Panorama general de la ciencia moderna

Peter J. Bowler e Iwan Rhys Morus

Crítica

Panorama general de la ciencia moderna

Drakontos

Director:

José Manuel Sánchez Ron

Panorama general de la ciencia moderna

Peter J. Bowler
e Iwan Rhys Morus

Traducción castellana de
Joan Soler

CRÍTICA
Barcelona

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Título original:
Making Modern Science. A Historical Survey
The University of Chicago Press

Diseño de la cubierta: Jaime Fernández
Ilustración de la cubierta: © Getty Images / Hulton
Realización: Ātona, S. L.

Licensed by The University of Chicago Press, Chicago, Illinois, U.S.A.
© 2005 by The University of Chicago.
All rights reserved © Peter J. Bowler and Iwan R. Morus, 2005
© 2007 de la traducción castellana para España y América:
CRÍTICA, S. L., Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona
e-mail: editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es
ISBN: 84-8432-862-9
Depósito legal: M. 4530-2007
Impreso en España
2007. — BROSMAC, S. L., Polígono Industrial 1, Calle C, Móstoles (Madrid)

Prefacio

Esta obra surgió de nuestro afán por buscar un libro de texto que sirviera de complemento a las clases de historia de la ciencia recién implantadas para los universitarios de primer curso. Pronto nos dimos cuenta de que este tipo de libros no existía y tuvimos la impresión de no ser ni mucho menos los únicos profesores que pedíamos a gritos su publicación. Al tiempo, reparamos en que, debido a la falta de un libro apropiado, el gran público no disponía de una introducción fiable a la disciplina. Este libro pretende llenar ese hueco. Creemos asimismo que nos hallamos en una situación ideal para proporcionar una visión de conjunto que sea de utilidad a otros docentes y de interés para los lectores (incluidos los científicos) que deseen iniciarse en el funcionamiento de este campo. Los dos autores somos historiadores con experiencia, y nuestros intereses, complementarios, nos permiten procurar una visión general de las ciencias físicas, de la vida y de la tierra. Sin desmerecer de lo anterior, tenemos también experiencia como profesores y escritores, de modo que la piedra de toque de los primeros borradores de muchos de los capítulos fue su divulgación entre nuestros alumnos a lo largo de dos cursos académicos. Gracias a las respuestas recibidas, pudimos asegurarnos de que lo que hemos escrito es accesible a este tipo de estudiante y —al menos eso esperamos— al gran público.

Aunque la obra tiene su origen en la búsqueda de un libro de texto, hemos evitado la tentación de excedernos en nuestro recorrido y

convertirlo en un manual convencional, con el aparato didáctico añadido convencionalmente. Y es que, en efecto, queremos que el libro contribuya al objetivo adicional de proporcionar una visión de conjunto que sea atractiva para un público general. Los intereses de los estudiantes y del lector común pueden ser considerablemente distintos. Como explicamos más adelante, los profesores rara vez utilizarán la totalidad de este libro para impartir sus cursos de historia de la ciencia: seleccionarán los capítulos que guarden relación con su modo de dar las clases. De ahí que, en cierta medida, los capítulos hayan de ser autónomos, pues los alumnos no los leerán forzosamente de manera consecutiva. Pero el gran público quizá preferiría algo más parecido a una narración histórica convencional, con lo que esto le desconcertaría un poco. Al mismo tiempo, puede incluso que algunos lectores en el sentido amplio prefieran ir asimilando el libro poco a poco, empezando por sus áreas de interés, más que leerlo de cabo a rabo. Los que busquen un relato más coherente deberían recordar que la historia de la ciencia es una disciplina compleja y a menudo controvertida, por lo que cualquier introducción que haga justicia al conjunto tendrá necesariamente que presentar un amplio abanico de temas y cuestiones.

Un problema importante que afronta todo aquel que planifica un estudio en forma de libro de texto es la amplísima variedad de enfoques que pueden emplearse para enseñar historia de la ciencia, según cuáles sean los intereses de cada uno de los profesores y los diversos niveles educativos de los estudiantes (unos vendrán de ciencias, pero otros sabrán poco o nada de la disciplina). Nosotros hemos adoptado dos estrategias, lo cual se refleja en este libro. Uno de nuestros cursos se centra en hechos concretos de la historia de la ciencia, mientras que en el otro se examinan temas de carácter más amplio que pueden estar relacionados con varias ciencias y diversos períodos históricos. Al escribir capítulos utilizando los dos formatos, creemos que hemos creado un texto que puede usarse por profesores que adopten una gran variedad de estrategias pedagógicas. Evidentemente, ningún texto puede aspirar a abarcar todas las áreas del desarrollo de la ciencia moderna a partir de la revolución copernicana, pero esperamos que el conjunto de temas que hemos escogido resulte atractivo

para un gran número tanto de profesores como de lectores en general. Se incluyen cuestiones que han sido habituales para los historiadores de la ciencia durante una generación o más, y otras que reflejan tendencias e intereses nuevos.

El libro se divide en dos partes: hechos y temas. Se han proporcionado remisiones para poder así indicar a los estudiantes lecturas claramente definidas aunque ello conlleve referencias a capítulos de ambas secciones. Así pues, varios de los capítulos episódicos plantearán cuestiones relativas a la interacción de ciencia y religión, de tal modo que en momentos pertinentes de estos capítulos se dirigirá a los alumnos al adecuado capítulo temático para proponerles textos adicionales. Si el profesor prefiere dar las clases basándose en los temas, los capítulos temáticos serán la lectura principal, y nuevamente habrá remisiones que llevarán a los estudiantes a los episodios apropiados para que adquieran más información sobre los ejemplos utilizados. Las remisiones también ayudarán a los lectores en un sentido amplio a ensamblar el material para disponer de una perspectiva general exhaustiva de la historia de la ciencia. Cada capítulo incluye una lista de referencias para que todo aquel que desee profundizar en el tema cuente con sugerencias sobre materiales más especializados.

— 1 —

Introducción: Ciencia, sociedad e historia

Si le decimos a alguien que estamos leyendo sobre historia de la ciencia, su primera reacción seguramente será: «¿Y eso qué es?». Por instinto, asociamos la ciencia al mundo moderno, no al pasado. Pero si lo pensamos un momento, la paradoja queda resuelta: como cualquier actividad humana, la ciencia tiene una historia, y la mayoría de las personas pueden recordar al menos unos cuantos «grandes nombres» relacionados con descubrimientos clave que han influido en nuestra forma moderna de pensar. Los propios científicos piensan en el pasado siguiendo criterios parecidos, aunque quizá tengan a su disposición una lista de nombres más exclusivos vinculados a los descubrimientos principales de su especialidad. Para el científico, ubicar con exactitud una secuencia de grandes progresos en nuestro conocimiento del mundo crea una determinada imagen de la ciencia moderna: la continuación de una lucha permanente por hacer retroceder las fronteras de la ignorancia y la superstición. De cualquier modo, algunos de los grandes nombres que resultan familiares a la gente evocan imágenes en las que el avance de la ciencia no ha sido un tranquilo proceso de recogida de datos. Casi todo el mundo conoce la historia del juicio al que sometió la Inquisición a Galileo por enseñar que la tierra giraba alrededor del sol, o la controversia desatada por la teoría de la evolución de Darwin, que aún sigue vigente. A medida que la ciencia ha ido desempeñando un papel cada vez más importante en nuestras vidas, las posibilidades de polémica se han ido ampliando de tal modo

que ahora incluyen nuestra capacidad para interferir en los aspectos esenciales de nuestra naturaleza biológica y psicológica e incluso en la propia biosfera del planeta. De hecho, sería una sorpresa que la historia de estas áreas de la ciencia no fuera controvertida.

Los propios científicos se sienten relativamente satisfechos con el hecho de que algunos de los grandes descubrimientos tuvieran consecuencias que obligaran a todo el mundo a replantearse sus valores religiosos, morales o filosóficos. Los libros de texto científicos a menudo cuentan historias sobre los grandes descubrimientos en las que éstos aparecen como pasos de un proceso acumulativo en virtud del cual se ha desarrollado nuestro conocimiento del mundo natural. Si los nuevos conocimientos suponían un desafío para las creencias existentes, la gente simplemente tenía que aprender a aceptarlo. Indudablemente, la historia de la ciencia consigue parte de su público al explorar el impacto de la ciencia en el mundo en su sentido más amplio. Pero también le gusta evaluar las historias tradicionales que los científicos cuentan sobre el pasado, y en algunos casos sucede que éstos reciben los resultados con poco entusiasmo. Con mucha frecuencia, resulta que las narraciones convencionales se simplifican demasiado: hay mitos que «ponen orden» en el confuso proceso de controversia que rodea a toda innovación (Waller, 2002). Estos mitos presentan una imagen nítida de héroes (los que descubren o promueven la nueva teoría) y villanos (los que se oponen a ella, normalmente porque su objetividad está minada por sus creencias). A menudo los historiadores se refieren a las historias de los grandes descubrimientos como una forma de «historia Whig», término tomado de los historiadores británicos del partido liberal, o de los Whig, que contaron de nuevo la historia del país en función del inevitable triunfo de sus propios valores políticos. En la actualidad, cualquier historia que considere el pasado como una serie de peldaños hacia el presente —y dé por supuesto que el presente es superior al pasado— recibe el nombre de «historia Whig». Los relatos tradicionales del pasado que aparecen en los capítulos introductorios de los libros de texto científicos son sin duda una forma de «whigismo». Los historiadores disfrutan exponiendo la naturaleza artificialmente construida de estos relatos, y a algunos científicos no les satisfacen los resultados.

En principio, sin embargo, los científicos (de entre todas las personas) no tienen por qué abstenerse de someter sus ideas a examen, aunque los datos utilizados se basen en libros y documentos viejos y no en pruebas de laboratorio. Si los resultados configuran una imagen más compleja y realista de cómo funciona la ciencia, cualquiera que esté implicado en la investigación científica moderna debería reconocer la importancia de representar sucesos del pasado en los mismos términos que los del presente. En vez de figuras recortables de cartulina, podemos tener héroes de verdad, con todos sus defectos e imperfecciones.

Los científicos se muestran comprensiblemente menos satisfechos cuando ciertos estudios detallados sobre controversias del pasado o del presente empujan a la gente a poner en entredicho el verdadero proceso según el cual la ciencia afirma que nuestro conocimiento del mundo avanza. Las modernas «guerras de la ciencia», en las que los científicos han respondido de modo implacable cuando los sociólogos han puesto en tela de juicio la objetividad de la propia ciencia, evidencian que hay en juego algo más que un simple conflicto entre hecho científico y valores subjetivos. Aquellos a quienes no les gustan las consecuencias de la ciencia están cada vez más inclinados a sostener que un proceso que genera técnicas potencialmente peligrosas no puede considerarse una mera adquisición de conocimientos objetivos. La historia de la ciencia se ha visto arrastrada de manera inevitable a las guerras científicas habida cuenta de que la munición usada por los atacantes procede de la reconsideración de áreas clave en las que en el pasado la ciencia dio lugar a controversias. Los críticos sostienen que los mismos fundamentos del «conocimiento» científico son los que están contaminados por los valores. La ciencia crea una visión del mundo que observa a través de gafas oscuras, por lo que difícilmente deberíamos sorprendernos si resulta que lo que se nos presenta como conocimiento tiende a reforzar el sistema de valores del complejo militar-industrial que lo financia. Los científicos reaccionan con furia cuando se ven frente a este tipo de argumentos. Si la ciencia es sólo otro sistema de valores sin más privilegios que ningún otro, ¿por qué funciona tan bien cuando la aplicamos para manipular el mundo mediante la tecnología o la medicina? Los que pagan al menos lo hacen

por la obtención de resultados, no por un cuento de hadas. Aquí existe una verdadera tensión, y la historia de la ciencia se ve envuelta por el debate como una de las principales fuentes de información sobre cómo funciona realmente la ciencia.

Por tanto, todo aquel que en esta visión general de la historia de la ciencia moderna espere encontrar una lista de grandes descubrimientos incontrovertibles va a llevarse una sorpresa. Prácticamente todos los temas y cuestiones que analizamos son objeto de un intenso debate, a menudo mantenido por perspectivas dispares derivadas de actitudes de los historiadores hacia la ciencia moderna en su conjunto o hacia teorías concretas y sus aplicaciones. Como damos clases en Irlanda del Norte, estamos acostumbrados a la idea de que la historia puede llegar a ser el campo de batalla en el que personas con opiniones encontradas pretenden validar sus creencias. La historia irlandesa puede contarse desde dos ópticas muy diferentes, en función de si se contempla partiendo de una perspectiva nacionalista o unionista. ¿Fue Oliver Cromwell el héroe que dio seguridad a la civilización británica en Irlanda, o el villano que masacró a los habitantes de Drogheda? Depende del punto de vista: cada bando ha construido sus mitos del pasado, y tanto uno como otro pueden quedarse desconcertados cuando el historiador académico investiga estos mitos en busca de pruebas concluyentes. Sin duda la historia de la ciencia pone en entredicho muchos de los mitos creados por los que presentan la ciencia como una búsqueda incorpórea de la verdad, pero ¿respalda forzosamente a los que sostienen que no es más que la expresión de un determinado sistema de valores? Tal vez sea posible un camino intermedio, que presente una visión de la ciencia como una actividad humana, bien es cierto que con más logros concretos en su haber que otras. En cierto modo, los auténticos peligros sobre los que advierten los críticos surgen del hecho de que la ciencia realiza una tarea que puede aplicarse a cambiar el mundo en que vivimos.

