el concepto general de *transformación del mundo*, que nos parece clave para hablar de tecnociencia. Dichas transformaciones pueden ser positivas o negativas, claro está.

Pero, en segundo lugar, no hay que olvidar que en la etapa de la tecnociencia propiamente dicha emergió otro tipo de agente, la empresa tecnocientífica, que tiende a reemplazar al gobierno como motor del sistema SCyT, salvo en el caso de los macroproyectos científicos. Es el momento en que van surgiendo grandes empresas multinacionales que diseñan y ponen en marcha *políticas científicas privadas*, así como pequeñas empre-

sas que hacen otro tanto. En tales casos el esquema sigue siendo válido, pero hay que introducir pequeñas modificaciones:

Departamentos de Política Tecnocientífica → Consejo de Administración → Dirección Científica → Financiación → Investigación Aplicada → Desarrollo Tecnológico → Innovación → Comercialización → Beneficios económicos.

La novedad principal consiste en la desaparición de la investigación básica (aunque pueden dedicarse algunos fondos a ella) y la priorización de la investigación aplicada y la innovación. Dando por supuesto que los Gobiernos asumen la tarea de incentivar la investigación básica y que los resultados de la misma se hacen públicos, las políticas tecnocientíficas privadas priorizan la innovación tecnológica y el mercado, al par que privatizan el conocimiento tecnocientífico. No hay que olvidar que a partir de los años 80 la financiación privada en I+D supera a la financiación pública, al menos en los EEUU. Por ello decimos que la aparición de este nuevo agente motriz de la tecnociencia caracteriza a la segunda época de la tecnociencia, hoy en día en plena expansión.

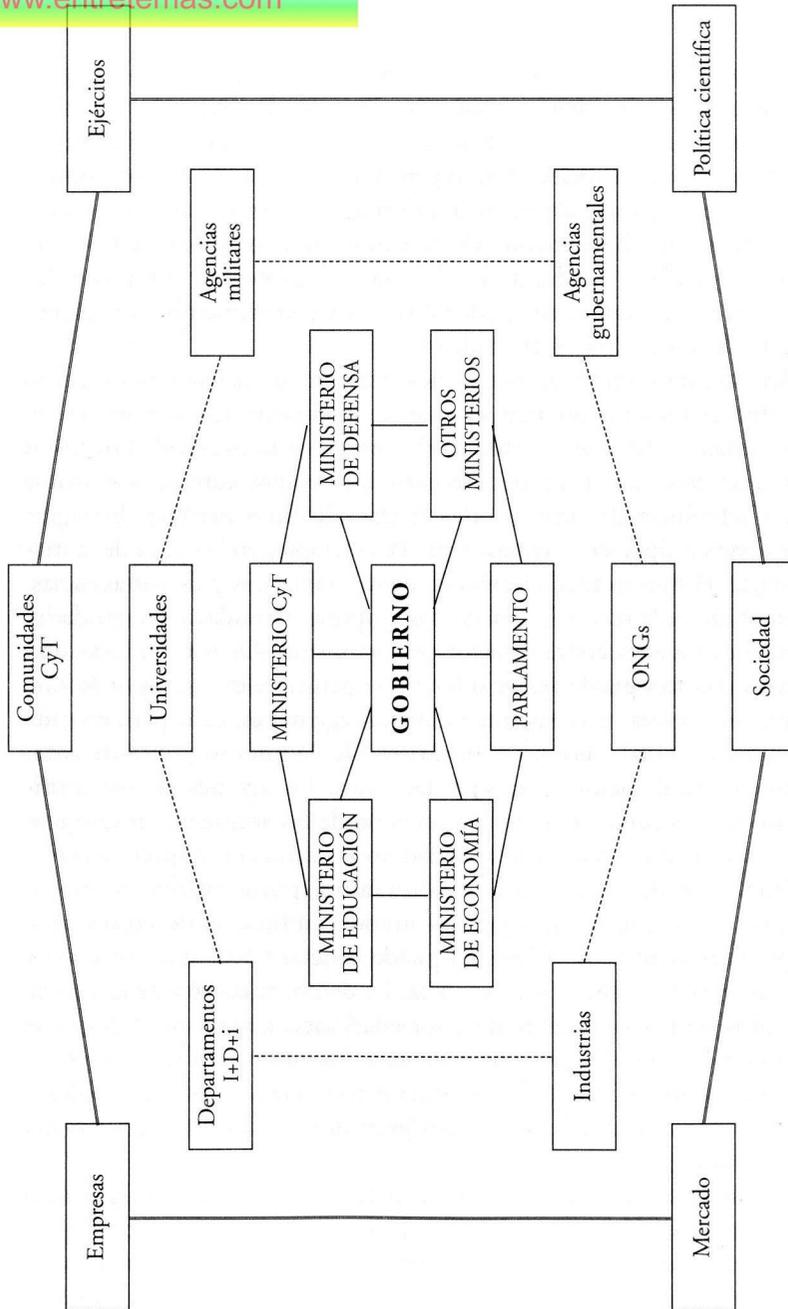
Hasta aquí las primeras mejoras formales que podrían hacerse al modelo lineal. En todas ellas se observa una componente constante: la financiación. La investigación básica requiere financiación, sea ésta pública o privada. Sin recursos económicos para potenciarla, la maquinaria no se pone en marcha y la ciencia no genera los beneficios sociales (militares, empresariales, etc.) que Bush da por supuestos. Por tanto, la estructura de financiación de la investigación científica es determinante a la hora de analizar un sistema SCyT. No son lo mismo una tecnociencia financiada exclusivamente por el Estado, como en la URSS, una tecnociencia financiada al 50% por el Estado y las empresas, como en EEUU en los años 80, o una tecnociencia financiada al 50% por las empresas y al 50% por la Bolsa. Esta última estructura de financiación es la más típica de la tecnociencia norteamericana a finales de siglo, mientras que la macrociencia se distingue por una financiación básicamente estatal.

Dejando de lado presupuestos y críticas ideológicas, hay otro defecto formal importante en el modelo Bush: la propia linealidad o encadenamiento de las diversas componentes. El modelo mejora si lo consideramos como arborescente e introducimos nuevas componentes, pero aun así su linealidad no se corresponde con la práctica tecnocientífica real.

Ocurre más bien que muchas de las componentes que hemos distinguido y secuenciado inciden las unas sobre las otras. Por ejemplo: los usuarios son una fuente continua de innovación, sobre todo en el ámbito de la tecnología; de la sociedad emergen nuevas líneas de acción política científica, por ejemplo de las agrupaciones ecologistas y las ONGs. Aunque se representa linealmente, el modelo es más complejo. Habría que optar por modelos en donde las diversas componentes se influyen las unas a las otras, aunque en grados diversos y con asimetrías. Un esquema posible se muestra en el cuadro 2.

Distinguímos varios sectores relevantes en un sistema SCyT como el norteamericano: el político, el financiero, el científico-tecnológico, el empresarial, el jurídico, el militar, el mercado y la sociedad. Los flujos e interacciones pueden producirse entre todos ellos, aunque la mayor o menor relevancia de unas y otras flechas de flujo permite distinguir entre diversos tipos de sistemas SCyT. Por ejemplo, en la época de la macrociencia el flujo principal procede de los gobiernos y de sus agencias. En cambio, en la tecnociencia son las empresas privadas y las entidades financieras quienes cobran mayor protagonismo. Dentro de cada uno de estos sectores puede haber diferentes agentes relevantes, por lo que habría que analizar la estructura de dichos agentes en cada país, en cada disciplina y en cada momento histórico. Desde nuestro punto de vista, es fundamental incluir a la sociedad entre los agentes tecnocientíficos, no sólo porque a la postre la mayoría de las acciones van dirigidas a ella, sino también porque la sociedad no es pasiva con respecto a la tecnociencia. En una democracia representativa, puede preferir a unos u otros políticos (gobernantes, parlamentarios) en función de sus respectivas políticas científicas. Asimismo puede generar ONGs que critiquen e incidan en parte sobre la tecnociencia. La democratización de la ciencia supondría un mayor flujo desde la sociedad hacia las instancias donde se toman las decisiones sobre la tecnociencia. Por último, en la sociedad están los usuarios finales de los productos tecnocientíficos, cuyas valoraciones e innovaciones de uso tienen gran importancia para un sistema SCyT avanzado.

Este modelo no se corresponde con las concepciones de Bush sino que intenta corregir algunos de sus defectos. Aquí nos limitaremos a proponerlo, sin desarrollarlo y sin mostrar sus potencialidades para representar esquemáticamente algunos de los grandes cambios del sistema



CUADRO 2. Sistema de Ciencia y Tecnología (SCyT)

tecnocientífico tras la crisis del modelo Bush a partir de los años 70 y el avance de las empresas tecnocientíficas, en base a un *nuevo contrato social de la ciencia*, como vimos en el capítulo 2. Un análisis más afinado nos permitiría distinguir sectores adicionales. En el capítulo 5 propondremos algunas mejoras, aunque sólo en el ámbito de los valores. Presuponemos que los diversos agentes tecnocientíficos tienen sus propios sistemas de valores, por lo que las interacciones entre ellos conllevan un cierto mestizaje axiológico. El sistema de valores de la tecnociencia está compuesto por varios subsistemas de valores no jerarquizados entre sí, al menos en principio. *De facto*, siempre hay algún subsistema de valores (militares, empresariales, políticos) que prevalece sobre los demás.

En todo caso, negamos que la investigación básica sea el motor que arrastra a los demás nodos del sistema. En algunos casos puede suceder así, pero en general no. Hay ocasiones, como la segunda guerra mundial, en las que el motor principal del sistema son las instituciones militares. En otras ocasiones son las empresas, o los políticos, o incluso los juristas. Una reforma legal como la liberalización de un sistema de patentes puede repercutir en todo el sistema SCyT. El cuadro 2 es puramente formal y debe ser implementado en cada caso concreto, ponderando la mayor o menor influencia de cada una de sus componentes. Lo interesante es analizar los cambios de estructura experimentados por la tecnociencia a lo largo del siglo XX, así como proponer nuevos cambios estructurales en la tecnociencia actual. No llegaremos a tanto en esta obra, pero al menos daremos algunos pasos en esa dirección.

6. PLURALIDAD DE AGENTES TECNOCIENTÍFICOS

La indagación del nuevo marco para la actividad tecnocientífica nos ha mostrado muchas cosas, entre ellas la existencia de nuevos agentes y nuevos tipos de acciones en la tecnociencia. Las acciones científicas clásicas se reducían a observar, medir, experimentar, demostrar, formular conjeturas, contrastarlas empíricamente y teorizar, así como luego a publicar, difundir, aplicar, enseñar, etc. Conforme a la distinción entre el contexto de descubrimiento y el contexto de justificación, la filosofía de la ciencia del siglo XX se interesó exclusivamente en los resultados de dichas acciones, es decir en las observaciones, las mediciones, los experimentos,

las demostraciones, las conjeturas, las contrastaciones, las teorías, las publicaciones, las aplicaciones, etc. La filosofía de la ciencia sólo debía ocuparse del conocimiento científico, y ni siquiera de su elaboración, difusión y aprendizaje, sino únicamente de su formulación. Fue una filosofía positivista de la ciencia en el sentido fuerte de la palabra, porque sólo le interesaban los resultados, no los procesos que conducían a dichos resultados y rechazaban otros.

Esos presupuestos filosóficos son inadecuados para la tecnociencia. La revolución tecnocientífica se caracteriza por un cambio en la estructura de la actividad científica. También transforma el conocimiento, pero estas modificaciones no son tan significativas como las transformaciones de la práctica científica. Conforme hemos ido comprobando a lo largo de esta obra, las tecnociencias incorporan nuevos agentes y nuevas acciones. Retomando la pregunta de Latour, ¿quién hace ciencia?, diremos que la tecnociencia no sólo la hacen los científicos y los ingenieros, sino también, los gobiernos, las empresas, los expertos en política científica y en gestión de la ciencia y la tecnología, los militares, los juristas que definen los marcos legales para la actividad tecnocientífica, los ecologistas que contestan algunas acciones y resultados de la tecnociencia, los financieros y mecenas que apoyan las investigaciones, etc. La empresa tecnocientífica es una actividad que abarca un espectro de profesiones mucho más amplio que el de las comunidades de la ciencia moderna. Incluso los ciudadanos y los usuarios, aunque no hacen ciencia directamente, pueden incidir en la actividad tecnocientífica. Algunos países miden sistemáticamente la opinión y las actitudes de la ciudadanía con respecto a la tecnociencia. El rechazo o las dudas de la sociedad respecto a los expertos en ciencia y tecnología, antes incuestionados, constituye uno de los problemas más importantes de la tecnociencia. Esta tiende a transformar las sociedades, como hemos subrayado una y otra vez, pero las sociedades han dejado de ser pasivas y no se dejan transformar fácilmente, mucho menos dominar por la tecnociencia. El poder social de los artefactos tecnocientíficos, por ejemplo los militares, es enorme, pero suscita cada vez más críticas y mayor oposición.

Filosóficamente hablando, es preciso afirmar la *pluralidad de agentes tecnocientíficos*, o dicho en términos más clásicos, la pluralidad del sujeto de la tecnociencia. Sin embargo, no todos esos agentes son igual de relevantes. Por ello distinguimos entre agentes integrados en el núcleo de la

tecnociencia y agentes periféricos u orbitales. En el caso de la macrociencia militar, el núcleo incluye como mínimo cinco tipos de agentes: militares, políticos, científicos, ingenieros e industriales. La macrociencia civil prescinde de los primeros, pero incluye gestores e incluso expertos en leyes. En el caso de las empresas tecnocientíficas, los financieros, los empresarios, los gestores, los juristas, los científicos y los ingenieros forman parte del núcleo de la tecnociencia, aunque también hay que contar con apoyos políticos e institucionales, llegado el caso, y con una buena recepción social. Esta última se puede manifestar en el mercado (consumidores), pero también como opinión pública. De ahí la enorme importancia de la percepción social de la tecnociencia. En la periferia de la tecnociencia están los grupos ecologistas, los medios de comunicación, las fundaciones y las empresas de intermediación. En disciplinas concretas hay que contar también con los factores culturales, morales y religiosos, puesto que tienen gran incidencia en la opinión pública, y pueden llegar a tenerla en el mercado. El equilibrio interno del agente plural de la tecnociencia es difícil de lograr, como muestra la existencia de continuos conflictos, tanto en el núcleo que dirige las acciones tecnocientíficas como en la periferia. Lo que hay que descartar es la existencia de un sujeto de la tecnociencia que sea autónomo y coherente, al modo del sujeto cartesiano o kantiano. La complejidad estructural de la actividad tecnocientífica se refleja de inmediato como complejidad del agente tecnocientífico. De ahí la importancia de los equipos (de investigación, de gestión, de apoyo financiero, etc.). Cuando Bush indicaba a Roosevelt que los científicos tenían que formar equipo con otros agentes sociales, prefiguraba una de las principales características estructurales de la tecnociencia.

7. LAS ACCIONES TECNOCIENTÍFICAS

Una filosofía de la actividad tecnocientífica puede avanzar muy poco si no dispone de una teoría de la acción, y además la utiliza. En el apartado 1.7 comentamos la definición de tecnología propuesta por Quintanilla y añadimos algunas mejoras. Se trata ahora de aplicar esas ideas a las acciones tecnocientíficas, precisando previamente la noción de acción, que en dicha definición no era analizada.

En dicho apartado caracterizamos la tecnología como un sistema de acciones regladas, industriales y vinculadas a la ciencia, llevadas a cabo por agentes, con ayuda de instrumentos, e intencionalmente orientadas a la transformación de otros sistemas con el fin de conseguir resultados valiosos evitando consecuencias y riesgos desfavorables. Esa definición sigue siendo válida para la tecnociencia, pero hay que completarla con los diversos rasgos distintivos que hemos establecido en los apartados 2.1 y 2.2. Por tanto, el término «industriales» ha de ser eliminado, porque vimos que la tecnociencia se vincula más a la sociedad informacional que a la sociedad industrial, a diferencia de la macrociencia. Ello no quiere decir que no tenga componentes industriales, sino que predominan los informacionales. Por tanto, reemplazaremos «industriales» por «informacionales».

En segundo lugar, la tecnociencia no sólo está vinculada a la ciencia, sino también a la ingeniería, la política, la empresa y, en su caso, a organizaciones militares. Ello implica una nueva modificación en la definición 3, que conviene dejar abierta, sin cerrar el número de agentes involucrados en el núcleo de la actividad tecnocientífica, porque comprobamos que dicho núcleo puede incluir más de cinco agentes básicos, según el tipo de empresa tecnocientífica que estemos estudiando.

En tercer lugar, no nos interesan únicamente las realizaciones o aplicaciones técnicas o tecnológicas, sino entidades más compleja, los sistemas de ciencia y tecnología (SCyT). Conforme a la teoría de sistemas, los SCyT integran una gran diversidad de subsistemas, por ejemplo los diversos agentes que hemos distinguido en el apartado anterior. Una agencia gubernamental, una empresa de I+D, una universidad, un laboratorio, un acelerador de partículas, un equipamiento informático, un consejo asesor o de evaluación, etc., son subsistemas del sistema SCyT. Cada una de las componentes del sistema SCyT es a su vez un sistema, que puede ser político, empresarial, militar, científico, tecnológico, etc. Por otra parte, también los objetos investigados por la tecnociencia son sistemas, sean matemáticos, cosmológicos, físicos, químicos, médicos, biológicos, geológicos, económicos, sociales, tecnológicos o de otro tipo. Nuestra ontología de base es sistémica, puesto que aceptamos que el marco en el que se desarrollan las actividades tecnocientíficas, el sistema SCyT, incide sobre los demás subsistemas que forman parte de él, dando sentido a las acciones tecnocientíficas concretas. Por tanto, no nos interesan únicamente las realizaciones o aplicaciones tecnológicas, sino los sistemas

tecnológicos, sean pequeños o grandes. Reemplazaremos el término a definir por la noción 'sistema tecnológico', entendiendo por tal el sistema SCyT y todos sus subsistemas, que son muchos y muy diversos.

El resto de la definición 3 sigue siendo válido, por lo que podemos proponer como caracterización provisional de la tecnociencia la siguiente:

Definición 4: «Un sistema tecnocientífico es un sistema de acciones regladas, informacionales y vinculadas a la ciencia, la ingeniería, la política, la empresa, los ejércitos, etc. Dichas acciones son llevadas a cabo por agentes, con ayuda de instrumentos y están intencionalmente orientadas a la transformación de otros sistemas con el fin de conseguir resultados valiosos evitando consecuencias y riesgos desfavorables».

Volvemos a recalcar que no se trata de una definición en el sentido lógico del término, sino simplemente de una caracterización inicial, que nos permite clarificar mínimamente el concepto de «tecnociencia», por oposición al de «tecnología» y «técnica». En cuanto a las diferencias entre la ciencia y la tecnociencia, los apartados 2.1 y 2.2 fueron suficientemente explícitos.

Acertada o no, la definición 4 es un instrumento analítico que puede ser útil para desarrollar una filosofía de la tecnociencia, como era nuestro propósito inicial. Insistimos desde el principio en que dicha filosofía está orientada a la actividad científica, más que al conocimiento. Por tanto, nos queda por clarificar mínimamente el concepto de *acción* que utilizamos, siempre desde una perspectiva filosófica.

Al respecto, en un libro previo hemos propuesto unos rudimentos de teoría de la acción³¹, que, con muy escasas modificaciones, seguiremos asumiendo y usando al hablar de acciones tecnocientíficas. Con ello quedan claras ambas nociones, la de «acción» y la de «tecnociencia». Se trata de mostrar ahora que esta concepción de las acciones tecnocientíficas es lo suficientemente amplia como para recoger la gran diversidad de aspectos de la práctica tecnocientífica.