Lo que esperamos que se aprenda con este libro es una disposición a ver la historia como algo más que una lista de nombres y fechas: algo sobre lo que suele discutirse porque es posible entender los datos de distintas maneras y cada uno defiende con vehemencia su interpretación. Veremos cómo los historiadores se valen de datos para poner

en duda los mitos, aunque también hemos de ser prudentes y críticos en la evaluación que hagamos de cualquier relato alternativo que nos ofrezcan (incluido el nuestro). Puede ser difícil, pero nos llevará a afrontar cuestiones importantes, al tiempo que será mucho más divertido que aprender fechas y nombres.

El resto de esta introducción se centrará en lo esencial de los conflictos esbozados antes, comenzando por un breve examen de cómo la historia de la ciencia ha llegado a convertirse en el campo profesional de estudio actual. Esto es importante, pues muchos de los libros viejos mencionados más adelante en las lecturas —todavía utilizados al tratarse de clásicos en su ámbito— fueron escritos cuando la disciplina funcionaba de forma muy distinta a como funciona hoy día. A continuación damos una idea general de los avances más recientes que han creado el enfoque moderno del tema, incluyendo las técnicas más sociológicas que generan las controversias mencionadas anteriormente. Saber algo sobre historia de la historia de la ciencia nos ayudará a comprender por qué las cuestiones analizadas en el resto del libro son a menudo tan polémicas.

Orígenes de la historia de la ciencia

Fue en el siglo XVIII cuando empezó a surgir algo parecido a una historia de la ciencia en la tradición moderna. Era la llamada Ilustración, diversos pensadores radicales proclamaron el poder de la razón humana para abandonar las antiguas supersticiones y procurar a la sociedad unas bases más sólidas. Muchos de estos pensadores de la Ilustración eran hostiles a la Iglesia, a la que consideraban un agente de la vieja jerarquía social originada en la época feudal. La Edad Media se describía como un período de estancamiento impuesto por el rígido respaldo de la Iglesia a la cosmovisión tradicional. Los radicales concebían la Nueva Ciencia del siglo anterior como la primera manifestación de un renovado florecimiento del pensamiento racional y aclamaban como héroes a quienes más habían contribuido a crear la visión moderna del mundo, entre ellos Galileo y Newton. El hecho de que Galileo se hubiera metido en líos con la Iglesia por defender la astronomía

copernicana no hizo más que alimentar las sospechas hacia esa institución. Se suprimió cuidadosamente cualquier indicio de que Newton había tenido escarceos con la magia y la alquimia. Partiendo de la perspectiva de la Ilustración sobre su pasado inmediato, hemos heredado la suposición de que la revolución científica del siglo XVII fue un momento crucial en el progreso del pensamiento occidental así como un panteón de héroes que se identificaban con los pasos decisivos para cimentar la cosmología moderna y la ciencia física.

En 1837, el científico y filósofo británico William Whewell publicó una imponente *History of the Inductive Sciences* [Historia de las ciencias inductivas]. Whewell fue quien realmente acuñó el término «científico», y además tenía una prioridad muy específica que en algunos aspectos modificaba el programa de la Ilustración. Indudablemente estaba de acuerdo en que la ciencia era una fuerza progresiva, pero poseía una nueva visión de cómo ésta debía empezar a construir un conocimiento de la naturaleza, a partir del filósofo alemán Immanuel Kant. Para Kant y Whewell, el conocimiento no derivaba simplemente de la observación pasiva de la naturaleza: la mente humana lo imponía mediante las teorías que utilizamos para describir el mundo. El planteamiento científico se basaba en pruebas rigurosas de hipótesis nuevas por medio de la observación y la experimentación. Posteriormente Whewell publicó una *Philosophy of the Inductive Sciences* [Filosofía de las ciencias inductivas] donde dejaba claro que su objetivo era valerse de la historia como mecanismo para ilustrar el modo como su visión de la metodología de la ciencia se aplicaba en la práctica. En este sentido, contribuyó a lo que llegaría a ser la principal motivación para la creación de la disciplina moderna de la historia de la ciencia.

Whewell era más conservador que los pensadores de la Ilustración en el hecho de que defendía la posibilidad de que el científico descubriera fenómenos que sólo pudieran explicarse por la intervención divina. Más adelante, se negó a que entrara un ejemplar de *El origen de las especies* de Darwin en la biblioteca del Trinity College de Cambridge porque sustituía el milagro divino por la evolución natural. Sin embargo, para una generación nueva de pensadores radicales de finales del siglo XIX, el darwinismo confirmó que la ciencia proseguía su

ataque contra las antiguas supersticiones, reanudando la campaña iniciada por Galileo. Surgió una nueva generación de historiadores que hacían hincapié en lo inevitable de una «guerra» entre ciencia y religión, una guerra que la ciencia ganaría ineludiblemente. La *History of the Conflict between Science and Religion* [Historia del conflicto entre ciencia y religión] de J. W. Draper supuso un esfuerzo innovador en esta reactivación del programa de la Ilustración. La metáfora del conflicto sigue dominando la discusión popular sobre la relación entre ciencia y religión, aunque dicha metáfora ha sido ampliamente puesta en entredicho por historiadores posteriores.

Para los que (como Whewell) conservaban la esperanza de que la ciencia y la religión pudieran funcionar en armonía, el programa materialista de la Ilustración era un verdadero peligro para la ciencia: alentaba a los científicos a abandonar su objetividad en favor de la arrogante afirmación de que las leyes de la naturaleza podían explicarlo todo. *Science and the Modern World* [Ciencia y mundo moderno] (1926), de Alfred North, exhortaba a la comunidad científica a volver la espalda a este programa materialista y regresar a una visión anterior en la que la naturaleza se estudiaba suponiendo que revelaría pruebas de propósito divino. Este modelo de historia de la ciencia rechaza episodios como el juicio a Galileo tachándolos de aberraciones y describe la revolución científica como algo fundado en la esperanza de que la naturaleza pueda considerarse la obra artesanal de un Creador racional y benevolente. Para Whitehead y otros de su generación, la misma evolución podría considerarse como el despliegue de un propósito divino. Este debate entre dos opiniones enfrentadas con respecto a la ciencia —y, por tanto, su historia— sigue vivo en la actualidad.

En el siglo XX, el legado del programa racionalista se transformó en el trabajo de marxistas como J. D. Bernal. Bernal, eminente cristalógrafo, reprendió a la comunidad científica por venderse a la industria. En su *Social Function of Science* [Función social de la ciencia] (1939) exigió un compromiso renovado para el uso de la ciencia en bien de todos. Su *Science in History* [Ciencia en la historia] de 1954 fue un intento monumental por describir la ciencia como una fuerza potencial para el bien (como en el programa de la Ilustración) que había sido distorsionada por su asimilación en el complejo militar-in-

dustrial. Así, en un aspecto importante, los marxistas pusieron en tela de juicio el supuesto de que el avance de la ciencia representaba el progreso de la racionalidad humana. Para ellos, la ciencia había surgido como un producto secundario en la búsqueda del dominio técnico sobre la naturaleza, no en la búsqueda desinteresada del conocimiento, y la información que acumulaba tendía a reflejar los intereses de la sociedad en cuyo seno actuaba el científico. La finalidad de los marxistas no era crear una ciencia estrictamente objetiva, sino reestructurar la sociedad para que la ciencia beneficiara a todos, no sólo a los capitalistas. Rechazaban el programa defendido por Whitehead tildándolo de cortina de humo para ocultar la implicación de la ciencia en el ascenso del capitalismo. Asimismo, muchos historiadores intelectuales reaccionaron furiosos ante lo que consideraban la denigración de la ciencia, que aparecía implícita en obras como «The Social and Economic Roots of Newton's "Principia"» [Raíces sociales y económicas de los *Principia* de Newton], del historiador soviético Boris Hessen, de 1931. El estallido de la segunda guerra mundial puso de relieve dos visiones opuestas de la historia de la ciencia, ambas relacionadas con los peligros revelados en la Alemania nazi. La visión optimista de la Ilustración y la idea del progreso ilimitado se habían esfumado en las calamidades que sufría ahora el mundo occidental. La ciencia podía volver la espalda al materialismo y renovar sus vínculos con la religión, o volver la espalda al capitalismo y ponerse a luchar por el bien de todos.

Fue en ese momento cuando la historia de la ciencia empezó a obtener reconocimiento como especialización académica diferenciada. Con anterioridad, se habían realizado tentativas en ese sentido, que sin embargo no fructificaron. El erudito belga George Sarton fundó en 1912 la revista *Isis* —que hoy todavía existe como órgano de la Sociedad de Historia de la Ciencia—, pero al trasladarse a América le resultó imposible convencer a la Universidad de Harvard de que creara un departamento de historia de la ciencia. Los primeros departamentos de especialistas empezaron a florecer sólo después de la segunda guerra mundial, lo que reflejaba una preocupación por el hecho de que las repercusiones tecnológicas de la ciencia causaban ahora tanto impacto que era esencial un análisis más amplio para comprender cómo

había llegado a desempeñar ese papel predominante en la sociedad. No obstante, con el comienzo de la guerra fría contra la Rusia soviética, fue inevitable que la perspectiva marxista de Bernal acabara marginada. Pese a las evidentes conexiones con la tecnología, la imagen de la ciencia como un subproducto de fuerzas económicas y sociales era inaceptable. La alternativa era volver a la idea de que, en la cultura occidental, la ciencia constituía una importante fuerza intelectual que allanaba el camino del progreso no sólo por su subordinación a la industria sino también por su independencia y su innovación, lo cual nos ha procurado un mejor conocimiento de la naturaleza en un nivel teórico. El subproducto eran las aplicaciones prácticas de este nuevo conocimiento —los marxistas lo decían erróneamente al revés—. Estas aplicaciones pudieron estudiarse totalmente al margen del desarrollo de la ciencia pura, que ahora llegaba a ser, en efecto, una parte de la cultura occidental que debía ser estudiada mediante las técnicas de la historia del pensamiento o la historia de las ideas. Lo que contaba era la innovación teórica en el nivel conceptual y el proceso en virtud del cual se sometían a prueba las teorías en relación con los datos.

Este enfoque de la historiografía siguió el programa de la Ilustración hasta el punto de considerar la aparición del método científico, así como los principales pasos hacia la creación de la cosmovisión moderna, como las aportaciones más importantes al progreso humano. Así pues, se prestó mucha atención a la revolución científica del siglo XVII y a los avances conexos en astronomía y física. Más adelante, también destacaron ciertas medidas que se utilizaron para definir la línea fundamental de avance del pensamiento científico. Se entendió que el darwinismo era un paso adelante decisivo, y determinados sucesos en ciencias afines como la geología se definían como buenos o malos en función de si parecían favorecer la búsqueda de procesos naturales de cambio. En cierto modo, la disciplina continuó así y extendió la perspectiva whigista promovida por los propios científicos, pues el progreso se expresaba con respecto a avances hacia lo que se veía como los principales componentes de nuestra visión moderna del mundo. En otro aspecto, sin embargo, la nueva historiografía de la ciencia sí fue más allá del whigismo: estaba dispuesta a admitir que los científicos se encontraban

profundamente implicados en los asuntos filosóficos y religiosos y a menudo formulaban sus teorías conforme a sus opiniones acerca de estas cuestiones en su sentido más amplio. En este sentido, destaca la influencia del emigrado ruso Alexandre Koyré, que, trabajando en Francia y América, se sirvió del análisis textual riguroso de obras clásicas sobre ciencia para poner de manifiesto esta dimensión más amplia. Koyré (1978) sostenía que Galileo estaba muy influido por el filósofo griego Platón, que había enseñado que el mundo de las apariencias oculta una realidad subyacente estructurada conforme a criterios matemáticos. También Newton resultó ser un personaje mucho más complejo que el viejo héroe de la Ilustración, profundamente interesado por cuestiones filosóficas y religiosas (Koyré, 1965).

El área de influencia que no se consideró relevante fue la social y económica. La sugerencia de Marx de que la teoría de la selección natural de Darwin reflejaba los valores competitivos del sistema capitalista no figuraba en las prioridades, ni tampoco la asociación de la ciencia con la tecnología y la industria. Nadie ponía en duda que la ciencia tenía efectivamente importantes consecuencias para la sociedad en general, sea por su influencia en los debates religiosos o políticos, sea por brindar información práctica que podía hacerse realidad mediante la tecnología o la medicina. No obstante, estas aplicaciones prácticas siempre llegaban después de que la ciencia hubiera terminado su tarea; no influían en cómo se llevaba a cabo la verdadera investigación. Se supone que había una distinción clara entre la historia «interna» de la ciencia, que estudiaba los factores intelectuales involucrados en el desarrollo de las teorías, y la historia «externa», que se centraba en las repercusiones de mayor alcance de lo que se descubría. La generación de historiadores posterior a la guerra mostraba una preferencia inequívoca por la historia interna: querían una historia de la ciencia firmemente ubicada en el seno de la crónica de las ideas, con las aplicaciones externas en manos de disciplinas independientes como la historia de la tecnología y la medicina. Un buen ejemplo de la obra de esta generación es *Edge of Objectivity* [Margen de objetividad] (1960); su legado más perdurable es el monumental *Dictionary of Scientific Biography* [Diccionario de biografía científica] (Gillispie, 1970-1980).

Dado que se centra en cómo se desarrollaron nuevas teorías, este enfoque de la historia de la ciencia reactivó el programa esbozado por Whewell. La historia iba a ser utilizada como fuente de ejemplos para ilustrar la correcta aplicación del método científico. Se suponía que la historia de la ciencia y el análisis del método científico iban de la mano, y entonces varias universidades crearon departamentos de historia y filosofía de la ciencia. En cualquier caso, fue éste un período en que se trabajó muy activamente en filosofía de la ciencia. La vieja idea de la ciencia como proceso de recogida de datos había sido reemplazada por el «método hipotético-inductivo», en el cual el científico sugería hipótesis, deducía consecuencias verificables y a continuación procuraba que, mediante pruebas experimentales, se determinara si la hipótesis debía ser rechazada (Hempel, 1966). Este hincapié en la disposición de los científicos a verificar y, en caso necesario, refutar hipótesis fue llevado incluso más lejos por Karl Popper en su *Lógica del descubrimiento científico* (1959). El punto de partida de Popper era la necesidad de establecer una línea de demarcación que separara la ciencia del resto de actividades intelectuales, como la teología o la filosofía. El carácter definitorio era su dependencia de la «falsabilidad»: una hipótesis científica está siempre elaborada de tal manera que maximiza su exposición a las pruebas experimentales y a la potencial refutación. De acuerdo con Popper, los creyentes religiosos, los filósofos y los analistas sociales eluden este requisito formulando sus propuestas de manera lo bastante imprecisa para que puedan explicar casi cualquier cosa y, por tanto, nunca puedan ser rebatidas. Por consiguiente, la ciencia proporciona una forma única de conocimiento sobre el mundo porque todas sus teorías han superado exámenes rigurosos.

No obstante, en lo que respecta a los científicos, el método hipotético-deductivo tuvo una consecuencia desagradable. Como subrayó Popper, nunca se puede demostrar que una hipótesis sea verdadera porque, al margen de la cantidad de pruebas positivas que supere, sigue existiendo la posibilidad de ser refutada por la próxima. La historia de la ciencia está llena de ejemplos reveladores de que una teoría puede resultar satisfactoria durante décadas, o incluso siglos, y luego ser declarada falsa —recordemos el debilitamiento de las bases con-

ceptuales de la física de Newton a cargo de Einstein—. Esto significa que nuestras teorías actuales también serán refutadas a la larga; provisionalmente sólo podemos aceptarlas como las mejores guías de que disponemos por el momento. Los científicos admitieron a regañadientes esta repercusión de la nueva filosofía de la ciencia, renunciando a su pretensión de procurar un conocimiento absolutamente verdadero del mundo real. Accedieron a ello de buen grado porque Popper les ofreció una defensa distinta de su objetividad mediante su criterio para diferenciar la ciencia de las demás formas de conocimiento. La ciencia era objetiva en el sentido de que ponía en evidencia los puntos débiles de sus afirmaciones lo más rápidamente posible y pasaba a idear algo mejor.

De cualquier modo, en el seno de la metodología de Popper había otro problema que hizo sospechar de forma instintiva a los historiadores de la ciencia. Para Popper, el buen científico intenta activamente rebatir la hipótesis vigente: ésta se somete a prueba con la esperanza de poner al descubierto sus puntos débiles lo antes posible. Esta descripción de lo que constituye buena ciencia no encaja muy bien con la conducta observada por los científicos, del pasado y del presente. Por el contrario, abrazan una teoría exitosa, en especial si su carrera se ha fundamentado en la misma, y a menudo se muestran reticentes, cuando no abiertamente hostiles, a considerar toda sugerencia de que aquélla pueda ser sustituida. En este punto, la historia y la filosofía de la ciencia comenzaron a distanciarse. A muchos historiadores les parecía que cuanto más estudiaban la conducta real de los científicos, menos se correspondía ésta con la imagen idealizada del método científico que los filósofos concebían. La filosofía de la ciencia se estaba volviendo una disciplina de salón, que iba elaborando ideas más y más complicadas sobre lo que los científicos deberían hacer y que cada vez estaban más desconectadas del funcionamiento real de la ciencia. Se estaba abriendo el camino para un reto que llevaría a la historia de la ciencia por una dirección nueva, lo cual crearía un modelo sociológico que estudiaría el verdadero comportamiento de la comunidad científica.

Ciencia y sociedad

El reto se presentó con *La estructura de las revoluciones científicas* (1962) de Thomas S. Kuhn, que desencadenó un intenso debate y que ha acabado convirtiéndose en un clásico. Kuhn sostenía que la sustitución de teorías es un asunto mucho más complejo de lo que dan a entender las filosofías ortodoxas o popperianas de la ciencia (sobre el debate resultante, véase Lakatos y Musgrave [1970]). Kuhn utilizó la historia para poner de manifiesto que las teorías acertadas quedan establecidas como «paradigma» de la actividad científica en su campo: definen no sólo técnicas aceptables para abordar problemas sino también qué problemas guardan relación con la investigación. No sorprende que las circunstancias favorezcan la teoría, pues las posibilidades de falsificación son mínimas si trabajamos en áreas «seguras». La ciencia llevada a cabo bajo la influencia de un paradigma dominante es lo que Kuhn llama «ciencia normal»: esto es investigación verdadera, aunque está más preocupada por los detalles secundarios que por indagar sobre los fundamentos. La educación científica supone convencer a los estudiantes para que acepten el paradigma sin sentido crítico. Incluso cuando comienzan a aparecer anomalías (experimentos u observaciones que producen resultados inesperados), la comunidad científica ha llegado a ser tan leal al paradigma que los científicos más viejos se niegan a admitir que ha sido falsificado y siguen adelante como si aún estuviera funcionando sin contratiempos. Sólo si el número de anomalías se vuelve insoportable surge un «estado de crisis», momento en que los científicos más jóvenes y radicales empiezan a mirar alrededor en busca de una nueva teoría. Cuando se descubre una teoría nueva que se ocupa de los problemas pendientes, pronto queda establecida como el nuevo paradigma y se inicia otro período de ciencia normal convencional.

El enfoque de Kuhn hace hincapié en que cada paradigma representa un esquema conceptual nuevo, incompatible con ningún otro. Pero también considera la ciencia como una actividad social: los científicos desarrollan lealtades profesionales al paradigma en el que han sido instruidos, las cuales también limitan su capacidad para poner en

entredicho el statu quo. Si esta interpretación es válida, hay momentos en los que la ciencia no es nada objetiva. Por el contrario, los científicos se valdrán de cualquier truco permitido para defender la teoría en la que se han fundado tantas carreras. Puede parecer que cuando se produce una revolución se restablece la objetividad, pero ésta pronto se pierde. Y aunque por lo visto el nuevo paradigma amplía nuestra esfera de conocimientos al ocuparse de hechos que no era posible incluir en la vieja teoría, Kuhn señala casos en que se abandonaron líneas satisfactorias de investigación que seguían el paradigma viejo para adoptar el nuevo. Es lógico que los científicos se mostraran profundamente descontentos con el análisis de Kuhn, pero los historiadores —aunque críticos con su modelo real de revoluciones— entendieron que su enfoque era una alternativa alentadora, que parecía ofrecer un modelo más realista de cómo se lleva a cabo realmente la actividad científica.

Sociólogos de la ciencia como Robert K. Merton y sus discípulos también empezaron a fijarse en las circunstancias sociológicas que posibilitan la ciencia. Aunque Merton daba por supuesto que el conocimiento científico era el sencillo resultado de aplicar metodología científica, afirmaba que hace falta establecer determinadas condiciones sociales, o «normas», para que la comunidad científica sea capaz de prosperar y aplicar el método científico como es debido (Merton, 1973). Sin estas normas —o reglas de conducta comprendidas por la mayoría—, la ciencia se vería distorsionada de diversas maneras debido a la contaminación ideológica. Merton identificó cuatro normas: universalismo (las declaraciones científicas se evalúan de forma imparcial, sin referencia a los científicos que las hacen); comunismo (conocimiento científico que pertenece a la comunidad científica y no a los científicos en cuanto individuos); carácter desinteresado (los científicos no desarrollan ningún vínculo emocional ni de ninguna otra clase con su trabajo); y escepticismo metódico (los científicos someten sistemáticamente sus afirmaciones científicas a verificación rigurosa). Las normas de Merton pretendían proporcionar un modo de distinguir la ciencia de otra clase de actividades amén de definir las circunstancias sociales en las cuales puede prosperar. A diferencia de Kuhn, Merton no creía que las circunstancias sociales pudieran afectar al desarrollo del conocimiento científico mientras las normas estu-

vieran en vigor. Sólo en las sociedades donde las normas eran ineficaces —como en la Alemania nazi— llegaba la ciencia a estar contaminada por factores ideológicos.

Posteriormente se han llevado a cabo trabajos sobre las ideas contenidas explícita o implícitamente en la obra de Kuhn, a veces con orientaciones que él no habría aprobado. En la actualidad, algunos consideran su libro una aportación innovadora al modo de análisis denominado posmodernismo, si bien la principal fuente de este movimiento procede de filósofos franceses como Michel Foucault (1970; véase Gutting, 1989) o Jacques Derrida. Para algunos, al menos en el seno de la comunidad científica posmoderna, la ciencia no disfruta de ninguna posición de privilegio como fuente de conocimiento, pues la literatura científica constituye sólo uno entre muchos conjuntos de textos en competencia que se proponen hacerse con el control de nuestros pensamientos y actividades. El éxito de la ciencia se basa no en ningún valor de verosimilitud en sus proposiciones sino en la capacidad de sus defensores para imponer a los demás sus propias interpretaciones y «lecturas». Según el modelo de la historia del pensamiento aportado por Foucault, Kuhn estuvo muy acertado al afirmar que paradigmas sucesivos representan diferentes criterios de análisis que no pueden compararse objetivamente entre sí. Es como un cambio *gestalt* en psicología: lo que parece evidente desde una perspectiva simplemente no es posible verlo ni entenderlo desde la otra. Así pues, se viene abajo la idea global de ciencia que ofrece un conocimiento objetivo acumulativo del mundo, lo que provoca la indignación entre los científicos que ven como una importante amenaza para su posición a la «izquierda académica» que respalda la visión relativista del conocimiento (Gross y Levitt, 1994; Brown, 2001). En las controversias resultantes, que llegaron a conocerse como las «guerras de la ciencia», hubo científicos que defendían su papel de expertos que ofrecían información objetiva sobre el mundo frente a los sociólogos que insistían en que no había que conceder estatus de privilegio a ninguna versión del conocimiento. Unos cuantos historiadores fueron tan lejos como algunos posmodernos en su descripción de la ciencia como un conjunto de textos independientes sin relación alguna con el mundo material. De cualquier modo, las ideas de Kuhn y Foucault nos han

obligado a pensar con mucho más cuidado en los estudios de períodos anteriores, recalcado la necesidad de evitar la lectura de ideas modernas en libros antiguos y alertado sobre la posibilidad de que conceptos y distinciones que hoy damos por sentados pudieran ser literalmente impensables para generaciones anteriores de científicos.

Las protestas contra la izquierda académica también se han manifestado contra otro avance importante que ha influido en la historia de la ciencia: la intensificación del interés en cómo funciona la comunidad científica. Kuhn llamó la atención sobre el poder que tienen destacados científicos para determinar el modo en que sus alumnos y colegas reaccionan ante hipótesis nuevas. Sólo los más excéntricos estarían dispuestos a «causar perturbaciones» sugiriendo un enfoque totalmente nuevo, táctica que únicamente tendría éxito cuando casi todo el mundo hubiera empezado a admitir de mala gana que el paradigma actual estaba atravesando dificultades. A continuación, los historiadores y los sociólogos de la ciencia comprendieron que, con frecuencia, no bastaba tener buenas ideas o pruebas sólidas que las respaldaran —el científico de éxito ha de convencer a sus colegas de que tomen en serio las ideas nuevas, a menudo enfrentadas a muchísimas propuestas rivales—. Aunque puede ser bonito imaginar que siempre ganará el que dispone de las mejores pruebas, las cosas casi nunca son tan sencillas. En efecto, es raro que las pruebas y los datos nuevos sean tan inequívocos que susciten conformidad inmediata. El éxito o el fracaso muchas veces depende también de factores «no científicos», como el acceso a una buena financiación de las investigaciones, a ciertos puestos de trabajo o a los consejos editoriales de revistas importantes. Así pues, la aparición de la forma moderna de comunidad científica, con sus sociedades, reuniones y publicaciones, ha acabado convirtiéndose en un elemento crucial en la creación de ciencia como la entendemos en la actualidad. Y estudiar una «revolución» conlleva revelar cómo la nueva teoría se abrió camino entre las maniobras políticas que determinaron quién tenía influencia en la comunidad, al tiempo que supone analizar cambios e innovaciones conceptuales en la práctica (Golinski, 1998).

No obstante, en la actualidad la investigación sobre estos factores ha trascendido el modelo kuhniano, pues está claro que a medida que

la comunidad científica ha ido aumentando de tamaño, se ha ido especializando y fragmentando cada vez más. Sucede con frecuencia que ciertas teorías llegan a ser dominantes en el seno de una única y pequeña comunidad de especialistas, de modo que los trabajos más innovadores requerirán la creación de un «grupo escindido» que quede establecido como una vía independiente de investigación. El proceso de profesionalización y especialización disciplinaria se considera ahora crucial por cómo avanza la ciencia, hasta el punto de que algunos historiadores ya no se concentran en perspectivas teóricas amplias, como el evolucionismo en biología. A menos que una teoría se utilice para establecer una tradición investigadora diferenciada, en esta nueva historiografía acaba estando marginada, con lo que algunos historiadores acaban preguntándose si un enfoque sociológico así lo habrá arrojado todo por la borda. En algunos casos, las teorías han obtenido aceptación precisamente porque han funcionado como puentes entre especializaciones.