Esa teoría de la acción distingue diversas componentes, una de las cuales son los resultados de las acciones, pero no la única, y en ocasiones no la más importante. Hay al menos doce componentes de las acciones

31. J. Echeverría, 2002, *o.c.*, cap. 2.

tecnocientíficas: los agentes, las acciones, lo que se hace, las entidades sobre las que se actúa, los instrumentos, el contexto o situación, las condiciones iniciales y de contorno, las intenciones, los objetivos, los resultados, las consecuencias de la acción y los riesgos que de ella podrían derivarse. Por tanto, se representan las acciones mediante n -uplas de doce o más componentes, $A = \{A_{ij}\}$, algunas de las cuales serán más relevantes que otras a la hora de analizar una acción tecnocientífica A . Las acciones se producen a lo largo del tiempo, $A(t) = \{A_{ij}(t)\}$, lo cual no implica que las concibamos como procesos lineales o secuencias de acontecimientos. Las componentes pueden cambiar y se realimentan las unas a las otras. Por ello hablamos de sistemas de acciones, no de acciones aisladas. Por ejemplo: los resultados iniciales de una investigación pueden exigir la incorporación de nuevos agentes (como en el proyecto Manhattan), de instrumentos (como en el proyecto ENIAC y el proyecto Genoma), de condiciones iniciales diferentes (una nueva legislación para las patentes, la desgravación de las actividades de I+D, nueva financiación...) e incluso de objetivos (el telescopio espacial se convirtió en un instrumento para observar los planetas, no sólo las galaxias). Las acciones tecnocientíficas se desarrollan en el tiempo y sus componentes van cambiando en ese curso: un determinado resultado, por ejemplo el descubrimiento de la fisión espontánea del plutonio en el proyecto Manhattan, puede modificar radicalmente el rumbo de la investigación. El proyecto sigue siendo el mismo, pero se produce una modificación en los agentes, los instrumentos, las condiciones iniciales y de contorno, los objetivos, etc.

Por otra parte, no sólo hay que ocuparse de las acciones científicas clásicas (observar, medir, experimentar, publicar, presentar un proyecto, publicar, patentar, etc.), sino también de las pre-acciones, es decir, del diseño de los experimentos, la presentación de proyectos, su realización, sus resultados, etc. No entraremos aquí en estas cuestiones, por haber sido ampliamente expuestas en el libro *Ciencia y Valores*. Conjuntamente con la definición 4, usaremos esa teoría como instrumento para nuestros análisis de la tecnociencia. Siendo muy general, puede aplicarse a las acciones experimentales en los laboratorios, a las acciones comunicativas en las comunidades científicas (congresos, revistas, redes telemáticas), a las acciones de política científico-tecnológica, a la implementación industrial de las innovaciones tecnocientíficas, a la difusión del conocimiento en la sociedad, etc. La utilidad de estos dos instrumentos conceptuales

con los que nos hemos dotado es digna de consideración: dado un sistema o acción tecnocientífica de envergadura, por ejemplo un macroproyecto científico, podemos analizar uno por uno los diversos tipos de acciones necesarias para su desarrollo, así como las componentes de sus acciones. En lugar de ocuparnos únicamente de lo que se hace en los laboratorios o del conocimiento que surge de ellos (hechos, mediciones, experimentos, hipótesis, teorías), también habremos de estudiar lo que ocurre en otros escenarios de la tecnociencia: despachos de política científica, comités del Congreso, comisiones de evaluación de los proyectos, empresas interesadas en el desarrollo de los mismos, etc. Contrariamente a lo que suele pensarse, estos nuevos escenarios forman parte del interior de la tecnociencia y es preciso estudiarlos con herramientas filosóficas, históricas, sociológicas, económicas, etc. La tecnociencia es un sistema mucho más amplio y complejo que la ciencia moderna. Los estudios de ciencia y tecnología han de ser capaces de analizarla en toda su envergadura y complejidad. Pensamos que los dos instrumentos conceptuales que hemos propuesto valen para ello.

Hay un aspecto clave en la teoría de la acción que utilizamos, a saber: todas sus componentes son evaluadas una y otra vez, en función de sistemas de valores diferenciados según las componentes. La enorme complejidad de la noción de «acción tecnocientífica» no impide la existencia de una vía de análisis común para todas las componentes: la axiología. Aunque el concepto de acción tecnocientífica pueda parecer intratable por la gran diversidad de notas y rasgos distintivos de la tecnociencia y la acción, en la obra anteriormente mencionada introdujimos dos instrumentos de análisis axiológico, las matrices y las cotas de evaluación, ambos estrictamente formales. Los agentes, las acciones, los instrumentos, las situaciones, los objetivos, etc., son muy diferentes según las acciones tecnocientíficas, pero todas ellas pueden ser analizadas mediante la representación formal $A(t) = \{A_{ij}(t)\}$ y ulteriormente valoradas mediante la expresión $c_{ijk}(t) < v_{ijk}(A_{ij}(t)) < C_{ijk}(t)$. En el capítulo 5 explicaremos con mayor detalle la utilidad de las matrices y cotas de evaluación para la filosofía de la tecnociencia. Por el momento nos limitamos a señalar que, dadas dos acciones tecnocientíficas A y B , por ejemplo dos proyectos de investigación, así como sus respectivas componentes A_i y B_i , las matrices de evaluación permiten formalizar los procesos de selección de una u otra. Para ello, se valoran los agentes proponentes (conocimientos, curri-

cula, capacidades técnicas), las acciones a realizar (plan de trabajo, estrategia, fases), los instrumentos requeridos (financiación, equipamientos, recurso humanos adicionales), las condiciones iniciales (logros previos de dicho equipo o empresa, estado de la cuestión), las condiciones de contorno (instituciones colaboradoras, cofinanciación), la metodología a seguir, los objetivos, los resultados esperables y, en su caso, los riesgos que pueden derivarse de la investigación. Los proyectos *A* y *B* son comparados componente por componente, puntuándose en su caso la valoración asignada a cada componentes. Si los valores nucleares no son satisfechos por encima de su cota mínima (o los disvalores por debajo de la cota máxima), el proyecto es rechazado. Por sucesivas iteraciones, y recurriendo a diversos sistemas de valores, el proceso de evaluación culmina y puede ser adecuadamente representado mediante una sucesión de matrices y cotas de evaluación. Por tanto, pueden representarse formalmente los cambios que puede haber a lo largo de un proceso de selección o en la toma de decisiones a favor de un macroproyecto en relación a otro alternativo. Esto vale en principio para cualquier tipo de acciones o propuestas tecnocientíficas, por lo que la axiología proporciona un instrumento de análisis de gran interés. Si, en lugar de tener que seleccionar entre dos o más proyectos de investigación, se trata de nombrar a una persona para dirigir un macroproyecto, o para presidir una comisión, o para gestionar una empresa tecnocientífica, el proceso de evaluación es muy similar al anteriormente descrito, aunque los criterios de evaluación y los objetos valorados sean heterogéneos. La gran ventaja de distinguir componentes formales en una noción, sea ésta la de «acción» o la de «tecnociencia», consiste en que luego podemos comparar entre sí entidades heterogéneas entre sí, como los diversos procesos de evaluación que se producen en la actividad tecnocientífica. En el capítulo 5 retomaremos estas cuestiones.

Para terminar este apartado, retomaremos algunas de las consideraciones hechas en el capítulo anterior. Vimos que las revoluciones científicas y las tecnocientíficas se diferencian por los agentes que las llevan a cabo. Sociológicamente hablando, Kuhn identificó los paradigmas con las comunidades científicas que los propugnan, desarrollan e institucionalizan. En la actividad tecnocientífica también intervienen las comunidades científicas, pero no sólo ellas, como vimos en el capítulo 2. Algunas revoluciones tecnocientíficas pueden ser impulsadas por em-

presas, otras por agencias militares o por grupos ecologistas, otras por políticos... Ni los científicos ni los ingenieros tienen el monopolio de promover los cambios tecnocientíficos, aunque sean necesarios para llevarlos a cabo. Bien entendido que esa *pluralidad de comunidades tecnocientíficas* está formada por individuos, que son quienes en último término realizan las acciones tecnocientíficas, normalmente en grupo. A diferencia de los grupos de científicos de los que hablaba Kuhn, las *empresas tecnocientíficas* siempre son transdisciplinares, por lo que han de ser capaces de integrarse y armonizarse, aunque sea parcialmente. En general, el sujeto de la tecnociencia es un agente plural, formado por representantes de las diversas comunidades que participan activamente en el desarrollo de la acción tecnocientífica $A = \{A_i\}$. Obsérvese que dichos agentes pueden ser relevados, es decir, son reemplazables por otros a lo largo del tiempo. La primera componente de las acciones tecnocientíficas, por tanto, es variable a lo largo del tiempo, como lo serán los demás. No hay un sujeto atemporal de la tecnociencia, como tampoco de la ciencia, por otra parte. Por supuesto, *pace Popper*, no hay una tecnociencia sin sujeto, por el carácter eminentemente histórico de la misma. La diferencia estriba en que el sujeto de la tecnociencia es estructuralmente plural. No hay un Newton ni un Mendel en el caso de la tecnociencia.

Por tener un sujeto plural no cabe inferir que la tecnociencia sea una cuestión subjetiva. A lo largo de la actividad tecnocientífica hay que distinguir entre los momentos de subjetividad, que también los hay, los momentos de intersubjetividad y lo que podríamos denominar momentos de objetividad: cuando un artefacto funciona o no, cuando una bomba atómica estalla o se estropea un reactor nuclear, cuando un satélite llega o no al objetivo previsto, etc. Los efectos de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki, por ejemplo, fueron objetivos, independientemente de que también fueran intersubjetivos y subjetivos. Obsérvese que la objetividad se predica en primer lugar de las acciones (si fueron llevadas a cabo o no) y sólo en segundo lugar de sus resultados, entre los cuales están los hechos. En una filosofía de la práctica científica el problema de la objetividad de la tecnociencia se desplaza desde los hechos a las acciones.

8. TECNOCIENCIA Y CULTURAS

Desde que Snow habló de las dos culturas (1962), la humanística y la científica, la ciencia ha cambiado mucho. Uno de los temas más importantes a afrontar son las relaciones entre la tecnociencia, la sociedad y la cultura. No pretendemos abordarlo aquí, pero sí conviene hacer unas breves consideraciones, con el fin de subrayar algunas de las grandes transformaciones que se han producido al respecto a finales de siglo XX.

En primer lugar, la tecnociencia afecta a varias sociedades, no a una sola. Cuando los sociólogos subsumen a la ciencia en la sociedad olvidan este problema, que no es trivial, ni mucho menos. La tecnociencia actual se expande por todo el planeta, debido a que el contexto de aplicación de la ciencia y la tecnología ha superado las fronteras nacionales. Las empresas tecnocientíficas se organizan como empresas-red y desarrollan sus estrategias en varios países. Tal es el caso de las empresas farmacéuticas y biotecnológicas, así como las empresas de tecnologías de la información y la comunicación. Otro tanto ocurre con las industrias clásicas (construcción, metal, transportes...), que actúan en un mercado cada vez más amplio. La emergencia de la tecnociencia coincide en el tiempo con la ampliación del mercado, el cual era una de las componentes estructurales de los sistemas SCyT. Por tanto, no hay subsunción de la tecnociencia en una sociedad, ni siquiera en la norteamericana, sino impactos de la tecnociencia sobre varias sociedades, que deben ser analizados por separado. Por otra parte, la propia tecnociencia muestra características diversas en función de sus lugares de procedencia, aunque luego haya de rediseñarse para cada mercado específico. La nueva cultura tecnocientífica es internacional por su estructura (empresas tecnocientíficas en red) y no sólo choca con las culturas científica y humanística tradicionales, sino que transforma las culturas locales, con los consiguientes conflictos. Las relaciones entre las tecnociencias y las culturas han de ser analizadas contextualmente, caso por caso, lo cual no será nada fácil de hacer. Reducir el problema al debate entre las dos culturas, la humanística y la científico-ingeneril, y tratar de solucionarlo con una tercera cultura que sintetizara a las otras dos, supone una enorme simplificación, en la que se olvida la existencia de una pluralidad de tecnociencias y culturas.

Al decir estas cosas no estamos pensando únicamente en la multiculturalidad, entendida ésta en función de los países y regiones del planeta,

sino en las diferencias radicales que existen entre las culturas militar, empresarial, jurídica, científica o tecnológica. Todos estos sectores sociales están imbricados en el núcleo de la tecnociencia y aportan tradiciones culturales muy distintas. El choque entre culturas se produce en el seno mismo de la tecnociencia, no sólo cuando ésta transforma las sociedades. Por ello nos interesan ante todo los conflictos internos en las empresas tecnocientíficas, así como las contiendas entre empresas competidoras, en la medida en que éstas encarnen modelos culturales y organizativos diferentes. La tecnociencia no sólo es obra de científicos e ingenieros, sino también de otros muchos agentes que actúan conforme a culturas y valores muy distintos. La componente social de la tecnociencia es indudable, pero esto es muy poco decir. Lo importante es precisar los distintos agentes sociales relevantes para la actividad tecnocientífica y analizar los problemas que tiene ese agente múltiple (o plural) al desarrollar su actividad. Quien subsume a la ciencia en la sociedad es como quien subsume a las empresas multinacionales en las sociedades. Así como la macrociencia surgió en un ámbito estrictamente nacional, las empresas tecnocientíficas diseñan sus estrategias pensando en mercados globales. Lo importante es analizar sus prácticas respectivas, así como la confluencia de dichas prácticas en diversos escenarios, algunos de los cuales son tradicionales (los laboratorios, las publicaciones, las instituciones científico-tecnológicas, los registros de patentes, etc.), otros nuevos. Como ya hemos apuntado anteriormente, uno de esos nuevos escenarios de la tecnociencia son los gabinetes de política científico-tecnológica, sean gubernamentales o empresariales. Otro es el mercado, que tiende a ser global, sobre todo en el caso de las innovaciones tecnocientíficas. Las prácticas, los conflictos, las argumentaciones y, en su caso, los consensos, son muy distintos en unos y otros escenarios.

Planteado así el problema, se abre un amplio campo de investigación. Por nuestra parte, nos ocuparemos únicamente de los conflictos de valores, entendiendo que los valores son una componente esencial de las culturas. En particular, nos interesaremos por aquellos conflictos de valores que muestran una mayor universalidad, por ser conflictos internos a la propia tecnociencia. Por ejemplo, la distinción entre tecnociencia pública y privada es una diferencia estructural, que conforma de modo muy diferente la actividad tecnocientífica. Los agentes, la organización de las acciones, los intereses subyacentes, los objetivos, los criterios de evalua-

ción y buena parte de las prácticas difieren considerablemente en uno u otro caso. De poco sirve que, desde el punto de vista de los resultados de la actividad investigadora o innovadora, los resultados coincidan, o sean equiparables entre sí. La carrera entre un equipo público y otro privado para establecer el mapa del genoma humano es un buen ejemplo al respecto. Las prácticas son distintas, y sobre todo son diferentes los valores que guían esas prácticas. Teniendo en cuenta que el paradigma tecnocientífico dominante cede a las empresas privadas buena parte de los eslabones de la cadena que hemos mencionado en el apartado anterior (desarrollo tecnológico, innovación, producción, comercialización, etc.), las agencias privadas (empresas, asesores, etc.) predominan en gran medida sobre las públicas en la tecnociencia, pese a que éstas últimas asuman la dirección estratégica y buena parte de la financiación. La cultura empresarial tiene un peso cada vez mayor en la tecnociencia.

Para analizar a fondo las relaciones entre las tecnociencias y las culturas se requerirían investigaciones mucho más minuciosas. Las sugerencias que hemos apuntado aquí no son más que un primer esbozo de ese estudio. La comparación entre las políticas de empresas tecnocientíficas concretas, unas públicas y otras privadas, sería de gran interés para los estudios de la tecnociencia. Dejamos abierta esta vía de investigación, tras haber bosquejado algunas de sus líneas principales.

5.

Axiología de la tecnociencia

I. TECNOCIENCIA Y VALORES

La práctica tecnocientífica puede ser estudiada desde muchas perspectivas: una de ellas es la axiológica. Las evaluaciones de las acciones científico-tecnológicas se producen continuamente, incluyendo las de sus resultados. Si mantenemos la distinción de cuatro contextos en la actividad científico-tecnológica, el de educación y difusión, el de investigación e innovación, el de aplicación y el de evaluación, la axiología es nuclear en este último contexto. En este capítulo nos centraremos en el contexto de evaluación de la tecnociencia y sus relaciones con los contextos de investigación y aplicación, dado que en otras publicaciones ya nos hemos ocupado de los valores en el contexto de educación¹.

No pretendemos valorar la tecnociencia en su conjunto. Como dice León Olivé, «no es posible evaluar moralmente la ciencia y la tecnología en general o en abstracto»². Sin embargo, «los sistemas técnicos concretos sí están sujetos a evaluaciones morales y no son éticamente neutros»³. Es importante tener en cuenta esto al hablar de axiología de la tecnociencia. No tiene sentido preguntarse, salvo a título subjetivo, si la tecnociencia en general es buena o mala, digna o indigna, justa o injusta, solidaria o insolidaria. En cambio, sí podemos valorar los sistemas tecnocientíficos concretos, entendidos éstos como sistemas de acciones humanas y no como conjuntos de artefactos, como vimos en el apartado 1.7. Nos centraremos en la valoración de las acciones tecnocientíficas, incluidos sus resultados, sus consecuencias y sus riesgos, siguiendo la línea abierta en el libro *Ciencia y Valores*, cuyas hipótesis básicas siguen desarrollándose en la presente obra⁴. En algunos casos dichas valoraciones pueden hacer-

1. J. Echeverría, 2002, *o.c.*, caps. 3 y 4.

2. L. Olivé, *El bien, el mal y la razón*, México, Paidós, 2000, p. 91.

3. *Ibid.*, p. 92.

4. Echeverría, 2002, cap. 2.

se desde una perspectiva ética. Algunas acciones tecnocientíficas suscitan importantes problemas morales, tanto en las comunidades científico-tecnológicas como en la sociedad en general. Pero no todas. La axiología es más amplia que la moral. Aparte de las valoraciones éticas, la actividad tecnocientífica puede ser juzgada desde otros muchos puntos de vista. Los valores epistémicos, técnicos, económicos, políticos, jurídicos, ecológicos, sociales, etc., también son relevantes para la axiología de la tecnociencia. Por ello dedicaremos el apartado 5.2 a distinguir los diversos tipos de valores relevantes para la tecnociencia.

Por otra parte, las *acciones axiológicas* son muy distintas según los diversos contextos de la actividad tecnocientífica, así como según los agentes, lo evaluado, etc. Veámoslo brevemente, aplicando al acto de evaluar la teoría de la acción que hemos propuesto anteriormente.

En el contexto de educación y difusión hay diferentes agentes evaluadores. Por una parte la comunidad científico-tecnológica, representada por los profesores de los distintos niveles educativos y los directores de centros. Un profesor no sólo enseña, también evalúa. Son dos acciones muy distintas. A su vez, la actividad docente es evaluada, al igual que sus resultados finales e intermedios. Además, se evalúan los libros de texto y los instrumentos docentes, así como los centros escolares, las universidades o el sistema educativo en su conjunto. Conforme consideramos más acciones axiológicas en el contexto de educación, constatamos que los científicos y los ingenieros no son los únicos que llevan a cabo evaluaciones. Aunque sea en base a criterios más subjetivos y mediante procedimientos no normalizados, los padres también evalúan, así como los propios estudiantes. La sociedad en general, y más concretamente los Estados, suelen instituir sus propios sistemas de evaluación: reválidas, pruebas de selectividad y de acceso a las universidades, agencias de calidad, análisis de costes, etc. El contexto de evaluación interactúa por doquier con el contexto educativo mediante agentes, procesos y criterios de valoración muy distintos. La dicotomía bueno/malo no es más que uno de los criterios a tener en cuenta. También se puede evaluar la competencia, la eficiencia, el coste, la utilidad, la integración social por vía educativa, los avances en el nivel de alfabetización de una sociedad, etc. Por lo que respecta a la difusión de la ciencia y tecnología, las acciones principales las llevan a cabo otros agentes y con otros medios: revistas de divulgación científica, programas de radio y televisión sobre ciencia y tecnología, li-

bros, páginas *Web* en Internet, museos de ciencia y tecnología, etc. Cuando un visitante de un museo de ciencia y tecnología rellena una encuesta en la que se le preguntan sus impresiones tras la visita, está haciendo una evaluación de usuario. Los expertos en documentación electrónica han desarrollado sistemas muy sofisticados para valorar la calidad de las páginas *Web*. En general, las diversas acciones de difusión tecnocientífica siempre son valoradas, y no sólo en el mercado, en función de las audiencias o índices de venta, sino también mediante otros instrumentos: encuestas sobre la percepción y las actitudes de la sociedad ante la ciencia y la tecnología, índices de impacto e influencia, indicadores de calidad, análisis económicos de coste/beneficio, etc. En el contexto de educación y difusión se producen multitud de evaluaciones. Todas ellas tienen interés axiológico y, desde luego, no todas son de índole moral, ni mucho menos. Hay evaluaciones subjetivas (por ejemplo las de un estudiante, las de un padre o las de un profesor), intersubjetivas (nota media en un curso, expediente académico...) y objetivas, entendiéndose por éstas últimas las que se llevan a cabo mediante protocolos normalizados de evaluación, de modo que los resultados no dependan del agente evaluador, al menos en principio. Algunos de los resultados de las evaluaciones se hacen públicos, otros permanecen en ámbitos privados, o incluso íntimos. En resumen, dada la gran complejidad y variedad de las acciones axiológicas en el contexto de difusión, es imprescindible analizar y distinguir los tipos de acciones axiológicas, así como las clases de valores, de agentes, de situaciones, de resultados, de instrumentos docentes o divulgativos, etc. Así se aplica la teoría de la acción expuesta en el capítulo anterior al contexto de educación y difusión. Nuestra axiología de la tecnociencia será analítica y empírica, como ya hemos propugnado en el libro *Ciencia y Valores*.