Una consecuencia de esta nueva óptica es el reconocimiento de que la ciencia es una actividad práctica en la que la creación de técnicas nuevas es tan crucial como la innovación conceptual. Las nuevas especialidades suponen a menudo no sólo teorías nuevas sino también novedosos aparatos que requieren pericia en su manejo para obtener de ellos resultados significativos. Un estudio, ya clásico, de Steven Shapin y Simon Schaffer (1985), puso de manifiesto cómo los debates del siglo XVII sobre la naturaleza del aire dependían decisivamente de quién tenía acceso a las poquísimas bombas de aire entonces disponibles así como de la destreza práctica necesaria para hacer que aquellas máquinas primitivas funcionaran debidamente. No obstante, esta atención a la necesidad de entender la ciencia como un conjunto de práctica y teoría va más allá de los equipos de laboratorio. Los avances en historia natural dependían de la creación de museos en los que pudieran usarse especímenes para establecer comparaciones. Los geólogos tuvieron que desarrollar técnicas para cartografiar estratos y representar su orden de formación, y como ha revelado Martin Rudwick (1985), hubo entre los especialistas un intenso período de negociación para ponerse de acuerdo sobre las técnicas que debían utilizarse. El desarrollo de la genética moderna dependió en gran medida de identi-

ficar y aprender a controlar un organismo de investigación adecuado, de entre los que destaca especialmente la mosca de la fruta conocida como *Drosophila melanogaster* (Kohler, 1994). Una amenaza más seria a la vieja división interna-externa es el creciente número de evidencias de que la opción de los científicos respecto a las áreas de estudio y las técnicas necesarias para investigarlas dependía con frecuencia de sus conexiones con industrias que esperaban explotar los nuevos conocimientos. Ciertos físicos del siglo XIX, como William Thomson (lord Kelvin), acaso fueran brillantes teóricos, pero el caso es que trabajaban estrechamente con los fabricantes de máquinas de vapor y con las empresas que tendían cable de telégrafo, y su trabajo deja muy clara su implicación en los problemas prácticos resultantes.

Los científicos modernos han acabado acostumbrándose a necesitar una ingente ayuda económica, y muy pocos niegan que las preocupaciones prácticas a menudo influyen en sus prioridades, determinando los problemas que se estudian y los que se dejan a un lado. Sin embargo, la sugerencia de que las preocupaciones prácticas pueden dirigir la actividad científica apunta a la más polémica afirmación de que lo que se presenta como «conocimiento» científico quizá refleje en sí mismo los intereses de aquellos que llevan a cabo las investigaciones. Y aquí es donde entramos en el campo de la «sociología del conocimiento», que insiste en que habría que estudiar la ciencia como cualquier otra disciplina: observando cómo expresa y mantiene los intereses y valores de quienes la construyen. Puede que la supuesta «verdad objetiva» de las teorías científicas no tenga influencia alguna a la hora de explicar sus orígenes o el porqué de que sus partidarios las defiendan. Son evidentes los paralelismos entre esto y la idea posmoderna descrita antes: si cada teoría científica ha de ser entendida como un sistema conceptual que no puede juzgarse según los parámetros de ningún otro, ninguna teoría puede pretender estar más cerca de la verdad. La sociología del movimiento científico vincula la existencia de visiones alternativas de la realidad a los intereses de los grupos que las promueven. Los exponentes originales de esta perspectiva sociológica se conocen a menudo como la Escuela de Edimburgo, pues muchos de ellos al principio dieron clase en la Science Studies Unit de la Univer-

sidad de Edimburgo (Barnes y Shapin, 1979; Barnes, Bloor y Henry, 1966). Éstos sostienen que la ciencia es una actividad social como cualquier otra y que debe ser analizada mediante métodos sociológicos. Las afirmaciones de los científicos hay que tomarlas como las realizadas por los pensadores religiosos o los dirigentes políticos. Igual que las religiones y los sistemas políticos expresan los intereses de grupos concretos de la sociedad (por lo general, los gobernantes), también el conocimiento científico expresa los valores de aquellos que lo elaboran. Las teorías científicas no son conjuntos de hechos, sino modelos del mundo que pueden ser puestos a prueba por los hechos en cierto grado. Sin embargo, estos hechos no determinan de manera absoluta la estructura de las teorías, con lo que éstas pueden verse influidas por imágenes del mundo dictadas por valores sociales. Como reveló el estudio de Shapin y Schaffer (1985), estos intereses pueden ser filosóficos o políticos amén de económicos, o acaso reflejen rivalidades profesionales. La cuestión es que, para comprender qué ocurre realmente en cualquier investigación científica, no podemos limitarnos a presuponer que dicha investigación está siendo determinada por la estructura de un «mundo real» que se hallará representado con precisión por algún modelo satisfactorio.

Los críticos de la Escuela de Edimburgo sostienen que la imagen de la ciencia es poco realista. La ciencia debe ofrecer conocimiento del mundo real o no nos ayudará a controlar ese mundo por medio de la tecnología. Si los valores sociales por sí solos determinan lo que debe considerarse conocimiento científico, los científicos tendrán las manos libres para formular cualquier teoría que escojan y luego simplemente manipular las pruebas para que parezca que funciona. La teoría sería aceptada sin sentido crítico por todos los que compartieran los mismos valores sociales. Por otro lado, sería rechazada por los que tuvieran unos valores diferentes, y jamás podría suscitarse un consenso científico con respecto a qué teoría es la mejor. No obstante, el hecho de que la comunidad con frecuencia se acerque bastante a un consenso evidentemente no excluye la posibilidad de que ciertos factores sociales determinen los orígenes de la teoría satisfactoria (aquí viene al caso la teoría de la selección natural de Darwin). Como respuesta, los sociólogos insisten en que no afirman que los científicos «inventen

sobre la marcha». Por el contrario, están especialmente interesados en las distintas maneras en que usan los resultados de sus experimentos, sus instrumentos y sus medidas para convencer a los demás de la superioridad de sus programas de investigación (Collins, 1985; Latour, 1987). En todo caso, señalan que en una situación dada habrá más de un modo de seguir adelante con las investigaciones y también más de un modo de diseñar un modelo viable. Qué área de estudio —y qué modelo— se elija finalmente dependerá de los intereses del grupo concreto de científicos implicados. Puede que, a la larga, los defensores de un modelo sean capaces de convencer al conjunto de la comunidad de que aquél ofrece la mejor solución, pero el hecho de que incluso la física haya experimentado revoluciones conceptuales da a entender que las teorías satisfactorias no ofrecen representaciones «correctas» del mundo real en un sentido absoluto.

En un área compleja y cargada de valores, como la biología de la naturaleza humana, es posible construir modelos en competencia cada uno de los cuales parece funcionar como fundamento de la investigación científica, y entonces las posibilidades de convencer a todo el mundo de que una teoría concreta es correcta son más limitadas. Esto es así en parte porque más de un área de la ciencia puede reclamar el derecho a ofrecer teorías pertinentes a las cuestiones principales. Como es lógico, los biólogos preferirán modelos de naturaleza humana que subrayen el papel determinante de los factores biológicos, pues esto les permite insistir en que debe tomarse en cuenta su pericia. Los científicos sociales quieren descartar la biología, pues ellos aparecen como los únicos expertos apropiados. Más grave aún es el hecho de que los valores políticos determinen lo que se considera como teorización aceptable —sin embargo, nadie asume que ideas concordantes con los propios valores tengan más probabilidades de generar ciencia buena, no contaminada (véase cap. 18, «Biología e ideología»)—. Los conservadores acaso intenten defender que ciertos tipos de conducta humana, o ciertas limitaciones de la capacidad humana, se deben a nuestra biología: son «naturales» y por tanto inevitables, e imponen restricciones en estructuras sociales, que pasamos por alto por nuestra cuenta y riesgo. Los liberales quizá quieran negar el papel de estos factores, por lo que tal vez afirmen

que una mejora de las condiciones efectivamente permitiría avanzar hacia una sociedad mejor.

Cada bando tratará de explotar la presunta superioridad de la ciencia en beneficio propio. Intentará desacreditar la postura de sus adversarios tachándola de «mala» ciencia o ciencia tergiversada. Los buenos siempre hacen ciencia irrefutable y objetiva; los malos andan descarriados a causa de sus preferencias políticas, religiosas o filosóficas. No obstante, la dificultad de resolver algunos debates sugiere que no es válida la afirmación de objetividad total de ningún bando. Cada uno permite que sus criterios para hacer «buena» ciencia estén determinados por sus ideas preconcebidas. Los sociólogos de la ciencia sostienen que unos y otros están igual de equivocados: es su política la que empuja a la gente a posturas polarizadas en las que un bando u otro es rechazado, a efectos prácticos, como trivial o intrascendente. Dado que las posiciones enfrentadas reflejan valores sociales y políticos profundamente arraigados, no debe sorprender que ninguno de los bandos parezca capaz de lograr una victoria permanente en el debate, por mucho que uno y otro aseguren estar haciendo ciencia buena.

Las encarnizadas controversias que se han producido (y se producen todavía) en algunas áreas de la biología indican que no podemos pasar por alto el cuestionamiento de los sociólogos respecto a la objetividad de la ciencia. Los físicos pueden sostener que su conocimiento es «más irrefutable» porque es más fácil que lo confirmen las pruebas experimentales, pero los sociólogos no establecen distinción alguna entre ciencias duras y blandas. Y desde luego la historia proporciona ejemplos en los que la búsqueda de conocimiento en física ha reflejado los valores y creencias generales de los científicos. Sin embargo, al final no queremos presentar la historia de la ciencia de tal modo que nos veamos obligados a tomar partido por uno u otro bando en las guerras científicas. Tanto la historia como la sociología de la ciencia procuran numerosas pruebas de que la ciencia es una actividad humana, no un proceso automatizado que podría ser llevado a cabo con el mínimo éxito por un ordenador gigante. Los compromisos filosóficos, las creencias religiosas, los valores políticos y los intereses profesionales han ayudado a determinar la manera en que los científicos han construido y promovido sus modelos del mundo. Como mu-

cho, sólo unos cuantos radicales posmodernos han afirmado que la ciencia es simplemente algo imaginario. Ciertos sociólogos del conocimiento científico, como los miembros de la Escuela de Edimburgo, y los historiadores de la ciencia que han adoptado sus ideas saben que, para que un programa de investigación sea efectivo, sus defensores han de generar resultados mensurables, en cuyo caso se amplía el «conocimiento» —en el sentido de la capacidad para describir y controlar la naturaleza—. A este respecto, algunos de los portavoces de la ciencia en las guerras citadas parecen estar apuntando a un objetivo equivocado. La cuestión no es realmente si este vínculo con la práctica satisface el criterio de objetividad de los filósofos: si los científicos estaban encantados con la advertencia de Popper de que podían proporcionar información válida sólo de forma provisional, deberían ser capaces de aceptar el modelo científico más realista suministrado por historiadores de inclinación sociológica. Al final también los científicos tienen algo que ganar con un modelo de desarrollo científico que acepta que, efectivamente, proporciona un conocimiento mucho más sofisticado sobre cómo funciona el mundo pero se niega a considerar que aquél confecciona un modelo de naturaleza totalmente imparcial y verdadero de forma inmutable. Vivimos en una época en que la gente a menudo descubre que los científicos toman partido en asuntos polémicos relacionados con la salud pública o el medio ambiente. Es preciso saber que la investigación científica es un proceso complejo en el cual no es imposible que dos proyectos totalmente legítimos sugieran posturas enfrentadas con respecto a determinado asunto controvertido. Todo aquello que ayudara a la gente a entender por qué las investigaciones nuevas no pueden ofrecer respuestas inmediatas a todos los problemas complejos sería una ventaja, y no un peligro, para los que están tratando de defender la integridad y la autoridad de la ciencia.

¿Por qué ciencia moderna?

Este libro plantea una historia de la ciencia moderna, pero ahora explicaremos en pocas palabras por qué nos centramos tanto en los últimos siglos. Una generación anterior de estudiosos habría dado por

sentado que una visión general de la historia de la ciencia debía comenzar con la filosofía natural de los antiguos griegos, reconocer las importantes aportaciones del islam y a continuación ocuparse del renacer del aprendizaje en el Occidente medieval, antes de pasar a abordar la revolución científica de los siglos XVI y XVII. Al tomar esta revolución como punto de partida, no pretendemos sugerir que los avances anteriores fueran insignificantes, y a quienes deseen saber más acerca de los fundamentos sobre los que se ha erigido la ciencia moderna les instamos a que consulten el estudio de David Lindberg titulado *Los inicios de la ciencia occidental: la tradición científica europea en el contexto filosófico, religioso e institucional (desde 600 a.C. hasta 1450)* (1992). Es especialmente importante que reconozcamos la deuda que la ciencia moderna tiene no sólo con la antigüedad clásica sino también con la civilización del islam, que alimentaron y difundieron las tradiciones de la antigua filosofía natural y procuraron una base esencial para avances posteriores en Europa. Debemos también señalar que a la cultura china debemos numerosos inventos importantes, entre ellos la pólvora y la brújula magnética, junto a una filosofía de la naturaleza muy distinta de la que a la larga surgió en Occidente. *Science and Civilisation in China* [Ciencia y civilización en China], el monumental estudio de Joseph Needham, alaba esta tradición alternativa. En dicho estudio Needham también intentó responder a la controvertida pregunta de por qué China no partió de estos cimientos para generar una revolución científica equivalente a la que se produjo en Europa (Needham, 1969).

Al reconocer las aportaciones realizadas por otras culturas, evitamos la inferencia de que la revolución científica con la que empezamos fue una verdadera revolución en virtud de la cual apareció de la nada un enfoque de la naturaleza totalmente nuevo que dio a Europa el predominio mundial en el estudio de la naturaleza. Un producto de la nueva perspectiva sociológica de la historia es la versión de Shapin de la «revolución» (1996), que declara abiertamente que ésta no existe, pues la ciencia moderna surgió de una serie de actividades y actitudes cambiantes que influyeron en todas las áreas de la vida y las creencias de la época. Pero al final sí apareció una nueva clase de actividad que denominamos ciencia, lo que se tradujo en una explo-

sión de nuevos métodos, teorías, organizaciones y aplicaciones prácticas. Los nuevos avances en la historia de la ciencia descritos anteriormente han solido centrarse en el período moderno precisamente porque es durante los últimos siglos cuando emergió el tipo de actividad que reconocemos como ciencia —y los cambios llegan a ser aún más asombrosos cuando entramos en la época moderna de la «ciencia mayor» impulsada por los intereses industriales y militares—. Comparemos el anuario *Critical Bibliography* publicado por la revista *Isis* en 1975, por ejemplo, con otro de un año más reciente, y veremos que el cambio de énfasis es sorprendente. El número de publicaciones sobre ciencia antigua, ciencia islámica, ciencia medieval y ciencia del Renacimiento ha permanecido más o menos estacionario (y ha disminuido como proporción del total). Las publicaciones sobre el período que va del siglo XVII al siglo XIX han aumentado ligeramente. Pero los estudios sobre la ciencia del siglo XX se han incrementado de forma espectacular, de modo que en la actualidad son con mucho la principal categoría de publicaciones. Y gran proporción de estos estudios sobre el siglo XX se centra en la ciencia americana —pues es ésta la que está haciendo casi toda la historia así como casi toda la ciencia.

Este cambio de énfasis es casi con toda seguridad un reflejo de la tendencia moderna a considerar la historia de la ciencia menos en términos de innovaciones conceptuales (teóricas) y más en función de escuelas de investigación, avances prácticos y la cada vez mayor influencia del gobierno y la industria. Cuando se centraba la atención en la historia de las ideas científicas (incluyendo la idea del propio método científico), parecía evidente que la filosofía natural de los griegos debía constituir el punto de partida: comenzar con la revolución científica habría dejado al conjunto del proyecto sin cimientos. Pero si la ciencia se define más desde el punto de vista de cómo funciona la comunidad científica moderna, parece menos obvio que las formas de conocimiento natural obtenido en entornos sociales diferentes sean fundacionales (aunque el estudio de cómo funciona la ciencia en esas otras sociedades debería ser de interés a efectos comparativos). Los historiadores han acabado interesándose más por la creación de redes profesionales definidas por sociedades científicas, publicaciones y departamentos de universidades y del gobierno así como por la interacción de los científicos

con la industria, el gobierno y el gran público. Éstas son instituciones y conexiones establecidas en el período que va desde el siglo XVII al XX. También ha habido un enorme incremento en la cantidad real de avances científicos que se están haciendo en el período moderno, que además aumenta continuamente (lo que en 1975 era ciencia nueva ahora ya es historia). Al mismo tiempo, la historia de la ciencia ha asumido un nuevo papel en los departamentos de estudios sobre la ciencia, de tal modo que aquí hay que centrarse casi forzosamente en los avances que conducen directamente a los dilemas del mundo moderno.

En reconocimiento de este cambio de énfasis, hemos decidido centrarnos en la ciencia desde el siglo XVII e incluir en esa área una amplia variedad de temas que no vaya en menoscabo del carácter práctico de un libro de un solo volumen. La primera parte se ocupa de manera tradicional de los progresos en el seno de la propia ciencia, comenzando con la revolución científica y dirigiendo luego la atención a las cuestiones principales de cada ciencia por separado. Hemos intentado combinar el interés clásico por la aparición de teorías nuevas con el enfoque moderno basado en la aparición de disciplinas y programas de investigación, incluyendo ilustraciones de reevaluaciones facilitadas por nuevos métodos de estudio. La segunda parte ofrece un conjunto más temático de muestras representativas a través de la historia de la ciencia, que incluyen intereses tradicionales como las conexiones con la tecnología, la medicina o la religión, junto a áreas nuevas de estudio como la ciencia popular. Con independencia de la sección por la que empiece, recuerde el lector que puede siempre obtener una perspectiva más amplia buscando las remisiones, que ponen de manifiesto cómo se entrelazan todos los temas. No pretendemos que vaya a resultar fácil hacerse con una visión general, pero esperamos que en el proceso el lector adquirirá una renovada consideración por la ciencia y una mejor comprensión de su importancia en nuestra vida.

Referencias bibliográficas

Barnes, Barry y Steven Shapin (eds.) *Natural Order: Historical Studies of Scientific Culture*, Sage Publications, Beverly Hills, CA, y Londres, 1979.

Barnes, Barry, David Bloor y John Henry, *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*, Athlone, Londres, 1996.

Bernal, J. D., *Science in History*, MIT Press, Cambridge, MA, 1969[3], 3 vols.

Brown, James Robert, *Who Rules in Science? An Opinionated Guide to the Wars*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 2001.

Collins, Harry, *Changing Order: Replication and Induction in Scientific Practice*, Sage, Londres, 1985.

Foucault, Michel, *The Order of Things: The Archaeology of the Human Sciences*, Pantheon, Nueva York, 1970 (hay trad. cast.: *Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas*, Siglo XXI Editores, Madrid, 1997).

Gillispie, Charles C., *The Edge of Objectivity: An Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1960.

—, (ed.) *Dictionary of Scientific Biography*, Scribners, Nueva York, 1970-1980, 16 vols.

Golinski, Jan, *Making Natural Knowledge: Constructivism in the History of Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Gross, Paul R., y Norman Levitt, *Higher Superstition: The Academic Left and Its Quarrel with Science*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1994.

Gutting, Gary, *Michel Foucault's Archaelogy of Scientific Reason*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

Hempel, Karl, *Philosophy of Natural Science*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1966.

Kohler, Robert E., *Lords of the Fly:* Drosophila *Genetics and the Experimental Life*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.

Koyré, Alexandre, *Newtonian Studies*, University of Chicago Press, Chicago, 1965.

—, *Galileo Studies*, Humanities Press, Atlantic Highlands, 1978 (hay trad. cast.: *Estudios galileanos*, Siglo XXI Editores, Madrid, 1990).

Kuhn, Thomas S., *The Structure od Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 (hay trad. cast.: *La estructura de las revoluciones cientificas*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 2000).

Lakatos, Imre, y Alan Musgrave (eds.), *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge University Press, 1979.

Latour, Bruno, *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Open University Press, Milton Keynes, 1987.

Lindberg, David C., *The Beginnings of Western Science: The European Scientific Tradition in its Philosophical, Religious and Institutional Con-*

texts, 600 B.C. to A.D. 1450, University of Chicago Press, Chicago, 1992 (hay trad. cast.: *Los inicios de la ciencia occidental: la tradición científica europea en el contexto filosófico, religioso e institucional [desde 600 a.C. hasta 1450]*, Paidós, Barcelona, 2002).

Merton, Robert K., *The Sociology of Science: Theoretical and Empirical Investigations*, University of Chicago Press, Chicago, 1973.

Needham, Joseph, *The Grand Titration: Science and Society in East and West*, Allen & Unwin, Londres, 1969.

Popper, Karl, *The Logic of Scientific Discovery*, Hutchinson, Londres, 1959 (hay trad. cast.: *La lógica de la investigación científica*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1995).

Rudwick, Martin J. S., *The Great Devonian Controversy: The Shaping of Scientific Knowledge among Gentlemanly Specialists*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.

Shapin, Steven, *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1996 (hay trad. cast.: *La revolución científica: una interpretación alternativa*, Paidós, Barcelona, 2000).

Shapin, Steven y Simon Schaffer, *Leviathan and the Air Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton University Press, Pinceton, NJ, 1985.

Waller, John, *Fabulous Science: Fact and Fiction in the History of Scientific Discovery*, Oxford University Press, Oxford, 2002.

Whitehead, A. N., *Science and the Modern World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1926.

Primera parte:
Hitos en el desarrollo de la ciencia

— 2 —

La revolución científica

¿Hubo de veras una «revolución científica» durante el siglo XVII? Tradicionalmente, la respuesta a esta pregunta ha sido un sí rotundo. Según este parecer, los cambios fundamentales que se produjeron en los diversos modos como la cultura occidental examinaba el universo, y los métodos utilizados para indagar sobre el mismo durante ese período, fueron tan radicales que merecen ser calificados de revolucionarios. No sólo eso, sino que esos cambios tuvieron tal impacto en nuestro conocimiento del cosmos y el lugar que ocupamos en él que deberían ser considerados excepcionales. En otras palabras, lo que aconteció en el siglo XVII no fue solamente una revolución científica sino *la* revolución científica. Partiendo de esta perspectiva, lo que sucedió durante esa revolución fue nada menos que el nacimiento de la ciencia moderna. Por eso, si este enfoque histórico es correcto, los grandes nombres que asociamos a la revolución científica —Copérnico, Descartes, Galileo, Kepler y Newton— tienen legítimo derecho a ser considerados los padres de la ciencia moderna. No sólo hicieron grandes descubrimientos y formularon teorías nuevas, sino que también introdujeron un nuevo método —el método científico— que nos proporcionó un conocimiento seguro y fiable del mundo que nos rodea.

Esta manera de observar la historia de la ciencia tiene también una historia propia. Muchos protagonistas de los siglos XVI y XVII que intervinieron en los debates filosóficos y descubrimientos que dieron for-

ma a la revolución científica enseguida se vieron a sí mismos en la vanguardia de un movimiento intelectual revolucionario. Por ejemplo, el filósofo-cortesano inglés Francis Bacon no veía con muy buenos ojos la filosofía griega —«una especie de sabiduría totalmente contraria a la investigación sobre la verdad»— si la comparaba con los logros científicos de su época. A su juicio, la clave era la disposición a experimentar y reconocer que el conocimiento «debe ser buscado bajo la luz de la naturaleza, no trayéndolo desde la oscuridad de los tiempos antiguos». En una línea parecida, Voltaire, el escritor de la Ilustración, celebró los éxitos alcanzados por Bacon, Robert de Boyle e Isaac Newton a costa de Aristóteles, Platón y Pitágoras. En los siglos XIX y XX, los acontecimientos del siglo XVII se recordaron al menos como un nuevo florecimiento del intelecto humano tras el largo estancamiento de la Edad Media. El historiador del siglo XX Alexander Koyré sostenía que el logro de los fundadores de la ciencia moderna había sido «destruir un mundo y sustituirlo por otro» (Koyré, 1968). Su coetáneo Herbert Butterfield, en su obra clásica *The Origins of Modern Science* [Los orígenes de la ciencia moderna], decía de la revolución científica que «lo eclipsa todo desde los orígenes del cristianismo y reduce el Renacimiento y la Reforma al nivel de meros episodios» (Butterfield, 1949).

En los últimos años, las opiniones de los historiadores de la revolución científica —y en especial de su estatus excepcional— han sufrido notables revisiones (Shapin, 1996). Y ello por varias razones. En la actualidad, los historiadores se resisten a aceptar que tenga algún sentido hablar de «ciencia» durante el siglo XVII. Se admite que, en realidad, los hombres de ciencia y los filósofos naturales del siglo XVII (como se describirían a sí mismos) se dedicaban a un conjunto diverso de actividades cuyo encaje en las ideas modernas sobre la ciencia acaso fuera discutible. Actualmente, también sabemos mucho más sobre las actividades generadoras de conocimiento durante la Edad Media, debido a lo cual muchos historiadores sostienen que hay una importante continuidad entre las ideas y prácticas medievales y las posteriores. Por tanto, es mucho más difícil mantener que lo sucedido en el siglo XVII constituyó después de todo una ruptura sin precedentes con el pasado. Por regla general, la mayoría de los historiadores de la ciencia se sienten cada vez más incómodos con la idea de que exis-

te un único método científico. Sin esta creencia en *el* método científico queda cada vez menos claro en qué consiste *la* revolución científica. No obstante, sigue habiendo una buena razón para seguir utilizando el concepto. Como hemos acabado de ver, muchos comentaristas del siglo XVII creían a pies juntillas que estaban participando en un proceso revolucionario. Si hemos de tomar en serio nuestros temas y opiniones, desde luego sigue valiendo la pena analizar precisamente qué estaban haciendo y por qué pensaban que era tan importante.

En este capítulo se hará un repaso general muy básico y necesariamente breve de la revolución científica. Empezaremos examinando las inmensas transformaciones que tuvieron lugar en astronomía, una ciencia que, al menos según las versiones clásicas, experimentó durante ese período un cambio verdaderamente inusitado. Cuando piensan en la revolución científica, a la mayoría de las personas les viene a la cabeza ese cambio enorme de perspectiva desde un universo centrado en la tierra (o geocéntrico) a un universo heliocéntrico en el que aquélla queda relegada a la condición de simple planeta que gira alrededor del sol. A continuación analizaremos la filosofía mecanicista de muchos disertadores del siglo XVII que se veían en el meollo mismo de las nuevas perspectivas sobre la naturaleza que se estaban proponiendo durante dicho período. También abordaremos la aparición de nuevas formas de conocimiento, amén de nuevas ideas. Los filósofos hablaban de experimentos y de matemáticas al tiempo que proporcionaban herramientas nuevas e incluso un nuevo lenguaje que podía utilizarse para comprender la naturaleza. Terminaremos el capítulo con una aproximación al célebre Isaac Newton, aclamado por muchos de sus contemporáneos como el hombre que creó en solitario la Nueva Ciencia. Un breve examen de sus logros nos brindará una buena ocasión para responder a la pregunta con la que iniciábamos el capítulo: ¿hubo de veras una revolución científica?