En el contexto de investigación ocurre algo similar, pero corregido y aumentado. La ciencia moderna creó un sistema específico de evaluación de las publicaciones científicas, el sistema de evaluación por pares (*peer system review*), que constituye una de las características más singulares de la ciencia desde el punto de vista de la evaluación. Dicho sistema se ha ido expandiendo a las diversas disciplinas y por distintos países, lo cual no equivale a decir que impere por doquier. De hecho, uno de los índices de calidad de una publicación científica depende de la existencia de un sistema de evaluación anónima y por pares. Posteriormente, ese modelo

evaluatorio se implantó en otros ámbitos del contexto de investigación e innovación. Uno de los rasgos distintivos de la tecnociencia pública consiste en la evaluación comparativa de los proyectos de investigación, solicitudes de infraestructura, organización de congresos, nombramientos, atribución de puestos de trabajo, innovaciones tecnológicas, etc. Para ello se crearon diversas Agencias y Comités de Evaluación de la Ciencia y la Tecnología. El contexto de evaluación de la ciencia posee sus propias instituciones (tribunales de tesis doctorales, comisiones para concursos y oposiciones universitarias, comisiones para asignación de fondos públicos, comisiones de contratación, etc.), las cuales toman decisiones sobre la excelencia de los investigadores, la idoneidad y fiabilidad de los equipos, la calidad y el prestigio de las universidades y los centros de investigación, etc. En algunos casos surgen problemas éticos (falseamiento de los datos, plagios, deshonestidad), que suelen ser resueltos por las comunidades científicas en base a reglas deontológicas que las propias comunidades establecen⁵. Sin embargo, aparte de los problemas éticos, en la investigación científica hay otros muchos conflictos de valores. No sólo se producen conflictos epistémicos, como la inconmensurabilidad entre paradigmas rivales, o la contradicción entre hipótesis, teorías y predicciones, o la imprecisión de los datos observacionales, de las mediciones o de los experimentos, o la falta de rigor de algunas propuestas, ni tampoco únicamente conflictos entre valores técnicos, como la utilidad, la eficiencia, la aplicabilidad, la robustez o el buen o mal funcionamiento de los artefactos, sino también conflictos que dependen de valores económicos, sociales, políticos, jurídicos, ecológicos o militares. Por tanto, en el contexto de investigación funcionan otros muchos procesos de evaluación, aparte del sistema de pares anónimos. Los gobiernos tienen sus propios criterios político-económicos, y en su caso estratégico-militares, para evaluar los programas tecnocientíficos y las instituciones dedicadas a la investigación. Otro tanto cabe decir de las grandes empresas y sus Departamentos de I+D. Puesto que las innovaciones compiten entre sí en el mercado, éste puede ser considerado como un agente importante de valoración: es el que asigna valor a dichas innovaciones, en el sentido económico del término «valor». Otros grupos sociales también hacen sus

5. El código de Hipócrates es el primer gran ejemplo histórico de la deontología científica.

propias estimaciones, manifestando mayor o menor confianza en la investigación científica y en el juicio de los expertos. Aunque el sistema de evaluación por pares sea muy importante y se haya generalizado, no es el único sistema a tener en cuenta. Desde una perspectiva axiológica, la tecnociencia se distingue de la ciencia y la tecnología por la mayor pluralidad de sistemas de valores involucrados en los procesos de evaluación. En lugar de plantearnos la vacua cuestión de si la tecnociencia es buena o mala, hay que analizar caso por caso, en base a datos empíricos y utilizando criterios de evaluación previamente diseñados y normalizados. Todo ello en la medida de lo posible, claro está. En el contexto de investigación e innovación también podemos distinguir entre valoraciones puramente subjetivas, que existen, y son muy frecuentes, aunque se les preste poca atención, evaluaciones intersubjetivas (que implican procesos de consenso entre distintos agentes evaluadores) y evaluaciones objetivas. En las evaluaciones objetivas se utilizan protocolos normalizados de evaluación: al menos en principio, ofrecen resultados similares independientemente de quién sea el agente evaluador. La objetividad de algunos procesos de evaluación no implica neutralidad axiológica. El mito de la neutralidad y de la ciencia *value-free* ha de ser eliminado de la reflexión sobre la tecnociencia. Los instrumentos que utilizan los científicos y los ingenieros para evaluar sus propios instrumentos de investigación, la fiabilidad de los resultados, la incidencia de los resultados, etc., están cargados de valores, como mínimo de valores epistémicos y técnicos. En el caso de la tecnociencia, también suelen estar cargados de valores económicos, empresariales, militares, políticos y jurídicos, como vimos en el capítulo segundo. La objetividad es un valor, un valor nuclear de la tecnociencia, que forma parte de un sistema de valores y sólo adquiere sentido en dicho marco sistémico. Por otra parte, en el contexto de investigación e innovación hay evaluaciones públicas, pero no todas lo son. Muchas de ellas se producen en ámbitos privados, incluido el fuero íntimo de los diversos agentes tecnocientíficos: científicos, ingenieros, técnicos, empresarios, políticos, etc. Esta pluralidad de sistemas de valores y de agentes evaluadores es mucho más amplia y compleja en el caso de la tecnociencia que en el de la ciencia y la tecnología. Por ello afirmamos que los conflictos de valores son una parte integrante de la actividad tecnocientífica, porque se derivan de la estructura axiológica de la práctica científico-tecnológica. En la ciencia y la tecnología de la era industrial también existían,

pero en muchas ocasiones podían ser resueltos en el seno de las comunidades científico-tecnológicas. En el caso de la tecnociencia esto ya no es posible, como vimos en el apartado 3.7, al referirnos a las contiendas tecnocientíficas. El sujeto de la tecnociencia es estructuralmente plural y por ello está *en conflicto consigo mismo*. Las comunidades científicas y tecnológicas tienen un papel importante en los conflictos de la tecnociencia, pero no sólo ellas. Tanto durante el desarrollo como en la eventual resolución de los conflictos intervienen otros muchos agentes, cuyos sistemas de valores no son epistémicos ni técnicos. Por ello resulta indispensable analizar las diversas clases de valores relevantes para la tecnociencia. Como ya dijimos en el capítulo anterior, los valores caracterizan las diversas subculturas que se integran en la cultura tecnocientífica.

Lo que acabamos de decir del contexto de investigación vale todavía más en el contexto de aplicación. Los descubrimientos e innovaciones tecnocientíficas no sólo se aplican a la naturaleza, sino ante todo a la transformación de las sociedades y de la vida de las personas. Las guerras basadas en la tecnociencia son el ejemplo más claro, pero hay otros muchos: la ingeniería genética, la farmacología, la tecnomedicina, las tecnologías de la información y la comunicación, la publicidad, las técnicas de modificación de la conducta, las encuestas sobre tendencias de voto, los modelos macroeconómicos, etc. Cuando las sociedades y los seres humanos devienen el objeto de las acciones tecnocientíficas, entonces surgen necesariamente *reacciones*, o si se quiere respuestas críticas, aceptaciones, rechazos, etc. El contexto de aplicación de la tecnociencia es, ante todo, la sociedad, por lo que no tiene sentido intentar separar la actividad tecnocientífica de la vida social. La pluralidad de valores y agentes evaluadores aumenta exponencialmente en el contexto de aplicación, y con ella las aceptaciones y los conflictos. Es literalmente imposible dilucidar si la tecnociencia es buena o mala para la sociedad, en primer lugar porque hay muchas sociedades y muchas tecnociencias, pero ante todo porque la diversidad de sistemas de valores es mucho mayor en el contexto de aplicación social de la tecnociencia. A unos les irá muy bien alguna tecnociencia, por ejemplo un misil inteligente, o una droga sintética. A otros muy mal. La mayor parte de las valoraciones en el contexto de aplicación son subjetivas e intersubjetivas (por ejemplo culturales), pocas pueden ser calificadas de objetivas. Una de ellas es el sistema de votaciones siguiendo la regla de la mayoría, que se aplica una y otra vez en la

actividad tecnocientífica para la resolución de conflictos: por ejemplo en tribunales, en las comisiones que asignan proyectos, o en los Parlamentos que aprueban leyes y planes de ciencia y tecnología. Otra es la evaluación a cargo de expertos, conforme a una racionalidad procedimental previamente establecida. El principal problema consiste en fijar protocolos y procedimientos normalizados y públicos de evaluación, cosa que debe hacerse antes de poner en marcha los procesos de evaluación. Para lograrlo, es preciso reflexionar sobre la acción de evaluar y sobre los instrumentos que la facilitan. Un parlamentario que trabaja en una comisión de ciencia y tecnología, al igual que cualquier otro comisionado, ha de disponer de reglas procedimentales e instrumentos para llevar a cabo su tarea, aparte de su propio criterio como agente evaluador. Podemos concluir, por tanto, que la definición de acción tecnocientífica que propusimos en el apartado 4.7 vale también para las acciones de evaluación. Evaluar la tecnociencia es (ha de ser) una acción tecnocientífica. De ahí la importancia que atribuimos a los instrumentos de evaluación, que no se reducen al buen o mal criterio de los agentes evaluadores.

No hay que olvidar que, desde el origen de la tecnociencia, muchas «controversias» entre programas rivales se resolvieron por la vía de la contienda militar. El propósito principal de este libro consiste en proponer metodologías civiles para la resolución de los conflictos de valores en el contexto de aplicación de la tecnociencia. Dichas metodologías civiles no están basadas en la teoría de la decisión racional ni en la racionalidad instrumental, que son las dos formas de racionalidad que imperaron en la época industrial. Este propósito es difícil de lograr, puesto que no basta con encontrar una posible metodología social para la resolución de esos conflictos axiológicos. Se requiere una metodología *trans-social*, puesto que ya hemos recalcado que la tecnociencia incide sobre varias sociedades a la vez, no sobre una sola. Volveremos posteriormente sobre estos problemas, que son muy arduos, pero cabe anticipar que en el contexto de aplicación de la tecnociencia no se puede rechazar la existencia de valores culturales y sociales muy diversos. Se trata de ir configurando un sistema mínimo de valores compartidos para resolver civilizadamente los diversos conflictos generados por las tecnociencias. Algunos pensarán que es una tarea imposible. Pero hay precedentes de acciones axiológicas similares, como la Declaración de Derechos Humanos de 1948, que instituyó un sistema de valores básicos para guiar la vida político-social.

Dada la creciente importancia de la tecnociencia en las sociedades contemporáneas, se trata de establecer un *contrato social para la tecnociencia basado en el pluralismo axiológico*, y no en el predominio de determinados valores empresariales y políticos que permitieron reformular el informe de Vannevar Bush tras su crisis en los años 70.

Los párrafos anteriores muestran la envergadura del desafío. Insistimos en que la perspectiva axiológica en la que nosotros nos situamos no es la única posible: la praxiología de la tecnociencia no se reduce a la cuestión de los valores, y no hay que olvidar que la epistemología, la historia, la sociología y la economía de la tecnociencia siguen teniendo gran importancia en los estudios de ciencia y tecnología. Sin embargo, consideramos que es una de las líneas de investigación filosófica que más puede aportar hoy en día a los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS), que son el marco en que se sitúa este libro. Recordando brevemente la emergencia de la filosofía de la ciencia a principios del siglo XX, cabe afirmar que la aparición de los estudios CTS son una consecuencia de la propia emergencia de la tecnociencia tras la crisis de la macrociencia en la década 1965-1975. La Filosofía de la Ciencia y la Historia de la Ciencia se constituyeron como disciplinas académicas en las primeras décadas del siglo XX, a nuestro entender como consecuencia de los grandes cambios y revoluciones que se habían producido a finales del siglo XIX y principios del siglo XX en el ámbito de la Biología (Darwin, Mendel), las Matemáticas (geometrías no euclídeas, teoría de conjuntos), de la Física (teoría de la relatividad, mecánica cuántica) y de las ciencias sociales (Psicología Experimental, Economía Matemática, Sociología Empírica, etc.). La *Naturphilosophie* de las Universidades alemanas se reveló insuficiente para pensar esos grandes cambios científicos y por ello surgió una Filosofía de la Ciencia de orientación logicista, empirista y positivista. Pues bien, a finales del siglo XX se produjo un cambio no menos importante en la actividad científica: lo que hemos denominado revolución tecnocientífica. Como consecuencia, en los años 70 surgieron las dos grandes líneas de lo que hoy en día se denominan Estudios CTS: la escuela norteamericana (Mitcham, Durbin, etc.) y la europea (Programa Fuerte, etnometodología, etc.). La filosofía analítica de la ciencia y la tecnología se mostró incapaz de asumir que la propia ciencia había cambiado y siguió manteniendo su programa básico, centrado en el análisis y reconstrucción de las teorías y del conocimiento científico, sin atención

alguna a la práctica. La Praxiología de la ciencia y de la tecnología todavía no existe como disciplina, y tampoco la Axiología, aunque en ésta se han producido avances importantes en los últimos años (Laudan, Rescher, Longino, etc.). Pues bien, los estudios CTS son hijos de la tecnociencia y vienen a cubrir el hueco dejado por la filosofía de la ciencia, la cual, salvo honrosas excepciones, sigue centrada en la ciencia moderna, sin aceptar siquiera la emergencia de la tecnociencia. La axiología que propugnamos es una aportación filosófica a los estudios interdisciplinarios de ciencia, tecnología y sociedad, más que a la filosofía de la ciencia en el sentido estricto de la palabra. Veamos cuáles son las bases sobre las que se asienta.

2. TIPOS DE VALORES

En este apartado analizaremos los diversos sistemas de valores que inciden en la actividad tecnocientífica. Para ello hay que afrontar dos delicados problemas: qué son los valores y qué tipo de valores hay. Con respecto a la primera cuestión, ya hemos manifestado ampliamente nuestra postura⁶: no consideramos los valores como esencias o entidades, y mucho menos como intemporales, sino como funciones (en el sentido de Frege) aplicadas por agentes evaluadores a los sistemas de acciones científicas, tecnológicas o tecnocientíficas. Con respecto a la segunda, cabe introducir diversos criterios para clasificar los diversos tipos de valores. Por nuestra parte, seguimos un criterio empírico, basado en la observación de la práctica tecnocientífica, tal y como ha sido descrita en los capítulos anteriores. Otros autores proponen clasificaciones más sistemáticas, algunas de ellas muy interesantes, como la que ha presentado recientemente Juan Ramón Álvarez Bautista⁷. Sin embargo, en esta obra seguiremos ateniéndonos a la distinción de doce subsistemas de valores relevantes para el análisis axiológico de la práctica tecnocientífica, conforme a lo apuntado en el libro *Ciencia y Valores*:

6. En Echeverría, 2002, cap. 1.

7. Ver J. R. Álvarez, «La ciencia y los valores: la interpretación de la actividad científica», en M. I. Lafuente (coord.), *Los valores de la ciencia y la cultura*, León, Universidad de León, 2001, pp. 17-33.

- 1) Básicos
- 2) Epistémicos
- 3) Tecnológicos
- 4) Económicos
- 5) Militares
- 6) Políticos
- 7) Jurídicos
- 8) Sociales
- 9) Ecológicos
- 10) Religiosos
- 11) Estéticos
- 12) Morales

Cada uno de estos subsistemas agrupa diversos valores. No todos ellos inciden en las diversas disciplinas, ni en cada momento histórico, ni en cada acción tecnocientífica concreta. Sin embargo, todos esos tipos de valores pueden ser significativos a la hora de valorar las acciones tecnocientíficas y sus resultados. Los procesos de evaluación suelen ser iterados, e incluso recursivos. El modelo lineal de Bush presupone que en primer lugar se valoran los descubrimientos científicos, en base a criterios exclusivamente epistémicos. A continuación se evalúan sus aplicaciones e implementaciones tecnológicas, en base a valores técnicos. Una vez satisfechos dichos criterios, se pasa a la fase de diseño del producto, en la que ya se tienen en cuenta otro tipo de estimaciones, al igual que en las fases posteriores de desarrollo de la producción, comercialización y uso de los artefactos. Por último, el mercado hace sus propias valoraciones, al igual que la sociedad. En el sexto ámbito de los sistemas SCyT, las organizaciones militares también tienen sus propios criterios de evaluación de las innovaciones tecnocientíficas. En la periferia del sistema, pueden distinguirse otros sistemas de valores (ecológicos, morales, estéticos, religiosos), algunos de los cuales pueden ser muy relevantes en circunstancias y ámbitos concretos, por ejemplo en un Estado fundamentalista que pretende impulsar la tecnociencia. Otro tanto cabe decir de los usuarios, que pueden tomar sus decisiones en función de criterios estéticos o por razones subjetivas, supuesto que los productos entre los que tiene que elegir hayan superado los umbrales mínimos de los valores nucleares, y por tanto hayan sido difundidos en el mercado.

Desde la perspectiva axiológica, la tecnociencia se caracteriza por una mixtura de valores heterogéneos, puesto que surge de una alianza estable entre agentes sociales diversos, cuyas acciones son guiadas por diferentes sistemas de valores. Muchas investigaciones son promovidas por su posible interés militar, económico o político: las evaluaciones epistémicas y técnicas son secundarias en este caso, aunque también existen, pero no como objetivo, sino como requisito necesario. El proyecto Manhattan, por ejemplo, no fue diseñado e impulsado por razones epistémicas o técnicas, sino ante todo por necesidades político-militares. Los indudables avances científicos y tecnológicos que generó estaban subordinados a los objetivos de dicho proyecto, como vimos en el apartado 2.3. Otro tanto cabe decir del Proyecto ENIAC, de la exploración del espacio o del proyecto Genoma. Para sus promotores y financiadores, los avances epistémicos que suscitaban eran instrumentales. En términos generales, y contrariamente a lo afirmado por Bush: si las empresas tecnocientíficas financian la investigación básica no es para hacer avanzar la frontera del conocimiento, sino para tratar de lograr sus fines, que suelen ser bastante más prosaicos que la búsqueda de la verdad. El conocimiento científico es un instrumento para las empresas tecnocientíficas. Los inversores no invierten en I+D para que los científicos propongan nuevas teorías. Estos avances son bienvenidos, pero únicamente porque suponen prestigio para la corporación o institución correspondiente, lo cual puede contribuir a paliar la desconfianza pública, a ganar la confianza de los inversores privados o a garantizar la financiación pública. El ejemplo del Instituto TIGR, creado por Rosenberg bajo el patrocinio de una Fundación sin ánimo de lucro, pero que tenía a su lado una empresa creada para rentabilizar comercialmente las secuenciaciones de genes que lograran Craig Venter y su equipo, ilustra bien la pluralidad axiológica de la práctica tecnocientífica y la subordinación de los valores epistémicos a los empresariales. En otros casos, la subordinación de los avances en el conocimiento se produce en relación a los objetivos militares o políticos que subyacen a la mayoría de las acciones tecnocientíficas, sobre todo si éstas son de gran envergadura.