Reubicación del cielo

Desde luego, en su concepción habitual, la astronomía fue uno los ámbitos controvertidos de la revolución científica. Muchos de los nom-

bres importantes que relacionamos inmediatamente con aquella gran transformación intelectual pertenecen a astrónomos que ejercían como tales. Recordemos a Tycho Brahe, Copérnico, Galileo, Kepler o incluso Newton. No obstante, hablando con propiedad, antes del siglo XVII en realidad la astronomía no formaba parte en absoluto de la filosofía natural. Se consideraba que, al igual que las matemáticas, se dedicaba sólo a accidentes y apariencias, mientras correspondía a la filosofía natural encargarse de las causas reales de las cosas. Esto era mucho más que una simple distinción técnica. Significaba, por ejemplo, que la astronomía ocupaba un lugar distinto del de la filosofía natural en los planes de estudio universitarios. También implicaba que los astrónomos, igual que los matemáticos, tenían un estatus intelectual y social inferior al de los profesores de filosofía natural. Ésta fue una de las razones, como veremos más adelante, de que Galileo estuviera tan satisfecho de haber convencido a Cosme de Médicis para que le contratara como filósofo de la corte y no como matemático. Sin embargo, como se suponía que su cometido era sólo el aspecto de las cosas y no su realidad, no cabía esperar que los astrónomos crearan modelos del cielo que fueran realistas en modo alguno. Su misión consistía simplemente en encontrar modelos que les permitieran describir y predecir con precisión los movimientos aparentes de los cuerpos celestes más que hallar formas de explicar cómo era realmente la estructura del universo, tarea esta reservada a los filósofos naturales.

Hablando en términos generales, los filósofos naturales del siglo XVI coincidían en una perspectiva aristotélica del universo. Según este modelo, la tierra estaba en el centro mismo del cosmos, mientras que la luna, el sol y los planetas giraban alrededor de ella en diversas esferas. La esfera de la luna definía la frontera entre el corruptible y cambiante mundo sublunar y el incorruptible e invariable cielo de encima. La mayoría de los astrónomos de la época adoptaron una versión del modelo ptolemaico del universo (fig. 2.1), elaborado por el astrónomo alejandrino Claudio Ptolomeo en el siglo II d.C. Ptolomeo había perfeccionado varias mejoras del modelo básico aristotélico, incluyendo una descripción y una predicción más exactas de los movimientos aparentes de los cuerpos celestes. Introdujo innovaciones como los epiciclos (en virtud de los cuales los planetas debían describir órbitas

FIGURA 2.1. El universo ptolemaico como aparece ilustrado en *Cosmographia* (1539), de Petrus Apianus. La tierra se halla en el centro del universo, con la luna, el sol y los cinco planetas dando vueltas a su alrededor. La esfera de estrellas fijas señala la frontera exterior del universo.

circulares en torno a puntos fijos de sus esferas así como órbitas circulares alrededor de la tierra (fig. 2.2) y los ecuantes (compleja estratagema mediante la cual la velocidad a la que un cuerpo celeste daba vueltas alrededor de la tierra se calculaba de tal modo que era constante con respecto a un punto distinto del centro de la órbita). Con argucias así, los discípulos de Ptolomeo pudieron crear tablas y mapas muy precisos del movimiento del cielo. Sin embargo, nadie pensaba que estos epiciclos y ecuantes describieran en absoluto la realidad. Eran simples técnicas geométricas utilizadas para «guardar las apariencias». Según la filosofía natural aristotélica, el movimiento circular perfecto sólo era posible en la esfera superlunar incorruptible (Kuhn, 1966; Lloyd, 1970, 1973).

Cuando en 1543 el clérigo polaco Nicolás Copérnico publicó su *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, resultó muy fácil para sus contemporáneos interpretarlo también precisamente de esa manera. De hecho, cualquier otra forma se habría considerado un tanto extraña. Copérnico sostenía que se podían obtener predicciones más precisas de los movimientos de los cuerpos celestes —y acabar con algunos de los aspectos estéticamente más discutibles del modelo ptolemaico,

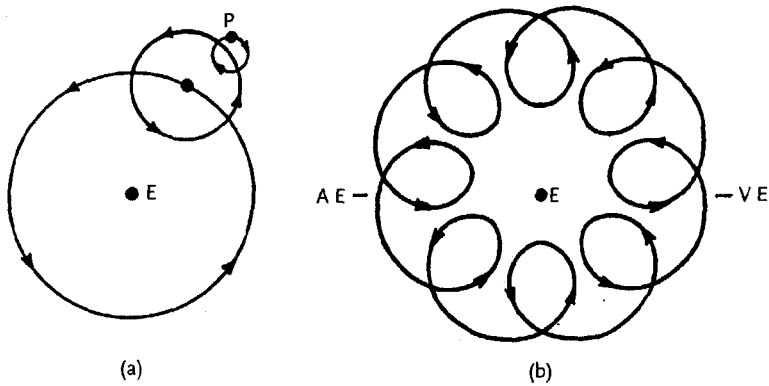


FIGURA 2.2. Ejemplo de cómo Ptolomeo utilizaba construcciones geométricas como los epiciclos para generar una imagen más precisa de los movimientos planetarios. En este caso, la disposición de los epiciclos en la izquierda da lugar al movimiento representado en la derecha.

como los ecuantes— dando por sentado que era el sol y no la tierra el que estaba situado en el centro del cosmos. Para muchos de sus lectores esto simplemente parecía otro ingenioso intento de «guardar las apariencias» y confeccionar tablas y mapas de estrellas más exactos. No obstante, el prefacio de *Sobre las revoluciones* sí hacía una afirmación sorprendente: sugería que su modelo reflejaba la realidad física (fig. 2.3). Copérnico parecía sostener que la astronomía tenía derecho a parte del territorio intelectual habitualmente ocupado por la filosofía natural. Si estaba en lo cierto, entonces su libro tendría repercusiones verdaderamente revolucionarias. No sólo sugería que los astrónomos podían competir con los filósofos naturales por estatus y autoridad intelectual, sino también que la tierra y la humanidad no estaban, después de todo, en el centro del universo. Sin embargo, el efecto de dicha afirmación quedó anulado por la inserción, en el texto publicado, de un prólogo sin firmar escrito por un amigo de Copérnico, el clérigo luterano Andreas Osiander, que dejaba sentado que la sugerencia de la realidad física del modelo heliocéntrico era en definitiva sólo una elucubración intelectual. Nada hacía sospechar que ésta no fuera la opinión de Copérnico, y como murió poco después de la publicación, no hubo forma de averiguarlo.

Copérnico apenas hizo algún esfuerzo para divulgar su innovación potencialmente prodigiosa. Sin embargo, seguramente para su más famoso discípulo, el astrónomo, matemático y filósofo natural italiano Galileo Galilei, la publicidad era lo fundamental. En el verano de 1609, Galileo, a la sazón humilde profesor de matemáticas de la Universidad de Padua, orientó su recién perfeccionado telescopio hacia el cielo y se valió de él para hacer diversos descubrimientos y afirmaciones sorprendentes. En su *Siderius nuncius* publicado un año después, Galileo aseguraba haber visto con su artilugio ciertas novedades: por ejemplo, innumerables estrellas nuevas jamás antes observadas o catalogadas, así como imperfecciones en la superficie de la supuestamente incorruptible luna. Y lo más importante, había descubierto cuatro planetas nuevos que, según afirmaba, giraban alrededor de Júpiter y no de la tierra como se suponía que hacían los otros. Galileo denominó «estrellas mediceas» a los nuevos planetas y dedicó su libro al gran duque Cosme de Médicis de la Toscana en un intento finalmente logrado de con-

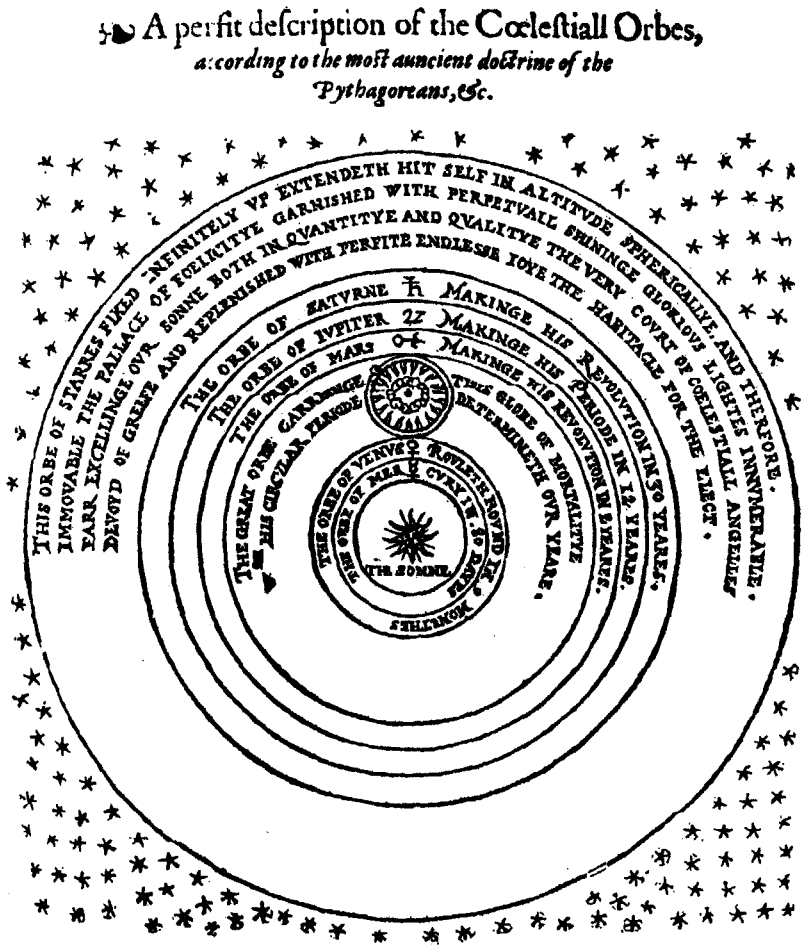


FIGURA 2.3. El universo copernicano como aparece ilustrado en *A Perfit Description of the Coelestiall Orbes* (1576), de Thomas Digges. El sol está situado en el centro del universo, con la tierra y otros planetas dando vueltas a su alrededor, mientras la luna gira alrededor de la tierra. Obsérvese que el universo todavía está delimitado por la esfera de estrellas fijas.

seguir el patrocinio del poderoso magnate (Biagioli, 1993). Como recompensa obtuvo un importante cambio de estatus. Fue nombrado profesor de filosofía en la Universidad de Pisa y matemático y filósofo de la corte al servicio de Cosme. Aquello supuso también un cambio en el estatus de la astronomía. De hecho, para preservar su recién adquirido prestigio, Galileo tuvo que sostener que sus descubrimientos astronómicos tenían también profundas consecuencias filosóficas.

Cuando en 1632 publicó su célebre *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, Galileo ya tenía fama de polemista. En muchos aspectos, esto formaba parte de su trabajo. De él se esperaba que entretuviera a sus benefactores de la corte florentina con debates ocurrentes. No obstante, en el *Diálogo...* fue un poco más lejos. Se valió de sus descubrimientos telescópicos y otros argumentos para organizar una apenas velada defensa de la verdad física de la teoría copernicana. Afirmaba que los datos del cielo aportados por su telescopio respaldaban dicha teoría y reforzaban los argumentos físicos a favor de la rotación de la tierra. El resultado fue desastroso para Galileo. El Santo Oficio lo mandó llamar a Roma, lo obligó a retractarse de sus creencias copernicanas y lo envió al exilio. Su libro fue prohibido. Es importante dejar clara la discusión que tuvo lugar entre Galileo y la Iglesia Católica (véase cap. 15, «Ciencia y religión»). En el pasado, la Iglesia no había puesto objeciones a discutir las ideas copernicanas siempre y cuando se expresaran en términos hipotéticos y se reconociera la autoridad suprema de las Escrituras a la hora de decidir sobre la cuestión. Por tanto, el pecado de Galileo estaba no tanto en lo que había dicho cuanto en el modo como lo había dicho. Su desafío iba dirigido a la autoridad de la Iglesia y su legitimidad como árbitro intelectual y también a la validez de la teoría aristotélica del universo (Redondi, 1987).

El ejemplo de la carrera de Galileo hace hincapié en la creciente importancia del mecenazgo en el apoyo al trabajo astronómico durante los siglos XVI y XVII. Para hacerse un nombre, Galileo necesitaba el respaldo económico y cultural de Cosme de Médicis. La función del patrocinio queda también muy clara en el caso del astrónomo danés Tycho Brahe, el cual siendo noble, hijo de un influyente miembro de la corte danesa, se encontraba en una envidiable posición para finan-

ciar su carrera como astrónomo así como para obtener un sostén sin precedentes de la corona danesa. El rey llegó a concederle una isla entera en la que construir su observatorio particular de Uraniborg (fig. 2.4). Pero su camino no estuvo exento de dificultades. Para un miembro de la nobleza, la astronomía no era una ocupación habitual. A Tycho le costó convencer a su familia y a sus pares aristócratas de que le permitieran satisfacer su pasión por la astronomía, así como a la comunidad de eruditos astrónomos de que lo admitieran en su seno como miembro de pleno derecho. Alcanzó cierta fama con una serie de detalladas observaciones sobre la Estrella Nueva que apareció en el cielo en 1572 —que ahora llamaríamos supernova—. Las observaciones de Tycho fueron especialmente interesantes porque, según decía, en ellas no se apreciaba indicio alguno de paralaje estelar. En otras palabras, ponían de manifiesto que la Estrella Nueva se encontraba demasiado lejos para estar dentro de la esfera sublunar de la física aristotélica. En vez de ello, podían considerarse como una prueba de corrupción y cambio en la supuestamente incorruptible e invariable esfera superlunar.