Si queremos disponer de un marco teórico general para la axiología de la tecnociencia, es preciso considerar como mínimo esos doce subsistemas, puesto que todos ellos desempeñan un papel en el diseño y evaluación de las propuestas tecnocientíficas. A continuación, hay que dilucidar

empíricamente en cada caso cual es el orden de aplicación efectivo y la relevancia relativa de unos u otros subsistemas. Todo ello sin perjuicio de que pudiera añadirse algún subsistema más, por ejemplo desglosando los subsistemas de valores epistémicos, políticos, morales, etc. En general, cuando estudiemos casos concretos de tecnociencia no tendremos que considerar los doce subsistemas, sino unos pocos. La actividad tecnocientífica casi siempre involucra valores epistémicos, tecnológicos, económicos, políticos y militares. En algunos casos se añaden valores ecológicos, en otros valores jurídicos, sociales, morales o religiosos. Hay ocasiones en que los valores estéticos son muy importantes, inclinando la decisión a favor de una propuesta u otra en función de su estética. Otro tanto cabe decir de los valores jurídicos, o de los ecológicos. En resumen, de estos doce subsistemas habrá que seleccionar unos cuantos para llevar a cabo el estudio caso por caso de la tecnociencia desde una perspectiva axiológica. La axiología de la tecnociencia que propugnamos es analítica y empírica. Lo primero que hay que precisar es el orden de las evaluaciones y el peso específico de cada subsistema o valor, en lugar de presuponer una jerarquía estable en el sistema de valores que guían las acciones tecnocientíficas. En algunos casos primará la utilidad, en otros la precisión o los beneficios económicos esperables. Las funciones axiológicas son aplicadas por los diversos agentes evaluadores conforme a distintas ponderaciones, que han de ser determinadas empíricamente en cada caso. Ello no impide, claro está, que el análisis empírico muestre la ausencia de determinados valores, o su escaso peso relativo a la hora de aprobar o rechazar determinadas acciones. Frente a una crítica abstracta a la tecnociencia, propia de la *racionalidad perezosa*, los axiólogos de la tecnociencia han de tomarse el trabajo de analizar previamente los valores en juego, con el fin de intervenir en el debate introduciendo nuevos criterios de valoración o modificaciones en los pesos relativos de los valores efectivamente intervinientes. La condena moral de la tecnociencia es muy satisfactoria desde el punto de vista de la buena conciencia individual, pero completamente imprecisa e ineficaz a la hora de intentar modificar la práctica tecnocientífica.

Al distinguir esos doce subsistemas estamos proponiendo una clasificación de los valores de la tecnociencia. Dicha clasificación es provisional y mejorable. Otras clasificaciones son mucho más sistemáticas, como la propuesta por Álvarez Bautista. Este autor distingue entre valores co-

municativos, económicos y sociales, por una parte, y, en función de un segundo criterio, entre valores liberatorios (*desiderata*), eliminatorios (exigencias o deberes) y nucleares. Su propuesta tiene gran interés, pero comentarla a fondo nos llevaría muy lejos, por lo que mantendremos por ahora nuestra propia clasificación, que ha de ser entendida como una tabla abierta y con realimentaciones internas. Hay valores, como la libertad, que pueden ser entendidos desde muy diversas acepciones: como valor básico, epistémico (libertad de investigación, libertad de enseñanza), político, jurídico, empresarial, social, etc. Por tanto, los doce subsistemas no son clases de equivalencias, sino subsistemas que interactúan entre sí en situaciones concretas. De ahí la importancia de las condiciones iniciales y de contorno a la hora de llevar a cabo evaluaciones. La información disponible, por ejemplo, resulta decisiva para que los resultados de las evaluaciones sean unos u otros.

Las diversas clasificaciones de los valores presuponen concepciones filosóficas y la nuestra no es una excepción, pese a que en puridad no sea una clasificación, como acabamos de señalar. Antes de proseguir, conviene explicitar dos de sus presupuestos fundamentales.

En primer lugar, optamos por una perspectiva sistémica a la hora de estudiar los valores de la tecnociencia. En lugar de considerar cada valor por separado (atomismo axiológico) y aceptar que tiene un sentido *per se*, partimos de la hipótesis de que los valores se aplican conjuntamente, de modo que al valorar un aspecto también ponemos en juego otros valores. Este carácter sistémico, al que ya nos hemos referido en otros lugares⁸, implica afirmar la existencia de diversos subsistemas de valores V_j en la tecnociencia, variando el subíndice j desde 1 a 12 (o más), puesto que hemos distinguido doce subsistemas de valores. Cada subsistema V_j incluye a su vez una pluralidad de valores V_{jk} interrelacionados entre sí. Por ejemplo, para calibrar la verosimilitud de una hipótesis hay que valorar su coherencia interna y externa (es decir, también en relación con otras hipótesis verosímiles en dicha disciplina científica), la precisión de las observaciones y mediciones que permiten corroborarla o refutarla, la realizabilidad de los experimentos que podrían confirmarla o refutarla, etc. Un determinado valor epistémico se co-implica con otros valores epistémicos, así como con otros no epistémicos. Por ello hablamos de

8. Ver J. Echeverría, 2002, *o.c.*, apartado I.6.

sistemas y subsistemas de valores, más que de valores elementales o atómicos que pudieran ser agrupados en doce o más clases de equivalencia. Un mismo valor puede incluirse en varios subsistemas, si bien, de suceder esto, no será aplicado del mismo modo en uno u otro caso. Dicho de otra manera: dicho valor no tiene el mismo significado según se integre en uno u otro subsistema. Esto no supone ninguna «paradoja del significado», como solían decir los filósofos de la ciencia de la concepción heredada (*received view*), puesto que los valores, al depender de funciones axiológicas, sólo adquieren significado cuando dichas funciones son aplicadas para evaluar una acción o una componente concreta. La existencia de una pluralidad de subsistemas genera una tensión interna al sistema de valores de la tecnociencia, que se manifiesta en forma de conflictos de valores, como hemos recalado más de una vez. Aunque nuestra axiología es analítica, pretende analizar la «dialéctica» interna a los sistemas de valores de la tecnociencia. Es una de las principales peculiaridades de nuestro planteamiento. En otros términos: la axiología de la tecnociencia es dinámica, no estática. Lo importante es dilucidar los sistemas de valores compartidos en un momento dado, independientemente de que en dichos sistemas haya valores contrapuestos entre sí.

En segundo lugar, los valores concretos son emergentes, es decir, van surgiendo a lo largo del tiempo y de los procesos de evaluación, partiendo de unos valores iniciales. Una de las características más notables de la tecnociencia del siglo XX fue la progresiva emergencia de un nuevo subsistema de valores, los valores ecológicos, que apenas habían sido tenidos en cuenta en la ciencia moderna, pero que en la segunda mitad del siglo han ido adquiriendo un peso relativo de cierta significación en la actividad científica y tecnológica. Hoy en día, un laboratorio científico se preocupa por el problema de la eliminación de los residuos de sus experimentos, lo cual no era habitual a principios del siglo XX, ni mucho menos antes. Aunque los valores ecológicos no son los más relevantes en el contexto de investigación (algo más en el de aplicación), tienen cierto papel a la hora de valorar las investigaciones tecnocientíficas. Por ello han de ser considerados como un subsistema específico, cuyo peso relativo crece paulatinamente. Otro tanto podríamos decir de los valores empresariales o jurídicos, que han ido adquiriendo un peso cada vez mayor en la tecnociencia a lo largo del siglo XX. Los valores de la tecnociencia no son consustanciales a ella, aunque siempre haya un núcleo axiológico

compuesto por valores sin cuya satisfacción mínima las propuestas y las acciones tecnocientíficas son lisa y llanamente rechazadas, al igual que sus resultados. Tanto los valores concretos como los subsistemas han ido surgiendo a lo largo de la historia, han impregnado en mayor o menor grado las acciones científicas y técnicas y, gracias a sus repetidas interacciones, se han ido consolidando como tales valores o subsistemas de valores de la ciencia. Frente a muchos filósofos de los valores que han tendido a pensarlos como entidades ideales, nuestra axiología reconoce la historicidad de los valores, su carácter sistémico y, además, afirma la existencia de valores emergentes en dicha interacción sistémica. Por otra parte, en la actividad tecnocientífica se producen transferencias de valores de otras actividades sociales a ella, y recíprocamente. Esta es una de las principales modalidades de cambio de valores en la tecnociencia.

Todo lo que venimos diciendo quedará más claro si enumeramos algunos de los valores pertenecientes a los doce subsistemas que hemos distinguido. Por valores básicos entendemos aquellos que son comunes a los seres humanos, aunque en algunos casos pudiera rastrearse el origen de dichos valores en el mundo animal. Para aclarar de qué hablamos, valga la siguiente lista, para cuya presentación recurrimos al orden alfabético, con el fin de no entrar en los tremendos debates sobre la prioridad de unos u otros valores básicos:

1) *Valores básicos*: alegría, amor, bienestar, capacidad, cordura, creación, crecimiento, felicidad, fertilidad, fortaleza, fortuna, fuerza, gozo, grandeza, interés, madurez, necesidad, normalidad, permanencia, placer, potencia, prudencia, pulcritud, salud, seguridad, sensatez, seriedad, simpatía, suerte, supervivencia, vida, etc.

En esta primera enumeración queda claro el sentido laxo en que aplicamos el concepto «valor básico», puesto que incluimos en la lista valores, virtudes y bienes, independientemente de que esos tres conceptos pueden distinguirse⁹. Muchos de los valores mencionados son estrictamente subjetivos, otros no. Algunos son relevantes para la tecnociencia, otros menos. Nuestro propósito consiste en ilustrar por la vía de los ejemplos el concepto de «valores básicos», puesto que en esta obra no intentaremos elucidarlo. Estas observaciones valen también para las enumeraciones siguientes, incluida la característica más significativa de la

9. Para una manera de distinguirlos, ver Echeverría, 2002, apartado 1.6.

esfera de los valores: la existencia de contrarios, es decir de disvalores. Es importante tener presente que los valores tienen sus contrarios, o disvalores. y que la racionalidad valorativa o axiológica se basa en la regla de incrementar el grado de satisfacción de los valores positivos y menguar el de los negativos, como veremos en el apartado siguiente. Varios de los términos que hemos incluido aparecen en el listado debido a la relevancia del disvalor correspondiente para los seres humanos (tristeza, odio, malestar, incapacidad –o discapacidad–, locura, destrucción, infelicidad, infertilidad, infortunio, debilidad, sufrimiento, pequeñez, desinterés, inmadurez, anormalidad, volatilidad, displacer, impotencia, imprudencia, suciedad, enfermedad, inseguridad, insensatez, irrisoria, antipatía, desgracia, aniquilación, muerte, etc.) y otro tanto ocurrirá con los restantes tipos de valores que vamos a mencionar dentro de cada tipo.

2) *Valores religiosos*: autoridad, caridad, devoción, divinidad, esperanza, fe, gracia, jerarquía, misterio, obediencia, piedad, pureza, respeto, sacralidad, sacrificio, salvación, santidad, sobrenaturalidad, etc.

3) *Valores militares*: autoridad, deber, disciplina, fidelidad, jerarquía, heroísmo, honor, lealtad, magnanimidad, mando, obediencia, patriotismo, paz, secreto, valentía, victoria, triunfo, etc.

4) *Valores morales*: altruismo, amistad, autonomía, benevolencia, bien, bondad, compasión, deber, dignidad, fidelidad, felicidad, generosidad, gratitud, honestidad, limpieza (en el sentido de *fair play*), prudencia, respeto, responsabilidad, sinceridad, solidaridad, tolerancia, veracidad, virtud, etc.

5) *Valores estéticos*: armonía, belleza, claridad, corrección, creatividad, deleite, elegancia, equilibrio, gracia, ligereza, pulcritud, originalidad, sencillez, sublimidad, sutileza, etc.

6) *Valores sociales*: antigüedad, cooperación, diligencia, estabilidad, excelencia, éxito, fama, fraternidad, género, igualdad, intimidad, libertad, mérito, nobleza, orden, paz, prestigio, privacidad, profesionalidad, raigambre, reconocimiento, seguridad, solidaridad, etc.

7) *Valores políticos*: autonomía, autoridad, control, democracia, estabilidad, hegemonía, gobernabilidad, igualdad, independencia, justicia, libertad, mayoría, orden, paz, poder, potestad, prudencia, público (*res publica*), representatividad, respeto, tolerancia, etc.

8) *Valores jurídicos*: autonomía, claridad, equidad, formalidad, durabilidad, estabilidad, garantías, imparcialidad, independencia, justicia, le-

galidad, legitimidad, libertad, publicidad, representatividad, seguridad, transparencia, universalidad, etc.

9) *Valores económicos*: beneficio, calidad, comerciabilidad, competitividad, coste, desarrollo, eficacia, eficiencia, generosidad, libertad, maximización, propiedad, rentabilidad, riqueza, etc.

10) *Valores ecológicos*: biodiversidad, conservación, equilibrio, limpieza (no polución), minimización (de impactos medioambientales), renovabilidad, sostenibilidad, etc.

11) *Valores técnicos*: aplicabilidad, competencia, corrección, durabilidad, eficacia, eficiencia, fiabilidad, flexibilidad, funcionalidad (en el sentido de que algo funcione), habilidad, innovación, integrabilidad (o composicionalidad), rapidez, robustez, sencillez (de uso), utilidad, versatilidad, etc.

12) *Valores epistémicos*: adecuación (empírica), claridad, coherencia, contrastabilidad, fecundidad, generalidad, ingeniosidad, inteligibilidad, originalidad, precisión, publicidad, repetibilidad, rigor, simplicidad, verdad, verificabilidad, verosimilitud, etc.

Como puede observarse en estos listados, varios valores son transistémicos, porque pueden ser considerados desde diversas acepciones. Ninguna de las enumeraciones pretende ser completa y más de una inclusión resulta discutible, así como la asignación de algunos valores a unos u otros subsistemas. No afirmamos la existencia de tipos de valores fijos e inamovibles, puesto que, como ya hemos mencionado, los valores se transfieren de unos subsistemas sociales a otros. Dicho de otra manera: no hay una tipología «natural» de los valores. Al clasificarlos de esta manera estamos llevando a cabo una acción axiológica, o más bien meta-axiológica. No se trata de proponer una tabla inamovible de valores. Pretendemos ante todo mostrar la enorme variedad de cuestiones axiológicas que, con mayor o menor frecuencia o relevancia, se suscitan en la actividad tecnocientífica y, por supuesto, también en otras actividades sociales. Algunos de esos valores (o virtudes, o bienes) son estrictamente subjetivos, otros no. Por tanto, nuestra propuesta podría afinarse y mejorarse introduciendo otros criterios. Aun así, la distinción de doce subsistemas de valores relevantes para la tecnociencia es sumamente útil para el análisis axiológico, aparte de introducir un principio de clarificación en un tema de enorme complejidad. En cuanto al orden en que han sido propuestos los doce subsistemas, podría ser modificado. Hemos puesto los valores epistémicos y técnicos en los últimos lugares de la lis-

ta a propósito, *last but not the least*. Al principio han sido colocados los sistemas de valores que tradicionalmente han agotado la reflexión sobre los valores (valores básicos, religiosos, morales y militares), pero no porque los consideremos como los principales para la tecnociencia, sino por mantener un cierto orden histórico. Aun así, ya hemos dicho que los valores ecológicos, que no deben ser confundidos con los morales, por mucho que se hable de ética medioambiental, han sido los últimos en configurarse como sistema. Su incidencia en la actividad tecnocientífica todavía es escasa, al menos en algunos escenarios, pero va creciendo, por lo que deben ser considerados como un subsistema específico.

Tras esta breve presentación de lo que consideramos como valores potenciales de la tecnociencia, interesa subrayar los presupuestos «ontológicos» de los que partimos¹⁰. Consideramos a los valores como funciones (en el sentido de Frege) aplicadas a sistemas de acciones por diversos agentes evaluadores, obteniendo como resultado de la acción de evaluar una valoración, y en algunos casos un juicio. Dicho en términos filosóficos clásicos, que normalmente no utilizaremos: la «facultad» de valorar es mucho más amplia que la «facultad» de juzgar. Por lo mismo, el contexto de evaluación es mucho más amplio que el contexto de justificación de Reichenbach y los filósofos positivistas. Estos últimos sólo se interesaron en las justificaciones epistémicas. Para la tecnociencia esto no vale. Muchas acciones tecnocientíficas se justifican en base a criterios económicos, políticos, militares o sociales. Los valores epistémicos tienen importancia, pero han perdido el monopolio de la «justificación» de la actividad científico-tecnológica. Es otra de las razones por las que la filosofía clásica de la ciencia no es válida para analizar y reconstruir la tecnociencia.

3. APLICACIÓN DE LAS MATRICES DE EVALUACIÓN A LA PRÁCTICA TECNOCIENTÍFICA

En la obra *Ciencia y Valores* introdujimos la noción de *matriz de evaluación* como instrumento básico para el desarrollo de una axiología analí-

¹⁰. Para una discusión amplia de las diferencias entre axiología y ontología, ver Echeverría, 2002, cap. I.

tica, empírica, formal, pluralista, sistémica y meliorista¹¹. Dicha axiología está basada en la existencia de una pluralidad de valores que rigen las acciones científicas, tecnológicas y tecnocientíficas. Dichos valores no son un simple elenco, sino que están organizados en sistemas y subsistemas. Por ello cabe hablar de evaluaciones epistémicas, técnicas, económicas, políticas, militares, sociales, etc. En general, cabe hablar de un sistema V de valores relevantes para la actividad tecnocientífica, $V = \{V_j\}$, donde V_j representa alguno de los doce subsistemas de valores anteriores, de modo que $V_j = \{v_{jk}\}$. Cada valor del listado anterior, v_{jk} , se aplica a las acciones tecnocientíficas para valorarlas en función de muy diversos criterios de estimación. Puesto que en dichas acciones también habíamos distinguido doce componentes, $A = \{A_i\}$, la acción de valorar queda representada en general mediante la expresión axiológica $v_{ijk}(A_i)$, que puede ser un enunciado o juicio de valor (el científico A_i es competente, el instrumento A_i es preciso, la teoría A_i es verosímil, etc.), pero también un número o puntuación, cuando se usan protocolos normalizados y baremos de evaluación, o, en el caso más frecuente, una preferencia u opción por una alternativa frente a otra: el científico A_i tiene mejor currículum que B_i , el ingeniero A_i es más competente que B_i , los instrumentos A_i son más precisos que los B_i , la teoría A_i es más general que la teoría B_i , etc. Como ya indicamos en el libro *Ciencia y Valores*, en el que se comentan ampliamente las peculiaridades de las matrices de evaluación, las inecuaciones son las representaciones más habituales de las valoraciones: $v_{ijk}(A_i) > v_{ijk}(B_i)$. Esta expresión significa que la componente j de la acción A es preferible (o mejor) que la componente correspondiente de la acción B , en base al criterio de valoración v_{ijk} . Puesto que las evaluaciones de la tecnociencia son procesos que transcurren en el tiempo, no juicios puntuales, las inecuaciones axiológicas adoptan la forma general $v_{ijk}(A_i(t)) > v_{ijk}(B_i(t))$, que representa la situación de preferencia por una propuesta o acción tecnocientífica en un momento concreto, siempre en relación al criterio v_{ijk} . Ello no implica una valoración definitiva, puesto que nada impide que en un momento

¹¹. La noción de matriz de evaluación ha sido elaborada en estrecha colaboración con José Francisco Álvarez Álvarez, Catedrático de Filosofía de las Ciencias Sociales de la UNED. Ambos preparamos una obra conjunta sobre la racionalidad axiológica y procedimental, que será publicada el próximo año por Paidós (México).

ulterior B_i sea preferible a A_i . Un artículo enviado a una revista puede mejorar en una segunda redacción, al igual que la formación de una persona, la presentación de un proyecto de investigación o la calidad de una institución. Nuestra axiología es meliorista, puesto que localiza los avances o mejoras en relación a cada criterio de valoración: mayor precisión, mayor eficiencia, más rentabilidad, menos costes económicos, menores impactos medioambientales, mejor recepción social (o en el mercado), mayor competitividad, etc. Las inecuaciones axiológicas que hemos propuesto permiten representar las diversas situaciones de evaluación, y ello para los diversos valores (o disvalores) que estamos considerando.

Cuando, en lugar de considerar un solo valor v_{ijk} , tenemos en cuenta varios criterios de valoración, es preciso introducir un parámetro adicional para representar el factor de ponderación p_{ijk} que el agente evaluador asigna a cada uno de los valores v_{ijk} . Si todos los valores fueran equiponderados, la matriz de evaluación sería: $(v_{ijk}(A_i(t)))$. Como ello no ocurre en la práctica evaluatoria real, sino que hay valores más y menos relevantes a juicio de los diversos agentes evaluadores, la forma más general de las matrices de evaluación es: $(p_i \cdot v_{ijk}(A_i(t)))$. Es decir, se trata de una secuencia de matrices estrechamente vinculadas entre sí, un matricial. Por poner un ejemplo: dicha expresión formal representaría todos los juicios de valor emitidos a lo largo de un intervalo temporal por un determinado evaluador E que aplica los criterios de valoración v_{ijk} a la componente A_i de una acción tecnocientífica. A lo largo del tiempo puede haber cambios de criterio en un mismo evaluador. Algunos considerarán esto como un inconveniente grave, pero se equivocan. Los valores relevantes para la práctica científica pueden cambiar, y en particular sus respectivas ponderaciones. Lo importante es la dinámica de la evaluación, no la creencia metafísica en la atemporalidad de los valores ni en su jerarquía eterna. Los cambios axiológicos forman parte importante de la dinámica de la tecnociencia, aunque esos cambios sólo afecten a las ponderaciones relativas, no al sistema mismo de valores.

Por otra parte, el evaluador E puede ser un científico, un ingeniero, un empresario, un comerciante, un general, un político, un jurista, un ecologista o un ciudadano cualquiera. También puede ser un obispo, un profesor de ética o un experto en cuestiones estéticas. En la medida en que la acción A afecte a la vida de las personas, el evaluador E será una persona normal y corriente, es decir un usuario, o si se prefiere alguien

que se preocupa por las consecuencias y riesgos que sobre él, su familia o su entorno pudiera tener la acción tecnocientífica A . Nuestra axiología no sólo es pluralista porque reconozca la existencia de una pluralidad de valores, sino también porque parte de un agente plural, es decir, de una pluralidad de agentes más o menos integrados en un sistema tecnocientífico concreto. Los conflictos de valores son inherentes a la actividad tecnocientífica. Ello no implica que optemos por la teoría subjetivista de los valores¹². La cuestión es más compleja, o si prefiere más plural. Hay valoraciones subjetivas, intersubjetivas y objetivas. Todas ellas han de ser tenidas en cuenta por la axiología de la tecnociencia. La objetividad y la subjetividad funcionan como valores epistémicos, por lo que forman parte de un subsistema concreto de valores. Además, como la inmensa mayoría de los valores, son graduales. Hay subjetivismos irracionales, otros basados en razones subjetivas, otros en donde hay un grado considerable de intersubjetividad (por ejemplo en los valores culturales) y también cabe hablar de otras valoraciones que, siendo subjetivas en su origen, han sido reconocidas finalmente como objetivas. Recíprocamente, hay grados mayores o menores de objetividad. Nuestra axiología está basada en la gradualidad de los valores y ello incluye a los conceptos de objetividad y subjetividad, cuando éstos son usados como criterio de valoración, lo cual sucede frecuentemente en la actividad tecnocientífica.

Las dificultades para el análisis axiológico-formal de la tecnociencia surgen cuando admitimos la existencia de una pluralidad de agentes evaluadores, no sólo de una pluralidad de valores. Muchas de ellas pueden ser resueltas. En todo caso, las funciones axiológicas de las que hablamos no son entidades atemporales ni desprovistas de sujeto que las aplique. Lo importante es dilucidar cuáles son los valores compartidos, sobre todo si llegan a constituir un sistema axiológico, como es el caso de la tecnociencia. Aunque los distintos agentes evaluadores jerarquicen de manera diferente los valores, es decir, aunque no los ponderen por igual, pueden llegar a evaluaciones comunes, cuyos resultados son intersubjetivamente aceptados. En el caso de la tecnociencia (a diferencia de la ciencia y la tecnología) ello sucede incluso con agentes heterogéneos, los cuales representan y encarnan los subsistemas de valores de diferentes

¹². Concepción muy habitual entre los positivistas (Russell, Ayer, etc.), pero no sólo entre ellos.

grupos sociales. Nos ocupamos de situaciones que pueden ser conflictivas, y no sólo desde el punto de vista discursivo o argumentativo, sino desde la perspectiva de la acción. No sólo hay juicios contrapuestos, sino también acciones contrapuestas. Es preciso representar los procesos de evaluación, no sólo las valoraciones puntuales. A lo largo de un proceso de evaluación pueden irse formando sistemas de valores compartidos, sin perjuicio de que las tensiones sigan existiendo. Cuando se llega a una situación de consenso axiológico pueden crearse protocolos normalizados de evaluación y sistemas de reglas procedimentales para dirimir los desacuerdos. Esto sucede una y otra vez en la práctica tecnocientífica, en la cual no rige la regla de la unanimidad, ni mucho menos la de la universalidad de la ciencia aristotélica. La aceptación previa de unas reglas procedimentales y, en muchos casos, la adopción de protocolos normalizados de evaluación, forma parte de la racionalidad valorativa. En el apartado siguiente veremos de qué manera esos protocolos de evaluación intersubjetiva pueden ser considerados como matrices específicas de evaluación.

Hemos mencionado algunas de las dificultades con las que se topa la axiología de la tecnociencia. Para afrontarlas, es preciso disponer de un marco conceptual más afinado y preciso que lo dicho hasta el momento. Veámoslo con mayor detalle.

a) En primer lugar, hay que subrayar que las expresiones formales que estamos utilizando valen para cualquier acción axiológica: juicios de valor, preferencias, elecciones, rechazos, indecisiones, etc. Aunque los criterios de evaluación de los agentes E variarán mucho, y normalmente serán contrapuestos entre sí, la representación formal es la misma para todos ellos. Las matrices de evaluación posibilitan la introducción de un protocolo común para las diversas valoraciones, lo que permite la comparación entre ellas, por heterogéneas que sean. Sobre todo, permiten detectar la existencia de valores compartidos, aunque las ponderaciones respectivas sean distintas. Cuando un conjunto de valores compartidos se convierte en estable a lo largo de diversos procesos de evaluación, lo cual se detecta analizando la práctica científica, la axiología puede afirmar (a título hipotético) la consolidación de un sistema de valores V , cuya estructura y modos de aplicación hay que analizar. Dicho sistema V es una de las componentes estructurales del «paradigma» tecnocientífico correspondiente, en la medida en que guía las acciones de evaluación.

b) En segundo lugar, nuestra axiología está basada en la noción de satisfacción. Cuando el agente evaluador E utiliza el criterio v_{ijk} para valorar la componente A_i de una acción tecnocientífica (por ejemplo los resultados que de ella se derivan), lo que hace es dilucidar si A_i satisface o no el valor v_{ijk} , y en su caso en qué grado lo satisface. A la pregunta: ¿satisface A_i el criterio de valoración v_{ijk} ?, el evaluador E sólo podrá responder en algunos casos «sí» o «no». En dichas ocasiones la evaluación $v_{ijk}(A_i)$ puede ser representada mediante «1» o «0». Estaríamos usando una escala cardinal para representar mediante números el resultado de la evaluación. En otros casos, el evaluador E es capaz de dilucidar el grado en que, a su juicio, la componente A_i satisface el valor v_{ijk} , o su disvalor \bar{v}_{ijk} . Es lo que ocurre cuando alguien otorga una puntuación al valor v_{ijk} . En este caso puede decirse que $v_{ijk}(A_i) = g_{ijk}$, siendo g_{ijk} la puntuación asignada, es decir, el grado en que A_i satisface el criterio de valoración v_{ijk} a juicio de un evaluador E , que puede ser individual, colectivo o institucional. Así ocurre, por ejemplo, cuando un profesor califica de 1 a 10, cuando un ciudadano rellena una encuesta de opinión, cuando un *referee* puntúa un artículo enviado a una revista científica o cuando se resuelve un concurso entre grandes empresas tecnocientíficas para adjudicar un contrato importante. Este procedimiento es el más habitual en la práctica evaluadora y permite representar los resultados de una acción valorativa en escala ordinal.

Sin embargo, en otras ocasiones la evaluación tiene mayor precisión y puede ser representada en escala de intervalos o incluso en escala métrica (con unidad de medida). Esto es muy frecuente al valorar los instrumentos científicos, los costes económicos, los índices de impacto o el precio de un producto tecnocientífico en el mercado. En tales casos la valoración $v_{ijk}(A_i)$ está representada por un número y puede operarse con él. Las matrices de evaluación son matrices en el sentido matemático de la palabra, por lo que pueden introducirse diversos operadores algebraicos para operar con las estimaciones realizadas por E y otros agentes evaluadores. Aquí es donde tiene pleno sentido hablar de ponderaciones. Por ello reservaremos la expresión $p_{ijk} \cdot v_{ijk}(A_i)$ para las situaciones en que puedan usarse escalas de intervalos o métricas¹³. En

13. Sin embargo, es sabido que es posible metrizar las escalas ordinales, por lo que lo más habitual en axiología será utilizar ponderaciones y criterios de valoración metrizable.

tales situaciones, por ejemplo, es posible hallar la media aritmética de las evaluaciones emitidas por agentes diferentes, así como introducir otros operadores matemáticos y estadísticos. También puede instituirse el procedimiento de resolución de las diferencias de valoración por remisión a una tercera instancia, por ejemplo un árbitro de mayor rango. O, lo que es más frecuente, se pueden impulsar las dos propuestas alternativas, dejando que sea el tiempo, el mercado o la sociedad quienes otorguen su favor a una u otra. Esto es lo habitual en las fases de desarrollo del producto y comercialización. El mayor nivel de penetración o de ventas de diversas innovaciones tecnocientíficas, una vez puestas en el mercado, funciona como un criterio racional de resolución de rivalidades. No es el único procedimiento, claro está.

La axiología que propugnamos es formal, o formalizadora, y adopta sin problemas representaciones matemáticas e informáticas. Las valoraciones $E(p_{ijk} \cdot v_{ijk} (A_i))$ no tienen por qué ser representadas únicamente mediante juicios de valor, como ocurre en los lenguajes naturales, sino también como magnitudes, utilizando para ello diversas escalas de medida. Al analizar empíricamente los procesos de evaluación, se detectan también los agentes y los escenarios en donde se dirimen los conflictos entre propuestas alternativas. Las comunidades científicas y tecnológicas son uno de esos escenarios, pero no el único, y en la mayoría de los casos tampoco el más importante. Los criterios de valoración de la tecnociencia son mixtos. Las comunidades científicas eran las que determinaban antiguamente qué es aceptable en ciencia y qué no. Con la emergencia de la tecnociencia, siguen desempeñando un papel al respecto, pero no tienen el monopolio de la evaluación. Dicho de otra manera: el contexto de evaluación de la tecnociencia es inter- o trans-comunitario. Los militares, los empresarios y los políticos introducen nuevos criterios de valoración, además de los epistémicos y técnicos. La sociedad y los usuarios de los artefactos tecnocientíficos también tienen un papel importante en los procesos de evaluación de la tecnociencia. Para los defensores de la autarquía de la ciencia, agrupados bajo el lema de que sólo los que saben ciencia (o tecnología) pueden valorar la tecnociencia, esto produce escándalo. Sin embargo, es consecuencia *necesaria* de la estructura de la práctica tecnocientífica, y más concretamente de su estructura axiológica.

c) En tercer lugar, las divergencias entre los agentes evaluadores son la regla, no la excepción. Por eso decimos que el sujeto (o agente) de la tec-

nocencia es plural. La generación de sistemas de valores compartidos, los procesos de consenso y el establecimiento de reglas procedimentales para dirimir las divergencias y los conflictos, si es preciso ante tribunales, son algunos de los temas más relevantes para el análisis axiológico de la actividad tecnocientífica¹⁴. También suele ocurrir que las propuestas superen algunas fases de la criba axiológica, pero no las restantes. Por ejemplo, un proyecto de investigación puede estar muy bien planteado desde el punto de vista científico y tecnológico, pero puede ser rechazado ulteriormente por no tener interés militar, empresarial o comercial. Los procesos de evaluación son iterativos: por ello hablamos de *cribas axiológicas*. Las propuestas tecnocientíficas van pasando sucesivos umbrales de valoración, pero tienen que pasarlos todos para llegar a ser efectivas. Cada agente evaluador incorpora sus propios criterios y puede diferir de otros agentes que habían considerado excelente una determinada propuesta. El pluralismo axiológico conlleva una secuencialidad, con realimentaciones entre las diversas fases del proyecto. Aunque representamos el proceso completo mediante una matriz de evaluación, en realidad hay que distinguir varias submatrices, cada una de las cuales expresa la diversidad de sistemas de valores que intervienen en la tecnociencia.

d) En cuarto lugar, la axiología que propugnamos, por ser empírica y formalizadora, no se limita a localizar los diversos agentes evaluadores a lo largo del tiempo, sino que, además, clarifica y explicita los valores efectivamente usados en dichas evaluaciones. En la medida en que se utilizan protocolos normalizados y matrices de evaluación (o derivaciones de dichos instrumentos formales), los resultados finales de las evaluaciones pueden ser analizados y justificados, incluyendo las divergencias y los conflictos. Frente a la ocultación de los criterios reales de valoración, típica de los juicios subjetivos, las matrices de evaluación incrementan el grado de intersubjetividad, y en el mejor de los casos de objetividad de los procesos de evaluación. Antes de proceder a una valoración, cada agente evaluador ha de declarar públicamente los criterios que quiere que se apliquen, y en su caso también las ponderaciones relativas. Como resultado de esta fase pre-evaluatoria, la acción evaluadora está sujeta a

¹⁴. En este libro no nos ocuparemos de este punto, que será abordado más ampliamente en un libro próximo sobre la racionalidad valorativa de J. Francisco Álvarez y este autor.

reglas, como toda acción, en lugar de regirse por el libre arbitrio de cada evaluador o del que tiene más poder relativo. Las matrices de evaluación, cuando son aplicadas, contribuyen considerablemente a la normalización de los procesos de evaluación, incrementando el grado de objetividad de sus resultados. Por supuesto, los procesos de evaluación no son lineales, como ya señalamos. La posibilidad de recurrir los resultados de una evaluación, de conseguir que se repita con distintos agentes, etc., mejora los procesos de evaluación y sus resultados. Todo ello introduce una componente jurídica importante en la actividad tecnocientífica: la actuación de las comisiones evaluadoras ha de estar sujeta a reglas, y en el caso de las acciones públicas también a leyes. Otro tanto cabe decir de la inscripción de patentes o de los pleitos que puedan tener las empresas tecnocientíficas entre sí. Las instancias judiciales son el último eslabón de un proceso de evaluación, pero no por ello menos importante.

e) En quinto lugar, la axiología de la tecnociencia basada en el uso de las matrices de evaluación favorece la crítica y la intervención. Basta con comparar, por poner un ejemplo, dos matrices de evaluación utilizadas por los evaluadores E y E' para detectar ausencias y sesgos axiológicos en la práctica de uno y otro. Esto vale para evaluadores individuales pero también para evaluaciones realizadas por grupos, comisiones o instituciones. Los indicadores de la actividad científico-tecnológica no son más que una de las expresiones de lo que aquí denominamos matrices de evaluación. Suelen ser económicos (gasto en I+D), profesionales (recursos humanos disponibles), bibliométricos, de patentes y de innovación tecnológica. Recientemente se han introducido (RICYT 2001) indicadores sociales. La ausencia de indicadores ecológicos, jurídicos o éticos evidencian la defectuosa estructura de las matrices de evaluación efectivamente utilizadas en dichos procesos. Al analizar los criterios de valoración efectivamente usados, así como sus ponderaciones respectivas, las críticas dejan de ser ideológicas y se convierten en mejoras formales. Eso sí, las mejoras que se propongan han de explicitar los valores a incluir y las ponderaciones que hay que modificar. La controversia y el debate se producen antes de evaluar, con lo que se mejoran las técnicas de evaluación y se incrementa el grado de intersubjetividad y objetividad de los instrumentos de evaluación que se vayan a usar. Dicho de otra manera: los propios criterios de evaluación que se van a usar han de ser evaluados, tanto *ex ante* como *ex post*. Con ello se mejoran las acciones axiológicas,

al perfeccionarse los instrumentos con cuya ayuda se llevan a cabo. No se olvide que consideramos las valoraciones como acciones y, por ende, sujetas a la teoría de la acción que hemos mencionado repetidas veces. A nuestro modo de ver, las matrices de evaluación y sus desarrollos derivados suponen una mejora considerable de los procesos de evaluación de la tecnociencia. Ello no obsta para que esos instrumentos también tengan defectos e insuficiencias. Lo importante es instituir el principio de *meta-evaluación* (o control de las evaluaciones), según el cual haya que evaluar las propias acciones axiológicas, y por tanto sus agentes, sus instrumentos, sus condiciones iniciales y de contorno (por ejemplo, presiones a las comisiones evaluadoras), sus resultados, sus consecuencias y sus reglas. Formular reglas procedimentales previas para los procesos de evaluación es una de las mejoras netas a considerar, porque disminuye el grado de discrecionalidad de los evaluadores. Obsérvese que lo que estamos diciendo no contradice nuestra aceptación anterior de un cierto grado de subjetividad en las evaluaciones de la actividad tecnocientífica. La subjetividad en las evaluaciones puede alcanzar un cierto grado, pero no ha de ser nunca el criterio dominante. Podría incluso ponderarse la valoración subjetiva, combinándola con los restantes criterios de valoración. Lo importante es que ese factor de ponderación fuera explícito y previo, en lugar de ser implícito y manifestarse en los momentos de conflicto, como suele ocurrir. A la hora de contratar investigadores, por ejemplo, suelen ponderarse las cartas de apoyo que los candidatos reciban por parte de científicos, personalidades o instituciones de prestigio. Este es un factor a tener en cuenta, no el único. Ponderar adecuadamente estos juicios subjetivos forma parte de la construcción de una matriz de evaluación.

f) En sexto lugar, las matrices de evaluación tienen una gran utilidad a la hora de comparar áreas y sistemas tecnocientíficos diferentes, favoreciendo la *transferencia de valores* entre unas y otras y el *cambio axiológico* en amplias zonas de la tecnociencia. Pongamos un ejemplo muy trivial: el grado de informatización de la propia práctica tecnocientífica, sea en el contexto de investigación, de aplicación o de educación. O incluso en el contexto de evaluación, lo cual es un indicador de gran relevancia para analizar la práctica evaluadora. O también: el porcentaje del Producto Industrial Bruto que unos y otros países dedican a la investigación científico-tecnológica, o a la educación, o a la innovación. Si un país compara su inversión en I+D con la de otro país más avanzado tec-

nocientíficamente, puede remodelar su política presupuestaria y fijar como objetivo el incremento paulatino de dicho porcentaje de inversión en I+D. Otro tanto cabe decir del valor prioridad: unas líneas prioritarias son imitadas rápidamente por otros países o agentes tecnocientíficos. Desde nuestra perspectiva, esta transferencia de valores se vería facilitada y precisada con el uso sistemático de las matrices de evaluación, independientemente del formato que éstas adopten en cada caso. Lo dicho no sólo vale para la tecnociencia pública, sino también para la privada. Las matrices permitirían comparar asimismo ambos tipos de tecnociencia, con todas las consecuencias que de ello se derivarían.

g) En séptimo lugar, hay que subrayar que las matrices de evaluación no son propuestas con el fin de intentar definir algoritmos deterministas para la toma de decisiones ni están basadas en la maximización de las funciones de utilidad¹⁵. Salvo en casos muy excepcionales no hay tales algoritmos¹⁶. Una de las principales razones es que la axiología funciona por lo general con escalas ordinales e inecuaciones. Nuestras propuestas se insertan en la línea de trabajo iniciada por Herbert Simon, basada en la noción de satisfacción frente a la de maximización de los valores y constitutiva de lo que hoy en día se denomina racionalidad acotada (*bounded rationality*). En general, cada valor v_{ijk} o disvalor \bar{v}_{ijk} tienen asociadas una cota mínima c_{ijk} de satisfacción de un valor positivo, por debajo de la cual se dice que la propuesta tecnocientífica es rechazable, y una cota máxima de disatisfacción del disvalor, C_{ijk} , por encima de la cual la propuesta tampoco es aceptada, por exceder el umbral máximo tolerable de dicho disvalor. Esas cotas pueden variar a lo largo de un proceso de evaluación, y en general a lo largo del tiempo, siendo uno de los principales indicadores de los avances de la actividad científica en relación con dicha pareja de valor y disvalor. En términos formales, para que una propuesta o acción tecnocientífica no sea rechazada es preciso que $\forall i, c_{ijk} < v_{ijk}(A_i) < C_{ijk}$, y ello tanto en un instante determinado como a lo largo de un intervalo de tiempo. Las propias teorías científicas soportan un cierto número de anomalías, como mostró Kuhn, siempre

que no sean excesivas y siempre que, además, dichas teorías tengan un suficiente número de comprobaciones empíricas que avalen su posible validez. Un artefacto tecnológico puede tener un cierto número de averías, o un período previsible de obsolescencia, pero si esos disvalores se manifiestan con exceso el artefacto correspondiente es reemplazado por otro, o retirado del mercado. Este tipo de racionalidad acotada es la que prima asimismo en ámbitos políticos, sociales, ecológicos y militares, e incluso en ambientes jurídicos, aunque en este caso con un grado menor de flexibilidad. No así en los círculos económicos, en donde el «paradigma maximizador» se ha implantado con fuerza, convirtiéndose incluso en un modelo para el análisis de la acción social, a través de la teoría de decisión racional. Como ya dijimos, en las valoraciones económicas es más fácil utilizar escalas métricas, debido a la existencia del dinero como unidad de medida. Ello ha generado una tendencia reduccionista: muchas teorías de la racionalidad han aceptado el paradigma maximizador. Sin embargo, incluso en teoría económica se muestran fuertes tendencias contrarias al mismo, empezando por Simon y terminando con Amartya Sen. Independientemente de la claridad, simplicidad y utilidad que pueden tener las técnicas maximizadoras en las ciencias sociales, son empíricamente inadecuadas y técnicamente sesgadas en el caso del análisis axiológico de la tecnociencia. En cambio, la existencia de cotas mínimas de satisfacción y máximas de satisfacción es una de las «generalizaciones simbólicas» más características de la racionalidad acotada. Volveremos sobre esta cuestión en publicaciones ulteriores.

h) En octavo lugar, no sólo utilizamos la distinción entre los doce subsistemas para analizar la estructura axiológica de la actividad tecnocientífica. También distinguimos entre *valores centrales y periféricos* (o nucleares y orbitales). Por valores centrales o nucleares entendemos aquellos cuya insatisfacción ($v_{ijk}(A_i) < c_{ijk}$ o $v_{ijk}(A_i) > C_{ijk}$) implica el rechazo inmediato de una componente de una acción tecnocientífica, y por tanto el de la acción misma, hasta que dicha componente no sea modificada. Hay valores nucleares en cada uno de los doce subsistemas: por ejemplo la incoherencia o la falta de adecuación empírica (valores epistémicos), la inutilidad o el disfuncionamiento (valores técnicos), la desmesura o la no rentabilidad (valores económicos), la indisciplina o la cobardía (valores militares), etc. Los valores periféricos u orbitales, en cambio, no conllevan el rechazo automático de la componente o de la

¹⁵. Sobre estos puntos hemos hecho comentarios más amplios en Echeverría, 2002, apartado I.5.