Instalado en Uraniborg, Tycho Brahe alcanzó fama gracias a observaciones astronómicas de una precisión inaudita, para las cuales no se valió de ningún telescopio. Lo que hizo fue diseñar y encargar los mejores instrumentos astronómicos que le permitían sus grandes recursos financieros. Y los empleó para ubicar con exactitud las posiciones de los planetas. Este trabajo de observación desempeñó un papel esencial en la creación de tablas astronómicas, utilizadas entre otras cosas para confeccionar el calendario y establecer la época adecuada de las festividades religiosas (como la Semana Santa). Éste era uno de los principales usos que se dio al nuevo modelo copernicano del universo, y las observaciones de Tycho sirvieron para que dichas tablas fueran aún más precisas. Sin embargo, Brahe no era copernicano. Aunque simpatizaba con los seguidores de Copérnico, dudaba del movimiento de la tierra. Así que se le ocurrió una solución propia, un sistema en el que la tierra permanecería en el centro del universo con el sol y la luna dando vueltas a su alrededor y el resto de los planetas girando alrededor del sol. Era un sistema que a simple vista podía parecer que conservaba lo mejor de ambos mundos, manteniendo la

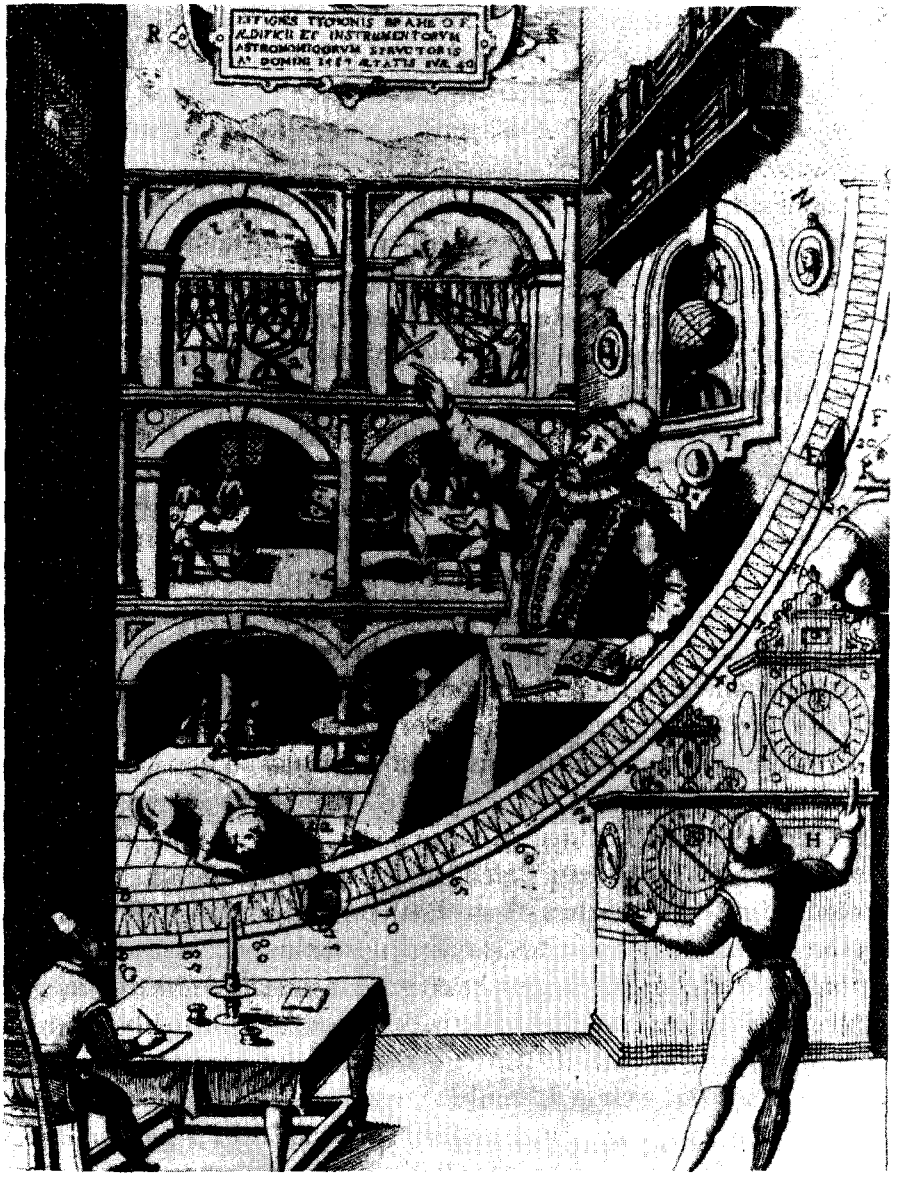


FIGURA 2.4. Imagen del observatorio de Tycho Brahe, en Uraniborg, de *Astronomiae instauraie mechanica (Mecánica de la astronomía renovada)*, de Tycho Brahe (1587). Obsérvese los instrumentos y los asistentes trabajando en un segundo plano.

integridad y la verosimilitud del cosmos geocéntrico aristotélico aunque añadiéndole la precisión y la simplicidad del modelo copernicano.

La controversia que rodeó los orígenes del sistema del universo ideado por Tycho fue lo que despertó la atención del astrónomo danés Johannes Kepler. Tycho estaba inmerso en una virulenta discusión con otro alemán, Nicolai Reymers Ursus, sobre el nuevo sistema, y afirmaba que Ursus había plagiado aspectos importantes del mismo. Tycho se convirtió en mecenas de Kepler, a quien reclutó en su campaña para desacreditar a Ursus. El propio Tycho se había trasladado por entonces a Praga para ser cliente de Rodolfo II, el emperador del Sacro Imperio Romano, y contrató a Kepler para que escribiera una defensa de sus derechos de originalidad frente a Ursus y para reducir el inmenso volumen de datos de observación acumulados durante su carrera a una forma que pudiera utilizarse para demostrar la superioridad del sistema tycónico. Kepler, alumno del astrónomo alemán Michael Maestlin, ya estaba adquiriendo cierta fama en los círculos astronómicos. Tras la muerte de Tycho en 1601, enseguida acabó sucediéndole como matemático imperial de Rodolfo, y heredó sus valiosísimos instrumentos astronómicos junto a sus todavía más valiosos datos registrados. Fue otro ejemplo de la importancia del mecenazgo real y aristocrático para mantener la labor astronómica y de lo esencial que era tener acceso a recursos.

Kepler no se mostró nada ansioso por utilizar los montones de observaciones de Tycho para defender el sistema celeste de su antiguo maestro. Igual que muchos de sus contemporáneos del siglo XVII, era platónico, estaba convencido de que el universo funcionaba conforme a principios armónicos. Se tomaba en serio la música de las esferas. Sin embargo, a diferencia de la mayoría de sus coetáneos, también era un copernicano comprometido. En *El secreto del universo* de 1596 ya había articulado un sistema del universo en el que las distancias entre las órbitas en las que los planetas giraban alrededor del sol estaban determinadas por la secuencia de los sólidos regulares platónicos (fig. 15.2, p. 443). Kepler tardó años en reducir las observaciones de Tycho a la simple ley que, como platónico convencido, estaba seguro de que los planetas seguían. En 1607 publicó los resultados, según los cuales tanto Copérnico como Tycho se habrían equivocado. Los planetas no gi-

raban alrededor del sol en círculos, sino que el recorrido que seguía cada uno era una elipse. Tras saldar la deuda con su maestro, Kepler regresó a su fascinación por la armonía y en 1619 publicó su *Harmonice mundi*, donde dejaba clara su convicción de que el universo funcionaba de acuerdo con las leyes de la armonía. El hecho de que un simple astrónomo y matemático (bien es cierto que antiguo matemático imperial del emperador del Sacro Imperio Romano) pudiera hacer contribuciones importantes a esa clase de discusión sobre filosofía natural era un ejemplo del nuevo estatus adquirido por la astronomía.

Durante más o menos el siglo que siguió a la publicación de *Sobre las revoluciones* de Copérnico, los círculos astronómicos fueron aceptando gradualmente la postura heliocéntrica. Pero mientras la astronomía permaneciera subordinada a la filosofía natural y limitara su objetivo a «guardar las apariencias», poca trascendencia tendría esa aceptación gradual. El sistema copernicano simplemente ofrecía un método más eficaz para calcular los movimientos de los planetas. Podría decirse, cuando menos, que el cambio realmente decisivo no fue el paso del geocentrismo al heliocentrismo sino la eliminación de la barrera entre las esferas sublunar y superlunar y la ampliación de la corrupción terrenal hasta abarcar los movimientos de las estrellas. Estos cambios formaban parte de otras variaciones en el estatus social y cultural de los astrónomos y los filósofos naturales. Junto con la barrera física entre la tierra y el cielo, se estaba desmoronando la barrera social entre la filosofía natural y la astronomía. Cada vez estaba más justificado que los simples astrónomos manifestaran opiniones sobre cuestiones filosóficas. El lugar social de la astronomía también estaba cambiando. Todos los astrónomos que hemos visto hasta ahora alcanzaron la fama fuera del enclaustrado mundo de las universidades. En la astronomía y, como veremos, también en la filosofía natural, el lugar del conocimiento iba a ser cada vez más el foro cívico.

Magia y mecanismo

¿Qué clase de mundo describían los nuevos sistemas de filosofía natural surgidos en ese período? Un rasgo común a los diversos sistemas

filosóficos naturales nuevos propuestos durante los siglos XVI y XVII era la conciencia clara de que resultaban novedosos. Se escribieron libros con títulos como *Novum organum* (Francis Bacon), *La nueva ciencia del movimiento* (Galileo) o *Phonurgia nova* (Athanasius Kircher); las aspiraciones de estos autores no dejaban lugar a dudas. Querían establecer una nueva base para el estudio del mundo natural. Para el historiador, es difícil generalizar abiertamente cuando se trata de hallar modos de describir estos nuevos sistemas de filosofía natural. Actualmente sabemos que estos intentos de crear una ciencia nueva variaban muchísimo, al menos en sus detalles. Había gran desacuerdo respecto a lo que parecería la Nueva Ciencia, cuál era el modo más seguro de proceder y qué debían expresar los resultados de las investigaciones. Desde una óptica moderna, al menos algunas de las vías seguidas por los protagonistas de la revolución científica en su búsqueda de conocimiento parecen claramente poco prometedoras. Otras encajan mejor en nuestras concepciones de lo que debería ser la ciencia. No obstante, es importante recordar que estos primeros filósofos naturales modernos tenían sobre el mundo ideas muy distintas de las nuestras —y también muy diferentes sobre lo que la ciencia debía ser capaz de expresar (Lindberg y Westman, 1990).

Al menos a algunos filósofos naturales, la magia les parecía una manera prometedora de investigar la naturaleza. En los siglos XVI y XVII hubo magos cuyas tradiciones se remontaban a la figura mitológica de Hermes Trismegisto. Se consideraba que la magia era la búsqueda de lo arcano, de cualidades «ocultas» de los objetos y los fenómenos naturales. Conocer estas características ocultas permitiría comprender el funcionamiento secreto de la naturaleza y las relaciones entre diferentes tipos de objetos naturales (Yates, 1964). Podía verse con claridad que ciertos objetos concretos —por ejemplo, los imanes— influían en otros sin que existiera contacto aparente. A muchos, la astrología también les parecía una vía interesante para indagar en lo oculto. Tratar de comprender cómo influían los movimientos de las estrellas y los planetas en el desarrollo de sucesos terrenos era una manera de vérselas con el funcionamiento oculto del universo. Asimismo, la alquimia parecía ofrecer la posibilidad de entender cómo distintas sustancias se influían recíprocamente y cuáles podían ser sus

cualidades esenciales. En los siglos XVI y XVII hubo también una próspera tradición de magia natural. Algunos magos naturales, como el cortesano y matemático isabelino John Dee o el erudito y estudioso jesuita Athanasius Kircher, podían provocar fenómenos impresionantes a voluntad. Kircher, por ejemplo, era famoso por haber inventado la linterna mágica y un reloj accionado por una semilla de girasol que seguía el curso del sol desde la salida hasta la puesta igual que la flor de dicha planta, lo que ponía de manifiesto la influencia oculta del sol en los objetos naturales.

Menos controvertida —al menos para las sensibilidades modernas— que la magia como herramienta para comprender la naturaleza era la filosofía mecanicista, según la cual la mejor manera de entender el cosmos era considerándolo una enorme máquina, siendo tarea de la filosofía natural averiguar cuáles eran los principios en que se basaba su funcionamiento. Cuando menos en algunos aspectos, la filosofía mecanicista era la antítesis de la tradición mágica, pues negaba la existencia misma de las cualidades ocultas que la magia intentaba investigar. El mecanismo de relojería fue la metáfora dominante de dicha filosofía. Todas las partes del reloj operaban en armonía para dar como resultado el movimiento final. Así era también como algunos filósofos naturales visualizaban el funcionamiento del universo: todas las partes actuando al unísono para generar los movimientos de la tierra y los planetas. La metáfora del mecanismo de relojería tenía la importante ventaja de presuponer también la existencia de un relojero celestial: si el universo era una pieza de un mecanismo complejo como un reloj, entonces, igual que los relojes tenían relojeros, el universo debía tener también un Creador. Pero la filosofía mecanicista no era aplicable sólo a fenómenos a gran escala como los movimientos de los planetas. Los filósofos mecánicos dedicaron su ingenio a descubrir mecanismos para todos los fenómenos de la naturaleza. Su objetivo era desterrar totalmente de la filosofía natural las cualidades ocultas mediante la demostración de que incluso las fuerzas más misteriosas podían reducirse al funcionamiento de principios mecánicos sencillos.