¹⁶. Coincidimos en este punto plenamente con Kuhn, que siempre negó la existencia de algoritmos deterministas para evaluar la actividad científica.

acción, aunque suscitan dudas sobre su idoneidad. Desde nuestra perspectiva, los cinco valores que Kuhn consideró como permanentes de la ciencia (precisión, rigor, coherencia, generalidad y fecundidad), son valores nucleares de la ciencia. Ello no significa que tengan que satisfacerse al máximo. Lo que resulta imprescindible es que no caigan por debajo de determinados niveles de satisfacción (cambiantes según los valores, las situaciones y las épocas), ni que excedan de los niveles máximos de disatisfacción tolerable. En el caso de la ciencia, el núcleo axiológico está compuesto exclusivamente por valores epistémicos. En el caso de la tecnología por valores técnicos. En la medida en que la ciencia y la tecnología fueron involucrándose en la producción industrial, sus núcleos axiológicos se fueron transformando, dando entrada a algunos valores económicos y empresariales. En el caso de la tecnociencia esta tendencia se ha agudizado, y en muchas direcciones. En términos generales, diremos que el núcleo axiológico de las diversas tecnociencias siempre incluye valores epistémicos, técnicos, económicos y políticos, y muy frecuentemente valores militares y jurídicos. Los valores ecológicos, hoy por hoy, están en la periferia de la tecnociencia, al igual que los valores estéticos, morales y religiosos. Ello no implica negar la existencia de casos en que dichos valores son nucleares, o pudieran serlo, sobre todo en algunos países y culturas. En cuanto a los valores básicos, algunos de ellos forman parte del núcleo axiológico de algunas tecnociencias (por ejemplo la tecnomedicina), pero no de todas. Por ejemplo, la tecnomatemática apenas se ve afectada por los valores básicos. En resumen, la distinción entre valores centrales y periféricos es una distinción formal, cuya concreción efectiva ha de ser investigada con estudios de casos. No cabe afirmar un núcleo axiológico común a todas las modalidades de tecnociencia, aunque tampoco hay que descartar que dicho núcleo se acabe constituyendo conforme la tecnociencia se desarrolle y se consolide, como ocurrió históricamente con la ciencia y la tecnología.

i) Por último, conviene clarificar la noción de sistema de valores de la tecnociencia, *V*. Hasta ahora hemos hablado de los diversos subsistemas posibles y acabamos de introducir la distinción estructural entre valores nucleares y orbitales¹⁷. También hemos afirmado que el sistema *V* de va-

17. Dicha distinción ya había sido planteada en publicaciones anteriores: ver Echeverría, 2002.

lores que riges una determinada actividad tecnocientífica nunca está formado por un único subsistema (valores epistémicos, valores técnicos), como era el caso de la ciencia y la tecnología. Por supuesto, esto vale también para otros subsistemas. Por muy militarizada que esté una actividad tecnocientífica, los valores militares nunca son los únicos relevantes. Los valores epistémicos, tecnológicos y económicos siempre tienen una presencia en cualquier actividad tecnocientífica, y no sólo en la periferia, sino en el centro axiológico. Por tanto, un sistema *V* siempre es un sistema mixto. Así como el agente tecnocientífico es plural, porque está compuesto por un conjunto de miembros, cada uno de los cuales representa, encarna y defiende tal o cual subsistema de valores, así también la matriz de evaluación que define dicho sistema *V* es estructuralmente heterogénea, lo que genera la existencia de submatrices dentro de ella. Cada una de las submatrices representa los valores nucleares procedentes de cada uno de los doce subsistemas que estamos considerando, por lo general cuatro o cinco. Otro tanto ocurre con los valores periféricos, que también están organizados por subsistemas y vienen representados mediante submatrices¹⁸. Los sistemas *V* pueden ser muy diferentes según las diversas tecnociencias, contextos y situaciones. Por ejemplo, difieren radicalmente según estemos en el contexto de educación, de investigación o de aplicación. Por tanto, cada sistema *V* está asociado a un campo de actividad tecnocientífica, lo cual debe ser dilucidado empíricamente. Dichos sistemas surgen, se desarrollan y se afianzan en la propia práctica tecnocientífica, generando en algunos casos sistemas *V* estables con protocolos de evaluación normalizados y generalizados. En tales casos diremos que dicha actividad es una tecnociencia madura. Aunque no lo habíamos dicho hasta ahora explícitamente, tanto la «cientificidad» como la «tecnocientificidad» (si se nos permite el palabro) pueden ser usados como términos valorativos, y por ende son cuestión de grados. La

18. Puesto que este libro está dirigido a un público amplio, prescindimos de introducir un aparato formal adicional para dichas submatrices. Pensamos que, dados los destinatarios potenciales de este texto, el nivel máximo de formalización mayoritariamente aceptable ya ha sido alcanzado. Lamentamos la pérdida de rigor y precisión que ello implica, pero ya hemos manifestado que no estamos por la maximización de ningún valor, sino por alcanzar grados mínimos de satisfacción y máximos de disatisfacción en función de las situaciones en las que uno actúa, en este caso en un libro dirigido a un público amplio.

macrociencia está en un grado intermedio, o si se prefiere, fue una transición de la ciencia a la tecnociencia. La existencia de sistemas *V* de valores, estables, normalizados y generalizados en un sistema científico-tecnológico, así como la integración en *V* de varios subsistemas de valores diferentes, expresan el grado de avance e implantación de la tecnociencia. Si aplicamos las matrices de evaluación a un sistema tecnológico concreto, se hace posible analizar la estructura del sistema *V* de valores, y por ende parte de la estructura de la práctica tecnocientífica.

4. TECNOCIENCIA Y PODER

Una de las características más acusadas de la tecnociencia es su vinculación con diversas modalidades de poder: económico, militar y político, en particular. Aunque algunos autores, como David Noble, han considerado a la tecnociencia como una nueva religión¹⁹, lo cierto es que las relaciones entre la tecnociencia y los poderes religiosos son más bien escasas, cuando no conflictivas. El actual debate sobre las células-madre es un buen ejemplo de ello. Los valores religiosos tienen incidencia sobre la tecnociencia, pero normalmente por contraposición a muchas de las innovaciones tecnocientíficas. Lo que sí ocurre, en cambio, es la inserción del poder tecnocientífico en el núcleo mismo de los grandes poderes tradicionales. Empresarios, políticos y militares, dependen de la tecnociencia para incrementar su poder.

Numerosos autores han estudiado desde un punto de vista histórico el afianzamiento progresivo del poder de la ciencia y el establecimiento de vínculos con otros poderes clásicos, en particular con el poder militar y económico²⁰. Por nuestra parte, para explicar la emergencia del poder tecnocientífico haremos un planteamiento más filosófico, introduciendo la noción de *capacidad de acción*, inspirada en algunas ideas de Amartya Sen, Premio Nobel de Economía (1999)²¹. Sus propuestas en economía

pueden ser una buena fuente de inspiración en filosofía de la ciencia, como ha señalado J. Francisco Álvarez²². En nuestro caso, no las tomaremos al pie de la letra. Reinterpretaremos libremente las tesis de Sen sobre el espacio de capacidades, con el fin de explicar el aumento continuado del poder de la tecnociencia a lo largo del siglo XX.

Diremos que, así como la ciencia ha incrementado las capacidades cognitivas del ser humano, las técnicas han aumentado sus capacidades de acción, usando las máquinas como prótesis corporales. Otro tanto cabe decir de las tecnologías industriales, gracias a cuya utilización se incrementó enormemente la capacidad productiva, así como la capacidad energética (electricidad) y los medios de transporte de personas y mercancías, haciendo posible la aparición de las grandes fábricas y de las metrópolis industrializadas. La emergencia de la tecnociencia ha supuesto un salto cualitativo, tanto en lo que respecta al conocimiento como a la acción. Los ordenadores, los radares, las bombas atómicas, los aceleradores de partículas, los materiales sintéticos, las naves espaciales, los satélites artificiales, la televisión, las redes telemáticas y otros muchos ejemplos canónicos de la tecnociencia coinciden en una propiedad fundamental: hacen posibles acciones que antes eran imposibles. De aquí proviene una primera relación profunda entre el poder y la tecnociencia, en la medida en que ésta incide sobre la esfera de lo posible. El invierno nuclear es el ejemplo más claro, puesto que, de producirse, alteraría radicalmente la faz del planeta, incluyendo la desaparición de buena parte de la especie humana y la transformación radical de los eventuales supervivientes. La tecnociencia transforma por completo el espacio de capacidades del que habla Sen. Si los políticos, los militares y los empresarios se interesan por los artefactos tecnocientíficos, junto con el público que los usa, es porque dichos artefactos revolucionan el ámbito de lo que se *puede hacer*. La tecnociencia nos sitúa ante un espacio de acciones posibles radicalmente nuevo, tanto a nivel individual como colectivo. La razón de las estrechas relaciones que se han desarrollado y consolidado a lo largo del siglo XX entre la macrociencia y los grandes poderes consiste en que los artefactos tecnocientíficos abren nuevas capacidades de acción, y ello a un nivel cualitativamente superior al de las tecnologías de la época industrial.

19. Ver D. F. Noble, *La religión de la tecnociencia*, Barcelona, Paidós, 1999. Noble también incurre en el error de hacer omnicompreensivo el término 'tecnociencia', en el que engloba toda modalidad de ciencia y de tecnología.

20. Al respecto, un libro accesible y muy bien documentado es el de J. M. Sánchez Ron, *El poder de la ciencia*, Madrid, Alianza-Expo 92, 1992.

21. Ver A. Sen, *Bienestar, justicia y mercado*, Barcelona, Paidós, 1997.

22. J. F. Álvarez, 2001.

Con la llegada de la tecnociencia propiamente dicha surgió un nuevo tipo de máquinas, las infomáquinas, que permiten simular y controlar el funcionamiento de diversos tipos de artefactos. Los aparatos tecnocientíficos operan ante todo sobre otros tipos de máquinas, automatizando y controlando su funcionamiento. Ello se manifiesta claramente en el caso de las nuevas armas, guiadas por telecontrol remoto, pero también en la industria, al automatizar la producción, en el comercio, al posibilitar la compraventa a través de las redes telemáticas y, por último, en la propia sociedad, al poblarse nuestras oficinas y nuestras casas de instrumentos informáticos. El operador manual ha sido reemplazado en muchos sectores productivos por el operador informático, multiplicándose los ritmos de producción y distribución. Al incidir directamente sobre los gobiernos, las empresas, las organizaciones militares, el mercado y la sociedad, la tecnociencia ha modificado los seis grandes ámbitos de los sistemas SCyT que distinguimos en el capítulo anterior. Su éxito no depende del nuevo conocimiento científico que ha generado, sino ante todo de la modificación del hacer humano, que va dependiendo cada vez más de toda una pléyade de artefactos tecnocientíficos que hoy en día son de uso cotidiano.

El conjunto de capacidades de una persona se puede definir como el conjunto de acciones posibles y valiosas para ella, dando por sobreentendido el bosquejo de teoría de la acción con doce componentes que hemos resumido en el capítulo anterior. Como vimos al comentar la definición de «realización técnica» propuesta por Quintanilla, las acciones técnicas están estrechamente relacionadas con lo que los agentes técnicos consideran valioso. Por tanto, forman parte del espacio de capacidades humanas, tal y como lo entiende Sen²³. Diremos entonces que, así como los filósofos clásicos definían al sujeto humano por sus notas o propiedades, los agentes tecnocientíficos se caracterizan por sus capacidades de acción, incluyendo las valoraciones positivas o negativas de las mismas, es decir, los valores y los disvalores. En tanto agente, el ser humano posee en cada momento un conjunto de capacidades de acción, valoradas por el propio sujeto, pero no sólo por él, sino también por los demás agentes que llevan a cabo acciones similares (u opuestas). Dicho espacio de capacidades se va ampliando o reduciendo a lo largo de la vida, en fun-

23. Sen, *o.c.*, p. 80.

ción de los estados por los que pasa el agente. Los agentes humanos tienen asociado un espacio de capacidades de acción cuyas realizaciones efectivas o posibles no sólo dependen de ellos, sino de las restantes componentes de cada acción. Las situaciones, los medios e instrumentos con los que se cuentan, los riesgos posibles o simplemente las condiciones iniciales funcionan como constricciones de ese espacio de acciones posibles. Algunas de esas componentes no limitan, sino que potencian la capacidad de acción. Tal es el caso cuando el sujeto-agente se inserta en un sistema tecnocientífico y es competente en el uso de los instrumentos correspondientes. Reinterpretando a Sen, podemos decir que, en este caso:

1) Poseer conocimiento científico (teorías, hechos, métodos) no sólo es un bien epistémico, sino también económico, militar, político, social, etc. Desde la perspectiva del subsistema de valores epistémicos, tener conocimientos de las diversas teorías científicas, un buen curriculum y prestigio como investigador, profesor, divulgador o profesional de la tecnociencia equivale a tener bienes epistémicos. Los científicos tratan de hacer suyos e incrementar esos bienes, debido a que les proporcionan *bienestar epistémico*. Sin embargo, esos conocimientos, una vez implementados tecnológicamente y aplicados al mercado, suponen una ventaja indudable para quien los posee, porque su capacidad de acción se ve incrementada. La simbiosis entre el conocimiento científico y otros agentes sociales ha transformado radicalmente el sistema de valores epistémicos. Estos siguen existiendo, pero están sistémicamente vinculados a otros sistemas de valores. La interacción entre la *episteme* y la *pólis* aporta beneficios mutuos. El conocimiento sigue siendo un bien epistémico pero, además se convierte en capital intelectual. Esta fue la gran aportación del informe de Vannevar Bush.

2) Los instrumentos para la investigación y los grandes equipamientos son a su vez bienes técnicos. Son valorados altamente por los científicos e ingenieros, porque sin ellos no pueden actuar. La componente tecnológica de la investigación científica aumenta la capacidad de acción científica, es decir, la capacidad de computar, observar, medir y experimentar. Llamaremos *bienes tecnológicos* a esta componente de la actividad tecnocientífica.

3) Para el empresario tecnocientífico, en cambio, tanto el conocimiento de los científicos a los que contrata o financia como las habilidades y destrezas de los técnicos son ante todo bienes económicos, que hay que

intentar rentabilizar. En el caso de las empresas públicas de investigación, la rentabilidad no tiene por qué ser estrictamente monetaria. También puede ser rentable el aumento del conocimiento o el progreso tecnológico, por sus repercusiones ulteriores sobre la sociedad, la salud o el mercado. En el caso de las empresas privadas de I+D+i, los beneficios suelen ser dinerarios, pero tampoco son los únicos: la consolidación y expansión en el mercado, por ejemplo, suele ser un objetivo tanto o más importante que la realización de beneficios. Desde nuestra perspectiva, esos objetivos estratégicos son perfectamente racionales, al incrementar la *capacidad de acción* de dichas empresas. Contar con una determinada cuota de mercado implica delimitar (o incrementar) la capacidad de acción empresarial: mayor producción, mayor comercialización, *mayor actividad económica*, como suele decirse. Los propios científicos suelen ser sensibles a este tipo de valoración económica, aunque no sea la principal para ellos. La financiación obtenida, los puestos de trabajo de que se dispone y los salarios que se cobran son aspectos importantes para los tecnocientíficos, puesto que éstos no sólo tienen intereses epistémicos o tecnológicos, sino también económicos. Los sociólogos del conocimiento científico han insistido mucho en la importancia de los intereses de los científicos. Tienen razón, pero con una matización muy importante: así como hemos distinguido diversos subsistemas de valores relevantes para la tecnociencia, así también hay que distinguir otras tantas acepciones del término «interés», o del término «bien». Los bienes y los intereses tecnocientíficos tienen muchas facetas, dada la estructura plural de la *agencia tecnocientífica* y de los sistemas de valores *V* que la guían.

4) Otro tanto cabe decir de los militares, que forman una parte considerable de la empresa tecnocientífica. La mayoría de las acciones militares son hoy en día acciones tecnocientíficas, al menos en los ejércitos más avanzados, que coinciden con los que han incrementado su capacidad de acción e intervención. Dichas acciones también son valoradas como bienes por los estrategas, o si se quiere como intereses. La defensa de los intereses estratégicos de un país justifica una guerra, incluso preventiva, como la de Irak, no sólo en respuesta a una agresión. Los *lobbies* científico-militares potencian la investigación tecnocientífica con el fin de aumentar la capacidad de acción de los ejércitos, sea ésta ofensiva o defensiva. No es su único objetivo, claro está, pero su alta valoración de la tecnociencia y su imbricación institucional en ella provienen de la in-

cidencia que la investigación tecnocientífica tiene en el *espacio de capacidades de acción militar*.

5) Aun con diferencias significativas, el interés de los políticos por la tecnociencia tiene raíces semejantes. No en vano el *leit-motiv* de la propaganda política es: *hechos, no palabras*. Esos hechos siempre son resultado de acciones políticas, para cuya realización la tecnociencia hace contribuciones muy importantes. El modelo Bush de política científico-tecnológica, como vimos, está basado en el postulado de que la investigación básica y el desarrollo tecnológico son los grandes motores del progreso en los campos políticamente estratégicos: seguridad, economía, sanidad, educación, defensa. Ulteriormente se mostró que la transferencia de conocimiento y tecnología es un excelente instrumento para la diplomacia. La tecnociencia es uno de los grandes pivotes de los Estados contemporáneos, a diferencia de la ciencia de los siglos XVII y XVIII, que desempeñaba un papel subsidiario. Por lo mismo, el poder tecnocientífico constituye uno de los grandes poderes del Estado. Articular un sistema científico-tecnológico que posibilite el desarrollo de esta nueva modalidad de poder, así como su integración equilibrada con los poderes clásicos, es uno de los grandes problemas de los Estados contemporáneos. La tecnociencia se inserta en el núcleo duro del poder político, como antes lo había hecho con el poder militar y económico, porque es uno de los principales factores de transformación y control de las sociedades, sin perjuicio de su dominio sobre la naturaleza, que se sigue ejerciendo. Dicho de otra manera: su avance es un *bien político* y forma parte de los intereses del Estado. Por eso las políticas científico-tecnológicas suelen ser *cuestiones de Estado*. La valoración que los políticos hacen de la tecnociencia es muy distinta a la de los anteriores agentes tecnocientíficos, pero no por ello menos positiva. La evolución de las sociedades contemporáneas a lo largo del siglo XX ha mostrado que aquellos países que han impulsado la actividad tecnocientífica han adquirido un peso mucho mayor en el concierto internacional, y ello en los principales ámbitos de interés de los Estados. Por ello se opta por fomentarla y regularla jurídicamente, conforme a distintos modelos que, esos sí, suelen tener una componente ideológica y partidaria muy fuerte²⁴.

24. Para un estudio de los cambios de la política científica norteamericana en función de los cambios políticos a partir de la segunda guerra mundial, ver D. Dickson, *o.c.*,

Hasta aquí no hay dudas. En su conjunto, la tecnociencia es un bien, aunque haya preferencias por unas u otras líneas de investigación, en función de los intereses y valores respectivos. Ya hemos dicho que, aunque la desarrollen mayormente científicos y técnicos, la actividad tecnocientífica siempre está sustentada en otros agentes sociales que se integran en los sistemas de ciencia y tecnología con el fin de potenciar sus propias capacidades de acción en el mercado, la sociedad, las relaciones internacionales y los campos de batalla. Los juristas también participan en el sistema SCyT, aunque sea subsidiariamente. Simplificando mucho, podríamos decir que, para todos estos agentes tecnocientíficos, la tecnociencia propia siempre es un bien (al menos al principio) y por ello debe ser promovida y desarrollada. La noción de bien admite acepciones muy diversas, como ya hemos mencionado. Los conflictos de valores surgen porque cada agente promueve su propia concepción del bien, sin que haya ya un bien supremo al que se subordinen los diversos subsistemas de valores. En general, esos principios suelen ser resolubles mediante acuerdos y transacciones múltiples, que se van estableciendo en la propia práctica tecnocientífica. Las amenazas provienen de la tecnociencia que posee el enemigo, contrincante o competidor. Si es mejor, o bien hay que hacerla propia o bien hay que mejorarla. La competencia entre ejércitos, empresas y Estados es el motor principal de la tecnociencia. Puesto que, genéricamente hablando, la tecnociencia aumenta las capacidades de acción (empresarial, política, militar), para vencer al adversario es preciso superarle en desarrollo tecnocientífico. El principio fundamental de la tecnociencia, como vimos en el capítulo 4, es pragmático: ella es la fuente del progreso económico, político y militar. No se trata de una ley de la naturaleza, sino de un principio para la acción estratégica en un marco competitivo.

En otros términos: la tecnociencia genera poder porque incrementa las diversas capacidades de acción. Puesto que, en términos filosóficos esta vez, *incrementar las capacidades de acción es bueno*, la tecnociencia es un bien empresarial, político y militar. El bien principal no es el conocimiento

1988. En dicho libro se analizan a fondo los cambios en las líneas estratégicas y prioritarias, según gobernaran el Partido Demócrata o el Republicano. El apoyo a la tecnociencia permaneció, pero la financiación general y las de unas u otras áreas expresaba las diferencias ideológicas entre ambos partidos. Este fenómeno es común en otros países que desarrollan políticas tecnocientíficas.

to, sino la capacidad de acción. Estamos simplificando mucho, pero gracias a ello podemos contraponer el principio básico de la ciencia moderna, el conocimiento (y dominio) de la naturaleza es un bien, frente a este nuevo principio básico de la tecnociencia. La búsqueda del conocimiento físico-natural o de otra índole no ha dejado de ser un bien: la tecnociencia se apoya en la ciencia. Pero la diferencia es radical, puesto que ahora ese incremento del conocimiento, incluida la investigación básica, no es más que un medio para aumentar las capacidades de acción, en este caso políticas, militares y empresariales. Con ello llegamos a una de las conclusiones de este libro: *el conocimiento es un medio para la acción, no un fin en sí mismo*. Por esa razón, las teorizaciones filosóficas sobre los objetivos de la ciencia no valen para la tecnociencia. La filosofía de la ciencia ha de cambiar porque ha cambiado la ciencia, y en particular sus objetivos. Incluso la búsqueda interminable de la verdad, por recordar al venerable Popper, se convierte en un instrumento para aumentar la capacidad de acción. Esta es la razón por la que venimos insistiendo en que la filosofía de la ciencia ha de centrarse en la actividad científica, más que en el conocimiento. Caso de haberla, lo cual habrá que estudiar a fondo, la racionalidad de la tecnociencia es práctica. Por ello resulta imprescindible optar por unos u otros modelos de racionalidad práctica, pero no en el sentido ético de la expresión (aunque la ética también desempeña un papel importante en los estudios sobre la tecnociencia), sino en el sentido de la acción racional. Ya hemos manifestado nuestras críticas a las concepciones instrumentales de la racionalidad, que siguen vigentes en la tecnociencia (el conocimiento es un medio), así como nuestra opción por la racionalidad valorativa o axiológica. El debate al respecto será largo y esta opción por la racionalidad acotada frente a la racionalidad maximizadora de la teoría de la decisión racional es un primer paso en esa dirección.

Mas, ¿qué sucede con los otros seis subsistemas de valores, de los doce que hemos enumerado, y con sus correspondientes agentes axiológicos?

Los problemas y los conflictos ya existían entre los agentes promotores de la tecnociencia, pero a finales del siglo XX se han agudizado. Si tenemos en cuenta a los representantes de los valores sociales, ecológicos, estéticos, religiosos o morales, y mucho más a los representantes de los valores básicos, que son las personas en general, es lógico que los conflictos de valores se manifiesten con mayor frecuencia. Para estos sectores sociales, sin duda mayoritarios, es dudoso que la tecnociencia sea un

bien. En muchos aspectos es un mal, porque les transforma, a veces positivamente, pero otras veces negativamente. En cualquier caso, los seis tipos de agentes restantes están mucho más atentos a las consecuencias y a los riesgos de las acciones tecnocientíficas que a los resultados inmediatos de las mismas.

Las razones de que ello suceda no son coyunturales, sino estructurales. Veamos algunas:

6) Por lo que respecta a las sociedades, es lógico que cunda la inquietud, porque no hay que olvidar que la transformación de las sociedades es uno de los principales objetivos de la actividad tecnocientífica, a diferencia de la ciencia moderna y de la tecnología industrial. Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) son un buen ejemplo. Las TIC generan un nuevo espacio social (el espacio electrónico, o tercer entorno) en el que puede llegar a formarse y desarrollarse una nueva modalidad de sociedad, la sociedad de la información y, para algunos, de la información y del conocimiento²⁵. Las TIC están produciendo tremendos impactos sobre las sociedades, no sólo en la política, los ejércitos o las empresas. Siendo uno de los paradigmas actuales de la tecnociencia, puesto que han transformado radicalmente las propias acciones de científicos e ingenieros, las TIC muestran hasta qué punto la tecnociencia está orientada a la transformación de las sociedades, no de la naturaleza. Otro tanto cabría decir de las tecnologías publicitarias, de la farmacología, de las drogas de diseño o de las tecnociencias cognitivas (o ingenierías del conocimiento, como la robótica o la percepción artificial). Se trata de transformar las personas y las sociedades. No es de extrañar que los *transformaturi* tengan algo que decir al respecto. De este conflicto estructural surgen numerosos movimientos sociales de crítica a la tecnociencia, empezando por los estudios CTS en los que este libro se ubica. Desde un punto de vista filosófico, uno de los problemas centrales es el riesgo. En primer lugar, peligros derivados de los errores en las acciones tecnocientíficas, cuyas consecuencias pueden ser catastróficas, debido a que los artefactos tecnocientíficos controlan el funcionamiento de otras muchos sistemas y máquinas²⁶. En segundo lugar, como

choque entre la cultura tecnocientífica y otras culturas. El poder tecnocientífico está separado de la sociedad y difícilmente puede ser controlado por ella, debido a que los procedimientos de control actuales son mayoritariamente tecnocientíficos. De este conflicto surge una tensión permanente entre la libertad de investigación tecnocientífica, que tiende a ser concebida como una libertad ilimitada de acción, y el control social de la tecnociencia, para el que no existen mecanismos eficaces hoy en día, dada la alianza estratégica que las empresas tecnocientíficas han establecido con el poder político. Por ello surgen movimientos en pro de la democratización de la ciencia (Declaración de Budapest de 1999), que más bien deberían denominarse de democratización de las tecnociencias. El poder tecnocientífico se ha vinculado estrechamente con los poderes económicos, políticos y militares tradicionales. No es de extrañar que surjan movimientos de contrapoder, sobre todo por la escasa presencia que, hoy por hoy, tienen los valores sociales en la actividad tecnocientífica. No es nuestra intención abordar en este libro esas cuestiones, porque nuestra pretensión ha consistido en analizar y clarificar el concepto de tecnociencia, pero no dudamos de que éste será el principal problema estructural de la tecnociencia en las próximas décadas. La presencia de los usuarios de la tecnociencia en las instancias de evaluación, diseño y toma de decisiones es, a nuestro entender, un primer paso en este sentido.

7) Otro tanto ocurre con los valores ecológicos y los agentes axiológicos que los propugnan. Aunque una de las principales diferencias entre la ciencia y la tecnociencia estriba en la voluntad de intervención de esta última en las sociedades (voluntad de poder, podría decirse en términos nietzscheanos), ello no obsta para que la tecnociencia mantenga los objetivos clásicos de la ciencia y las tecnologías modernas. Al respecto, las biotecnologías son el ejemplo canónico (alimentos transgénicos, ingeniería genética, clonación, reproducción artificial). Mas no hay que olvidar los efectos devastadores de algunas acciones tecnocientíficas sobre el medio-ambiente en su conjunto (residuos nucleares, accidentes tipo Chernobil, amenaza de guerra atómica, efecto invernadero, etc.). Las acciones de numerosas ONG (como Greenpace), cumbres como la de Río (1992) o la reciente en Sudáfrica (2002) y, sobre todo, innumerables *pequeñas acciones* en defensa del medioambiente, han de ser consideradas también como *acciones tecnocientíficas*, aunque las lleven a cabo agentes

25. Para un desarrollo más amplio de esta tesis, ver Echeverría, 1999, *o.c.*

26. Al respecto es recomendable la lectura de la obra de José Luis Luján y José Antonio López Cerezo, *Ciencia y Política del Riesgo*, Madrid, Alianza, 2000.

situados en la periferia del sistema SCyT que defienden unos valores que todavía no están en el núcleo axiológico de la tecnociencia.

8) Los valores estéticos y los agentes sociales que los promueven (artistas, arquitectos, cineastas, modelos, cantantes, músicos, algunos deportistas, diseñadores de videojuegos y páginas *Web*, etc.) sí que se están insertando rápidamente en la actividad tecnocientífica. Cabe hablar de *tecno-arte* en este caso, como es una de sus denominaciones habituales, sin olvidar la componente científica que tienen los nuevos instrumentos y formatos artísticos. Algunos creadores de ciencia ficción, procedentes de los movimientos contra-culturales de los años 70, han tenido una función anticipatoria muy importante. Desde un punto de vista estético, imágenes cinematográficas como las de *Hal*, *Blade Runner*, *Robocop*, *Terminator* o *Matrix*, por citar algunas de las más célebres, han reflejado perfectamente algunos de los aspectos de la tecnociencia, precisamente los más preocupantes. Habría que escribir asimismo la historia artística de la tecnociencia a lo largo del siglo XX, pero no teniendo conocimientos ni competencia para ello, nos limitamos a apuntar esta posibilidad, que, para sorpresa de algunos, pasaría a formar parte de los estudios sobre la tecnociencia, en este caso estudios artísticos. Toda la especulación sobre los *cyborgs*, promovida a veces por artistas de vanguardia, es un excelente ejemplo de la presencia de los valores estéticos en la actividad tecnocientífica. En algunos casos dicha presencia es periférica, en otros no. Hay ramas de la tecnociencia, por ejemplo la visualización científica, o los videojuegos, donde los valores estéticos forman parte del núcleo axiológico, siempre junto con otros tipos de valores: tecnológicos, económicos, socio-culturales, científicos e incluso militares (o más bien guerreros), al menos si se tiene en cuenta la fuerte carga de violencia de la mayoría de esas tecno-imágenes.

9) Por lo general, los valores religiosos chocan fuertemente con la tecnociencia, sobre todo en aquellos países en donde no se ha producido la separación entre el poder religioso y el poder del Estado, o en aquellas culturas en donde el poder dominante sigue siendo el religioso, como es frecuente en muchas zonas del Tercer Mundo. Los detentadores del poder religioso, sobre todo si lo detentan absolutamente, ven en la tecnociencia un enemigo a combatir, si no el diablo o la encarnación del mal que sus respectivas mitologías hayan producido. Por ello, lejos de integrarse en la alianza científico-tecnológica-político-militar-empresarial que

está en el origen de la tecnociencia, los poderes religiosos tienden a combatirla, o cuando menos desconfían profundamente de ella. Tienen buenas razones para ello, puesto que ya hemos dicho que la tecnociencia surge para transformar las sociedades y la religión es una componente básica de casi todas las estructuras sociales. Esos conflictos son menores en los países donde existen Estados aconfesionales, y sobre todo en aquellos donde la actividad religiosa se desarrolla fundamentalmente en ámbitos privados o íntimos, pero existen. El poder tecnocientífico es un peligroso adversario para el poder religioso, como antaño lo fueron los científicos ilustrados. El análisis de este tipo de conflictos permitiría afinar mucho más estos rápidos comentarios que aquí estamos haciendo.

10) Llegamos a la ética, o filosofía moral. Podrá parecer decepcionante, pero diremos pocas cosas al respecto, puesto que, como ya hemos dicho, la axiología abarca un campo mucho más amplio que la ética. Por lo que respecta a la presencia de los valores morales en la actividad tecnocientífica, sí que se produce, pero de ningún modo en el núcleo axiológico, salvo casos excepcionales. Por lo general, las valoraciones éticas de la tecnociencia son secundarias, o si se quiere subsidiarias. Es cierto que se plantean problemas de conciencia muy graves en algunos científicos (el movimiento Punjab que se opuso a las bombas atómicas es un buen ejemplo) y que, como en cualquier actividad humana, las cuestiones éticas surgen continuamente (honestidad, amistad, enemistad, dignidad, deber, etc.). Pero los tecnocientíficos suelen arreglarse con deontologías específicas, siguiendo el ejemplo de Hipócrates y la profesión médica. Hay excepciones, claro está: la bioética es una de ellas, como se manifiesta en el hecho de que se hayan creado Comisiones de Bioética en los hospitales de los países tecnocientíficamente desarrollados, o también en la existencia de Comités y Fundaciones de Bioética e Infoética. Pero cuando hablamos del proyecto Genoma y del proyecto ELSI asociado a él, la ponderación presupuestaria que se asignó a los aspectos éticos, legales y sociales del Proyecto Genoma sólo fue de un 5%. Ello da una idea clara del escaso peso relativo que estas cuestiones tienen a la hora de investigar las consecuencias de los grandes proyectos tecnocientíficos de investigación desde una perspectiva moral. La tecnomedicina es una de las modalidades de tecnociencia donde la ética aplicada puede llegar a tener una presencia nuclear, pero incluso en este caso priman los valores tecnológicos, científicos y económicos sobre los propiamente morales.

De nuevo estamos ante un tema que merecería un estudio más a fondo, que aquí no podemos acometer.

II) Para terminar, hablaremos brevemente de los valores básicos y de los conflictos que generan en la tecnociencia. Este es otro de los problemas centrales, aunque aquí le dedicaremos una atención muy sumaria.

Dicho brevemente, lo que se juega es la tecnificación de las personas, no sólo de su modo de vida, porque esto ya ha ocurrido. La salud y el placer cada vez están más mediatizados tecnológicamente, por no hablar del entretenimiento, la alegría, el dolor o los sentimientos, que tienen su mejor campo de expresión y desarrollo en la televisión, la publicidad, los teléfonos, los videojuegos e Internet. La convergencia entre diversas tecnologías, como las que acabamos de mencionar, implica la emergencia de un nuevo espacio social, cuyo funcionamiento y desarrollo está estrictamente mediatizado por dichas tecnociencias. Aparte de las sociedades agrarias y las grandes metrópolis y Estados industriales, las tecnociencias de la información y las comunicaciones posibilitan la aparición de una nueva modalidad de persona, la *e*-persona o persona electrónica, entendiendo el término «persona» en su sentido etimológico de máscara. La sociedad de la información y el conocimiento implica una transformación radical del ser humano, Además de la identidad física y ciudadana, las personas están adquiriendo una tercera identidad, la identidad electrónica. Tecnocientíficamente marcados por los chips y los códigos de acceso, el poder transformador de la tecnociencia está llegando a las componentes últimas de las sociedades. También en este caso, los valores predominantes son los que componen el núcleo axiológico de la tecnociencia, y en primer lugar los valores tecnológicos y económicos, por no hablar de los valores militares, que campan a sus anchas por buena parte del espacio electrónico. En el nuevo espacio social no hay un poder político constituido. Por ello lo consideramos como el espacio tecnocientífico por antonomasia. Al no haber *pólis*, no hay ciudadanos, únicamente clientes, usuarios y consumidores.

A nuestro modo de ver, ello supone una tercera fase de la revolución tecnocientífica del siglo XX. Su evolución marcará la principal transformación social del siglo XXI.

Bibliografía

Nota: Cuando hay edición en español sólo se indica ésta.

- AGAZZI, E. (1996), *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas en la empresa científico-tecnológica*, Madrid, Tecnos.
- . (1998), *La technoscience et l'identité de l'homme contemporain*, Friburgo, Ed. Universitaires Fribourg, Suisse.
- ÁLVAREZ, J.F. (2001), «Capacidades potenciales y valores en la tecnología: elementos para una axionomía de la tecnología», en López Cerezo y Sánchez Ron (eds.) (2001), 231-242.
- ÁLVAREZ, J.R. (2001), «La ciencia y los valores: la interpretación de la actividad científica», en M.I. Lafuente (ed.) (2002), 17-33.
- ANSCOMBE, G.E.N. (1997), *Intención*, Madrid, Tecnos.
- ARACIL, J. (1986), *Máquinas, sistemas y modelos*, Madrid, Tecnos.
- AYER, A.J. (1950), *Lenguaje, verdad y lógica*, México, FCE.
- BARNES, S.B. (1982), *T.S. Kuhn and Social Sciences*. London. MacMillan.
- BARNES, B. (1980), *Estudios sobre sociología de la ciencia*, Madrid, Alianza.
- . (1987), *Sobre la ciencia*, Barcelona, Labor.
- . y EDGE, D. (eds.) (1982), *Science in Context*. London-Cambridge. The Open Uni. Press-MIT Press.
- BARRET, W. (1978), *The Illusion of Technique*, New York, Anchor.
- BAYERTZ, K. (1981), *Wissenschaftstheorie und Paradigmbegriff*, Stuttgart, Metzler.
- BIJKER, W.E., HUGHES, T.P. y PINCH, T. (1987), *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, MIT Press.
- BLOOR, D. (1976), *Knowledge and Social Imagery*, London & Boston, Routledge & Kegan Paul.
- BRETON, P. (1989), *Historia y crítica de la informática*, Madrid, Cátedra.
- BRONCANO, F. (ed.) (1995), *Nuevas meditaciones sobre la técnica*, Madrid, Trotta.
- . (2000), *Mundos artificiales*, México, Paidós.
- BUCHWALD, J.Z. (1995) (ed.), *Scientific Practice*, University of Chicago Press.

- BUNGE, M. (1974s.), *Treatise of Basic Philosophy*. Dordrecht, Hol. Reidel.
- . (1988), *Ética y ciencia*, Buenos Aires, Siglo XX.
- BUSH, V. (1945), *Science: the Endless Frontier*, Washington, United States Government Printing.
- CALLEBAUT, W. (1993), *Taking the Naturalistic Turn or How Real Philosophy of Science is Done*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- CARTWRIGHT, N. (1983), *How the Laws of Physics Lie*, Oxford, Clarendon Press.
- CASTELLS, M. (1996-98), *La Era de la Información*, Madrid, Alianza, 3 vols.
- CLARK, A. y TORIBIO, J. (1994), «Doing without representing», *Synthese* 101, 401-431.
- COLLINS, H.M. y PINCH, T. (1982), *Frames of Meaning: The Social Construction of Extraordinary Science*, Londres, Routledge and Kegan Paul.
- DAVIES, K. (2001), *La conquista del genoma humano*, Barcelona, Paidós.
- DENNIS, M. (1990), *A Change of State: the Political Cultures of Technical Practice at the MIT Instrumentation Laboratory and the John Hopkins University*, tesis doctoral en la John Hopkins Univ.
- DICKSON, D. (1988), *The New Politics of Science*, Univ. of Chicago Press.
- DOSI, G. (1982), «Technological Paradigms and Technological Trajectories», *Research Policy* 11, 147-162.
- . *et alia* (1988), *Technical Change and Economic Theory*, Londres, Pinter.
- DULBECCO, R. (1986), «A Turning Point in Cancer Research: Sequencing the Human Genome», *Nature* 231, 1055-1056.
- ECHEVERRÍA, J. (1995a), *Filosofía de la ciencia*, Madrid, Akal.
- . (1995b), «El pluralismo axiológico de la ciencia», *Isegoría* 12, 44-79.
- . (1998a): «Teletecnologías, espacios de interacción y valores», *Teorema* II:5.
- . (1998b), «Ciencia y valores: propuestas para una axiología de la ciencia», en Pascual F. Martínez Freire (ed.), *Filosofía actual de la ciencia, Contrastes*, Málaga, Universidad de Málaga, 175-194.
- . (1999a), *Introducción a la metodología de la ciencia. La filosofía de la ciencia en el siglo XX*, Barcelona, Cátedra.
- . (1999b), *Los Señores del Aire. Telépolis y el Tercer Entorno*, Barcelona, Destino.
- . (2001), «Tecnociencia y sistemas de valores», en López Cerezo y Sánchez Ron (eds.) (2001), 221-230.
- . (2002), *Ciencia y valores*, Barcelona, Destino.
- EDGE, D.O. y MULKAY, M. (1976), *Astronomy Transformed*, New York, Wiley.
- ELENA, A., ORDÓÑEZ, J. y COLUBI, M. (eds.) (1988), *Después de Newton: ciencia y sociedad durante la Primera Revolución Industrial*, Barcelona, Anthropos.
- FEYERABEND, P.K. (1981), *Tratado contra el método*, Madrid, Tecnos.
- . (1982), *La ciencia en una sociedad libre*, Madrid, Siglo XXI.
- FRAASSEN, B. VAN (1980), *The Scientific Image*, Oxford, Clarendon Press.
- . (1987), «The semantic approach to scientific theories», en N.J. Nersessian (ed.), *The Process of Science*, Reidel, Kluwer.
- FRANKLIN, A. (1986), *The Neglect of Experiment*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- GALISON, P. (1992), «The Many Faces of Big Science», en P. Galison y B. Hevly 1992, 1-19.
- . (1987), *How Experiments End*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- . y HEVLY, B. (eds.) (1992), *Big Science: the Growth of Large-Scale Research*, Stanford, Stanford Univ. Press.
- GARFINKEL, H. y SACKS, H. (1970), «On Formal Structures of Practical Actions», en J.C. Mckinney y E.R. Tiryakina (eds.), *Theoretical Sociology, Perspectives and Developments*, New York, Applton-Century Crofts, pp. 337-366.
- GIERE, R.N. (1988), *Explaining Science. A cognitive Approach*, Chicago, University of Chicago Press.
- . (1989), «Scientific rationality as Instrumental Rationality». *Studies of History and Philosophy of Science* 20.
- GONZÁLEZ, W.J. (ed.) (1996), *Acción e Historia*, Universidade da Coruña.
- . (ed.) (1998), *El pensamiento de Larry Laudan. Relaciones entre historia de la ciencia y filosofía de la ciencia*, Universidade da Coruña.
- GONZÁLEZ GARCÍA, M.I., LÓPEZ CEREZO, J.A. y LUJÁN LÓPEZ, J.L. (1996), *Ciencia, tecnología y sociedad. Una introducción al estudio social de la ciencia y la tecnología*, Madrid, Tecnos, 1996.
- . (eds.) (1997), *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Barcelona, Ariel.
- GREENBERG, D.S. (2001), *Science, Money and Politics*, Chicago, Univ. of Chicago Press.
- GREENE, J.C. (1984), *American Science in the Age of Jefferson*, Iowa, Iowa State University Press.
- GROS, F., JACOB, F. y ROYER, P. (1979), *Sciences de la vie et société*, Paris, Seuil.
- GUTTING, G. (ed.) (1980), *Paradigms and Revolutions: Appraisals and Applications of Thomas Kuhn's Philosophy of Science*. Notre Dame, Ind., Univ. of Notre Dame Press.
- HABERMAS, J. (1984), *Ciencia y técnica como ideología*, Madrid, Tecnos.
- HACKING, I. (1996), *Representar e intervenir*, México, Paidós.
- HERFEL, W.E., KRAJEWSKI, I., NIINILUOTO, I. y WOJCICKI, R. (eds.) (1995), *Theo-*

- ries and Models in Scientific Processes, Poznan Studies in the Philosophy of The Sciences and the Humanities, vol. 44, Amsterdam, Rodopi.
- HESSE, M.B. (1980), *Revolutions and Reconstructions in the Philosophy of Science*. Brighton. Harvester Press.
- HEVLY, B. (2002), «Reflections on Big Science and Big History», en P. Galison y B. Hevly 1992, 355-366.
- HODDESON, L. (1992), «Mission Change in the Large Laboratory: The Los Alamos Implosion Program 1943-1945», en P. Galison y B. Hevly 1992, 265-289.
- HOTTOIS, G. (1991), *El paradigma bioético. Una ética para la tecnociencia*, Barcelona, Anthropos.
- HOUNSHELL, D.A. (1992), «Du Pont and the Management of Large-Scale Research and Development», en P. Galison y B. Hevly 1992, 236-263.
- . y SMITH, J.K., Jr. (1988), *Science and Corporate Strategy*, New York, Cambridge Univ. Press.
- IBARRA, A. y MORMANN, T. (1997), *Representaciones en la ciencia*, Barcelona, Ed. del Bronce.
- IBARRA, A. y LÓPEZ CEREZO, J.A. (eds.) (2001), *Desafíos y tensiones en Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Madrid, Biblioteca Nueva-OEI.
- IRANZO, J.M. et al. (eds.) (1995), *Sociología de la ciencia y la tecnología. Nuevas tendencias*, Madrid, CSIC.
- KAPUR, D. y MUNDY, J.L. (1989), *Geometric Reasoning*, Cambridge, MIT Press.
- KAY, L.E. (2000), «A Book of Life?», en Sloan 2000, 99-124.
- KITCHER, P. (1993): *The Advancement of Science*. Oxford, Oxford Univ. Press.
- KNORR-CETINA, K.D. (1981), *The Manufacture of Knowledge: An Essay on the Constructivist and Contextual Nature of Science*. Oxford, Pergamon.
- . y MULKAY, M.J. (eds.). (1982), *Science Observed*. Beverly Hills. Sage.
- KUHN, T.S. (1975), *La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE.
- . (1978b), *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Madrid, Tecnos.
- . (1982), *La tensión esencial*, México, FCE.
- . (1989), *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*. Barcelona, Paidós.
- LADRIERE, J. (1977), *Les enjeux de la rationalité*, Paris, Aubier-UNESCO.
- LAFUENTE, M.I. (ed.) (2001), *Los valores de la ciencia y la cultura*, León, Universidad de León.
- LATOUR, B. (1992), *Ciencia en Acción*, Barcelona, Labor.
- . y WOOLGAR, S. (1995), *La vida en el laboratorio. La construcción de los hechos científicos*, Madrid, Alianza.
- LAUDAN, L. (1984), *Science and Values*, Berkeley, Univ. of California Press.
- LAUDAN, L. (1986), *El progreso y sus problemas*, Madrid, Encuentro.
- . (1993), *La Ciencia y el Relativismo*, Madrid, Alianza.
- LENOIR, T. y HAYS, M. (2000), «The Manhattan Project for Biomedicine», en Sloan 2000, 29-62.
- LEVI LEBLOND, J.M. y JAUBERT, A. (eds.) (1980), *(Auto)crítica de la ciencia*, México, Nueva Imagen.
- LONGINO, H.E. (1990), *Science as Social Knowledge. Values and Objectivity in Scientific Inquiry*, Princeton, Princeton Univ. Press.
- LÓPEZ CEREZO, J.A. y SÁNCHEZ RON, J.M. (eds.) (2001), *Ciencia, Tecnología, Sociedad y Cultura*, Madrid, Biblioteca Nueva-OEI.
- LUJÁN, J.L. y LÓPEZ CEREZO, (2000), *Ciencia y política del riesgo*, Madrid, Alianza.
- LUJÁN, J.L. y MORENO, L. (1996), «El cambio tecnológico en las ciencias sociales: el estado de la cuestión», *Revista Española de Investigaciones Sociológicas* 74, 127-161.
- LYNCH, M. (1985), *Art and Artifact in Laboratory Science*, Londres, Routledge & Kegan Paul.
- . y WOOLGAR, S. (eds.) (1990), *Representation in Scientific Practice*, Cambridge, Mass., MIT Press.
- MARTÍNEZ, S.F. y OLIVÉ, L. (comp.) (1997), *Epistemología evolucionista*, México, Paidós.
- MARTÍNEZ, S.F. y REQUENA, A. (1986), *Dinámica de sistemas*, Madrid, Alianza, 2 vols.
- MEDINA, M. y SANMARTÍN, J. (1990), *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, Barcelona, Anthropos.
- MERTON, R.K. (1977), *La sociología de la ciencia*, Madrid, Alianza.
- MINSKY, M. y otros (1986), *Robótica: la última frontera de la alta tecnología*, Barcelona, Planeta.
- MITCHAM, C. (1989), *¿Qué es la filosofía de la tecnología?*, Barcelona, Anthropos.
- MOULINES, U. y DIEZ CALZADA, J.A. (1997), *Fundamentos de Filosofía de la Ciencia*, Barcelona, Ariel.
- MOYA, E. (1998), *Crítica de la razón tecnocientífica*, Madrid, Biblioteca Nueva.
- MUKERJI, S. (1989), *A Fragile Power. Scientists and the State*, Princeton, Princeton Univ. Press.
- MULKAY, M.J. (1980), *Science and the Sociology of Knowledge*. London, Allen & Unwin.
- MUNEVAR, G. (ed.) (1996), *Spanish Studies on Philosophy of Science*, Dordrecht, Kluwer.
- NAGEL, E. (1968), *La estructura de la ciencia*, Buenos Aires, Paidós.

- NELSON, R. y WINTER, S. (1977), «In search of a useful theory of innovation», *Research Policy* 6, 36-76.
- NEWTON-SMITH, W.H. (1987), *La racionalidad de la ciencia*, Barcelona, Paidós.
- NIELSON, G.M. y SHRIVER, B., (eds.) (1990), *Visualization in Scientific Computing*, Los Alamitos, Cal., IEEE Computer Society Press.
- NOBLE, D.F. (1999), *La religión de la tecnociencia*, Barcelona, Paidós.
- OLAZARAN, M. (1994), «De la sociología de la ciencia a la sociología de la tecnología: un horizonte abierto», en J. M. Iranzo y otros 1994, 319-339.
- OLIVÉ, L. (1988), *Conocimiento, Sociedad y Realidad*. México, FCE.
- . (2000), *El bien, el mal y la razón*, México, Paidós.
- ORDÓÑEZ, J. (2001), *Ciencia, tecnología e historia: relaciones y diferencias*, México, FCE-Planeta, 2003.
- PANOFKY, W.R.H. (1992), «SLAC and Big Science», en P. Galison y B. Hevly 1992, 129-148.
- PÉREZ RANSANZ, A.R. (1999), *Kuhn y el cambio científico*, México, FCE.
- PESTRE, D. y KRIGE, J. (1992), «Some Thoughts on the Early History of CERN», en P. Galison y B. Hevly 1992, 78-99.
- PFLUG, R. y HARBAUGH, J.W. (1992), *Computer Graphics in Geology*, Berlin, Springer.
- PICKERING, A. (ed.) (1992), *Science as Practice and Culture*, Chicago and London, University of Chicago Press.
- . (1995), *The Mangle of Practice*, University of Chicago Press.
- POPPER, K.R. (1962), *La lógica de la investigación científica*, Madrid, Tecnos.
- . (1965), *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y Refutaciones*, Buenos Aires, Paidós.
- . (1974), *Conocimiento objetivo*, Madrid, Tecnos.
- . (1985), *Realismo y el objetivo de la ciencia*, Madrid, Tecnos.
- . (1997), *El mito del marco común*, Barcelona, Paidós.
- PROCTOR, R.N. (1991), *Value-Free Science?*, Cambridge Univ. Press.
- PUTNAM, H. (1988), *Las mil caras del realismo*, Madrid, Paidós.
- . (1988), *Razón, verdad e historia*, Madrid, Tecnos.
- QUINTANILLA, M.A. (1981), *A favor de la razón*. Madrid, Taurus.
- . (1989), *Tecnología. Un Enfoque Filosófico*. Madrid, Fundesco.
- RAPP, F. (1981), *Filosofía analítica de la ciencia*, Buenos Aires, Alfa.
- RESCHER, N. (1993), *La racionalidad*, Madrid, Tecnos.
- . (1993), *A System of Pragmatic Idealism. Vol. II: The Validity of Values*, Princeton, Princeton Univ. Press.
- RESCHER, N. (1999), *Razones y Valores en la Era científico-tecnológica*, Barcelona, Paidós.
- RESNIK, D.R. (1993), «Do Scientific Aims Justify Methodological Rules?», *Erkenntnis* 38, 223-232.
- ROSE, H. y ROSE, S. (eds.) (1980), *La radicalización de la ciencia*, México, Nueva Imagen.
- ROUSE, J. (1987), *Knowledge and Power. Toward a Political Philosophy of Science*, Ithaca & London, Cornell Univ. Press.
- . (1996), *Engaging Science. How to Understand its Practices Philosophically*, Ithaca and London, Cornell.
- RUSSELL, B. (1965), *Ética y ciencia*, México, FCE.
- SÁEZ VACAS, F. (2000), *Meditación de la infotecnología*, Madrid, Iberoamericana.
- SÁNCHEZ RON, J.M. (1992), *El poder de la ciencia*, Madrid, Alianza.
- . (1998), *Falsos mitos: ciencia versus tecnología*, Madrid, Fundación Repsol.
- SANMARTÍN, J. (1987), *Los nuevos redentores*, Barcelona, Anthropos.
- . et al. (eds.) (1992), *Estudios sobre sociedad y tecnología*, Barcelona, Anthropos.
- SCHRAGER, J. y LANGLEY, P. (1990): «Computational Approaches to Scientific Discovery», en J. Shrager y P. Langley (eds.), *Computational Models of Scientific Discovery and Theory Formation*, San Mateo, Cal., Morgan Kaufmann Publ.
- SEIDEL, R. (1992), «The Origins of the Lawrence Berkeley Laboratory», en P. Galison y B. Hevly 1992, 21-45.
- SEN, A. (1997), *Bienestar, justicia y mercado*, Barcelona, Paidós.
- SHRADER-FRECHETTE, K. (1991), *Risk and Rationality*, Berkeley, Univ. of California Press.
- SIMON, H.A. (1982), *Models of Bounded Rationality*, Cambridge, MIT Press.
- SLOAN, P.R. (ed.) (2000), *Controlling Our Destinies: Historical, Philosophical, Ethical and Theological Perspectives on the Human Genome Project*, Notre Dame, Univ. of Notre Dame Press.
- SMITH, B.L.R. (1990), *American Science Policy since World War II*, Washington, The Brookings Institution.
- SMITH, R.W. (1989), *The Space Telescope: A Study of NASA Science, technology and Politics*, New York, Cambridge Univ. Press.
- . (1992), «The Biggest Kind of Big Science: Astronomers and the Space Telescope», en P. Galison y B. Hevly 1992, 184-211.
- SOKAL, A. (1996), «Transgressing the Boundaries: Toward a Transformative Hermeneutics of Quantum Gravity», *Social Text*, abril.

SOKAL, A. y BRICMONT, J. (1997), *Impostures intellectuelles*, París, Jakob.

SOLÍS, C. (1994), *Razones e intereses. La historia de la ciencia después de Kuhn*, Barcelona, Paidós.

—. (1998) (ed.), *Alta tensión. Filosofía, sociología e historia de la ciencia*, Barcelona, Paidós

SOLLA PRICE, D. DELLA (1973), *Hacia una ciencia de la ciencia*, Barcelona, Ariel.

STEGMUELLER, W. (1981), *La concepción estructuralista de las teorías*, Madrid, Alianza.

STORK, H. (1977), *Einführung in die Philosophie der Technik*, Darmstadt, —

SUPPE, F. (1979), *La estructura de las teorías científicas*, Madrid, Editorial Nacional. Reed. en Madrid, Tecnos 1994.

THAGARD, P. (1992), *Conceptual Revolutions*, Princeton, N.J., Princeton University Press.

WALLACE, W.A. (ed.) (1994), *Ethics in Modelling*, Oxford, Pergamon.

WATSON, J.D. y CRICK, F.H. (1953), «A Structure for Desoxyribose Nucleic Acid», *Nature*, 171, 737-738.

WEINBERG, A. (1961), «Impact of large-scale science on the United States», *Science*, 134.

—. (2001), *Facing UP. Science and its Cultural Adversaries*, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press.

WOOLGAR, S. (1991), *Ciencia: abriendo la caja negra*, Barcelona, Anthropos.

World Inventory of 'Big Science' Research Instruments and Facilities, Washington, Library of Congress, 1986.

ZIMAN, J. (1981), *La credibilidad de la ciencia*, Madrid, Alianza.

—. (2000), *Real Science*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.

Índice

Prólogo	9
---------------	---

I.

CIENCIAS, MACROCIENCIAS Y TECNOCIENCIAS

1. Microciencia y macrociencia	19
2. El origen de la macrociencia	24
3. Macrociencia y tecnociencia	29
a) Financiación gubernamental, 29. b) Integración de científicos y tecnólogos, 30. c) Contrato social de la ciencia, 31. d) Macrociencia industrializada, 32. e) Macrociencia militarizada, 33. f) La política científica, 33. g) La agencia macrocientífica, 34.	
4. Los objetivos de la macrociencia	36
5. El concepto de tecnociencia	40
6. Precisiones metodológicas	46
7. Caracterización de la técnica y la tecnología	49

2.

CARACTERIZACIÓN DE LA TECNOCIENCIA

1. Rasgos distintivos entre ciencia y tecnociencia	61
a) Financiación privada de la investigación, 62. b) Mediación mutua entre ciencia y tecnología, 66. c) Empresas tecnocientíficas, 67. d) Redes de investigación, 70. e) Tecnociencia militar, 72. f) El nuevo contrato social de la tecnociencia, 77. g) Pluralidad de agentes tecnocientíficos, 82.	
2. Diferencias adicionales entre ciencia y tecnociencia	83
b) Tecnociencia y medio ambiente, 84. i) Tecnociencia y sociedad, 87. j) Tecnociencia y política internacional, 91. k) La gestión de la tecnociencia, 94. l) Tecnociencia y derecho, 97. m) Tecnociencia y valores, 98. n) Tecnociencia e informática, 100. o) Tecnociencia y sociedad de la información y el conocimiento, 104	
3. Pluralidad de tecnociencias	106
a) Tecnomatemáticas, 107. b) Tecnoastronomía, 112. c) Tecnofísica, 119.	

d) Tecnoquímica, 125. e) Tecnomedicina, 129. f) Tecnobiología, 133. g) Tecno-geología, 144. h) Tecnociencias sociales, 145.

3.

LAS REVOLUCIONES TECNOCIENTÍFICAS

1. La concepción kuhniana de revolución científica	149
2. Los paradigmas científicos, según Kuhn	154
3. Componentes de los paradigmas	158
4. Los paradigmas tecnocientíficos	166
5. De las revoluciones científicas a las tecnocientíficas	170
6. De la inconmensurabilidad entre teorías a la incompatibilidad entre sistemas tecnocientíficos	172
7. De las controversias científicas a las contiendas tecnocientíficas	175

4.

SISTEMAS Y ACCIONES TECNOCIENTÍFICAS

1. Estructura de la práctica tecnocientífica	183
2. La emergencia de la política científica	185
3. El informe Bush	188
4. Nuevos agentes tecnocientíficos	197
5. El modelo lineal de Bush como teoría de la ciencia	206
6. Pluralidad de agentes tecnocientíficos	217
7. Las acciones tecnocientíficas	219
8. Tecnociencia y culturas	226

5.

AXIOLOGÍA DE LA TECNOCIENCIA

1. Tecnociencia y valores	229
2. Tipos de valores	237
3. Aplicación de las matrices de evaluación a la práctica tecnocientífica	246
4. Tecnociencia y poder	260
Bibliografía	273

*Se terminó de imprimir este libro,
LA REVOLUCIÓN TECNOCIENTÍFICA,
el día 28 de mayo de 2003
en los talleres de Gráficas ORMAG,
Avda. Valdelaparra, 35.
28108 Alcobendas (Madrid)*