El decano de la filosofía mecanicista de principios del siglo XVII era sin duda el matemático y filósofo natural francés René Descartes. Erudito de formación jesuítica y antiguo soldado mercenario durante

la guerra de los Treinta Años, Descartes había resuelto a las mil maravillas la reducción de todo el conocimiento humano a principios básicos, que a la larga se tradujeron en la que seguramente es la máxima filosófica más reconocible de la historia moderna: *Cogito ergo sum* [Pienso, luego existo]. En su *Discurso del método* (1637), Descartes expuso su proyecto para una nueva y ambiciosa filosofía de la naturaleza. Su representación del universo era inequívocamente mecanicista. Descartes concebía el universo como un *plenum*, es decir, un espacio lleno de materia. En su cosmología no había sitio para el vacío. Dado que el universo estaba lleno de materia, si se movía una parte, las otras también tenían que moverse. La manera más sencilla de lograrlo era el movimiento en un círculo —de ahí el movimiento circular de los planetas alrededor del sol—. Para Descartes, por tanto, el universo constaba de un número indeterminado de vórtices, cada uno de los cuales giraba en torno a un sol o una estrella arrastrando a los planetas con él. Los planetas se mantenían en órbitas estables gracias a la constante presión de materia sutil que giraba continuamente hacia fuera desde el sol central. Descartes llegó incluso a valerse de su teoría de los vórtices para explicar el movimiento de las mareas —uno de los problemas más insolubles para los matemáticos prácticos del siglo XVII.

Como sucedía con otros filósofos mecanicistas, las teorías de Descartes explicaban mucho más que fenómenos a gran escala como el movimiento de los planetas o de las mareas. En el universo de Descartes, todo constaba de partículas de materia. La luz, por ejemplo, consistía en un torrente de partículas imperceptibles que salían desde el sol. También intentó dar cuenta del fenómeno del magnetismo basándose en principios mecánicos, corpusculares (fig. 2.5). El magnetismo era uno de los ejemplos preferidos de los magos para probar la existencia de cualidades ocultas. William Gilbert, autor de *De magnete* —la primera descripción exhaustiva del magnetismo, publicada en 1600—, había llegado a comparar los efectos de los imanes con los del alma. Según Descartes, el magnetismo resultaba de un torrente de corpúsculos (o partículas) que salían del cuerpo magnético. Estos corpúsculos tenían forma de tornillos de rosca derecha o izquierda, por lo que, dependiendo de la forma, harían que los objetos a los que se acercaran se movieran hacia el imán o se alejaran del mismo. La filosofía

mecanicista de Descartes abarcaba incluso a los animales y las personas. Descartes describió magníficamente a todos los animales ni más ni menos que como máquinas complejas. Adoptó el mismo enfoque con respecto al cuerpo humano, sólo que en el caso de los seres humanos, éstos poseían un alma animada que controlaba su cuerpo mediante la glándula pineal. Descartes estaba convencido de que la correcta utilización del mecanismo del cuerpo a través de una dieta apropiada podía permitir la prolongación indefinida de la vida humana (véase cap. 19, «Ciencia y medicina»).

El filósofo natural anglo-irlandés Robert Boyle compartía con Descartes la opinión de que todos los fenómenos naturales podían explicarse por la acción mecánica de partículas o corpúsculos diminutos de materia. Según Boyle, en la creación original del universo, la ma-

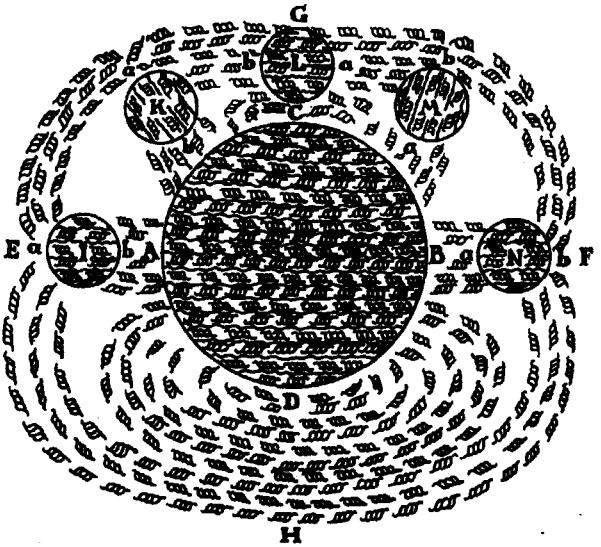


FIGURA 2.5. Modelo de Descartes sobre los orígenes mecánicos del magnetismo. Del cuerpo magnético emana un flujo de partículas magnéticas con forma de pequeños tornillos. Cuando estas partículas atraviesan otros cuerpos, hacen que éstos se acerquen o se alejen del cuerpo magnético en función de que los tornillos tengan rosca a la derecha o a la izquierda.

teria uniforme y homogénea de la que en un principio se componía estaba repartida entre toda una serie de corpúsculos móviles de distintas formas y texturas. Eran los diferentes tamaños, formas y texturas de estas partículas de materia, junto con las diversas maneras de moverse, lo que daba razón de las propiedades visibles y tangibles de la materia. Boyle difería de Descartes en que se mostraba bastante más cauto a la hora de especificar cuáles eran realmente las formas y los tamaños de esas partículas invisibles. Mientras Descartes estaba preparado para establecer las formas exactas de las partículas causantes del magnetismo, por ejemplo, Boyle se contentaba con dejar estas cuestiones abiertas a la discusión. Por lo que a él respectaba, lo importante era simplemente que estas explicaciones mecanicistas de los fenómenos naturales en función de la conducta y la forma de los corpúsculos materiales fueran aceptadas como las más verosímiles de entre todas las disponibles. Mientras Boyle reconocía, por ejemplo, que, en general, la mejor explicación del color o la textura de un objeto debía referirse a las clases de partículas de que constaba, admitía también que la cuestión de cómo eran exactamente aquéllas seguía siendo objeto de especulación.

La cautela con la que Boyle planteaba la cuestión de ofrecer explicaciones mecanicistas específicas —más que generales— de los fenómenos queda clara en las descripciones de sus famosos experimentos con la bomba de aire, en los que nos detendremos más adelante. Entre finales de la década de 1650 y principios de la de 1660, Boyle llevó a cabo un conjunto de experimentos con un nuevo material, la bomba de aire, creada para investigar las propiedades de éste. Basándose en esos experimentos, Boyle sostenía que el aire estaba compuesto de partículas elásticas. Y debido a esta naturaleza elástica, podía resistir cualquier fuerza ejercida sobre él y expandirse cuando dicha fuerza desapareciera. En sus *New Experiments Physico-Mechanical Touching the Spring of the Air* [Nuevos experimentos psicomecánicos en lo tocante a la elasticidad del aire] (1660), Boyle afirmaba que, aunque podía estar realmente seguro de la verdad de los fenómenos producidos en su bomba de aire —en otras palabras, que el aire actuaba efectivamente como él había dicho—, no podía tener la misma certeza respecto a los detalles de una explicación causal de esos fenóme-

nos. Como filósofo mecanicista podía estar seguro de que las causas de los fenómenos eran de carácter mecánico, pero cualquier otra explicación del mecanismo detallado sólo era, como mucho, probable. Las partículas de aire quizá eran como muelles de acero, pero también tal vez no.

Pese a esta especie de prudencia, desde luego a muchos de sus seguidores la filosofía mecanicista les parecía el mejor modo de formular descripciones causales de los fenómenos naturales. El filósofo natural inglés Robert Hooke, otrora investigador ayudante de Boyle, llegó a sugerir que, a su debido tiempo, tal vez sería posible ver realmente las partículas básicas de materia mediante el recién inventado microscopio. Incluso en ausencia de tales pruebas sensoriales directas de la existencia de esas «pequeñas máquinas de la naturaleza», la mayoría de los filósofos naturales estaba dispuesta a reconocer que plantear como hipótesis su existencia era el mejor modo de proceder para elaborar descripciones de la naturaleza filosóficamente aceptables. Por supuesto, era una alternativa mejor que recurrir a la presencia de cualidades ocultas intrínsecas en las diferentes clases de materia. Cuando, en 1644, Evangelista Torricelli llevó a cabo experimentos con bombas y líquidos lo hizo con la finalidad de demostrar que era posible explicar mecánicamente los fenómenos sin necesidad de echar mano a la idea de que «la naturaleza aborrece el vacío». Blas Pascal tenía el mismo objetivo en mente cuando en 1648 repitió los experimentos en las laderas del Puy de Dôme (Francia). Una ventaja que, según muchos, tenía la adopción de explicaciones mecanicistas era que eliminaba la tentación de dotar a la materia de atributos animistas. Como sostenía el sacerdote francés Marin Mersenne, volver activa la materia tal vez generaría la peligrosa posibilidad de acabar con la distinción entre Dios y naturaleza. Era mucho más aconsejable seguir a los mecanicistas: aceptar que la materia era esencialmente pasiva y que unos objetos y otros diferían sólo en el tamaño y la forma de sus partículas.

Como ya hemos visto con el ejemplo de Descartes, estos argumentos mecanicistas eran aplicables a los cuerpos humanos y de animales igual que, de manera más convencional, al mundo inanimado. La descripción que el médico inglés William Harvey hizo de la circu-

lación de la sangre fue aclamada por sus contemporáneos como un clásico ejemplo de filosofía mecanicista aplicada a cuerpos animados, pese a que el propio Harvey tenía dudas sobre las bondades de la filosofía mecanicista. En su *De motu cordis: movimiento del corazón y de la sangre de los animales* (1628) defendía que la sangre circulaba por el cuerpo, pasaba por el corazón y los pulmones hasta llegar a las arterias, mediante las cuales alcanzaba las extremidades antes de regresar al corazón por las venas. Siguiendo lo que consideraban el ejemplo de Harvey, algunos que se autoproclamaron iatromecanicistas (de la palabra griega *iatro*, que significa «médico»), como Giovanni Borelli, sostenían que conocer el cuerpo humano en calidad de máquina compleja era clave para el avance de la medicina. Según Hermann Boerhaave, podía comprobarse que todos los componentes anatómicos que constituían el cuerpo tenían sus equivalentes en diversos tipos de maquinaria: «Observamos que algunos parecen *columnas*, *puntales*, *vigas transversales*, *vallas protectoras*, *envolturas*; otros son como *hachas*, *cuñas* y *poleas*; y otros como *cuerdas*, *prensas* o *fuelles*; y aún otros como *cedazos*, *filtros*, *tuberías*, *conductos* y *recipientes*; y la facultad de ejecutar varios movimientos mediante estos instrumentos se conoce como sus funciones; las cuales son realizadas por leyes mecánicas, y sólo gracias a éstas resultan inteligibles». Para Boerhaave, el cuerpo humano era simplemente una compleja máquina hidráulica (véase cap. 19, «Ciencia y medicina»).

Los defensores de la filosofía mecanicista a menudo se alineaban de manera bastante explícita en contra de los practicantes de la magia y de los que creían en la existencia de cualidades ocultas en la naturaleza. A muchos les parecía que explicar simplemente algún rasgo de la naturaleza en función de atributos intrínsecos de la materia no suponía explicación ninguna. Esto era lo que el dramaturgo Jean-Baptiste Molière satirizó en su descripción de los filósofos naturales que explicaban las capacidades opiáceas inductoras del sueño aludiendo a que el opio poseía «cualidades adormecedoras». Historiadores recientes han sido bastante más prudentes que sus contemporáneos de mentalidad mecanicista a la hora de rechazar sin más a los practicantes de la magia. La mayoría de los historiadores de la revolución científica aceptan que la magia desempeñó un papel importante en los debates

intelectuales de la época. Los magos y los filósofos mecanicistas sí parecen haber compartido la preocupación por esclarecer las propiedades de la materia mediante el análisis de sus cualidades ocultas, tanto si se consideraba que éstas eran innatas como si no. También compartían el hecho de tener conciencia clara de la novedad. La mayoría de los filósofos naturales de ese período tenían en común la percepción de que estaban participando en un proyecto esencialmente nuevo, al margen de cómo describieran luego los detalles del mismo.

Nuevos modos de conocimiento

Cuando alababan la novedad de la Nueva Ciencia, quienes la practicaban no tenían en mente sólo lo que estaban investigando sobre la naturaleza del universo. A su juicio, era igual de importante la cuestión de cómo se había adquirido ese conocimiento nuevo. Casi todos estaban de acuerdo en que la gran diferencia entre el tipo de conocimiento que ellos poseían y las variedades anteriores era que el primero se basaba más en la experiencia que en la autoridad. Se decía que los «escolásticos» —concepto con el que eran despachadas las generaciones anteriores— habían basado sus pretensiones eruditas en la autoridad de los textos antiguos, sobre todo de Aristóteles y sus intérpretes medievales. En cambio, los promotores de la Nueva Ciencia sostenían que su conocimiento se basaba en la experiencia real del mundo. Ya hemos mencionado en qué grado los filósofos naturales del siglo XVII subrayaban el carácter novedoso de su ciencia. Esto es lo que tenían sobre todo presente al hacer tales afirmaciones. Su ciencia era nueva porque se fundamentaba en un conjunto de supuestos totalmente distintos, en primer lugar sobre el mejor modo de adquirir conocimiento. Mientras las generaciones anteriores habían buscado conocimiento en los libros de Aristóteles, los integrantes de la nueva generación se mostraban orgullosos de haber comprendido que el mejor acceso al conocimiento pasaba por leerlo en el «libro de la naturaleza».

Asimismo, cada vez más filósofos naturales afirmaban que el libro de la naturaleza estaba escrito en el lenguaje de las matemáticas, para cuyo estatus epistemológico —y social— esto suponía un cambio

fundamental. Como hemos visto, tradicionalmente se había considerado que, desde un punto de vista epistemológico, las matemáticas eran inferiores a la filosofía natural. Se entendía que ésta se ocupaba de la naturaleza real de las cosas: su esencia. En cambio, las matemáticas se encargaban simplemente de cualidades accidentales como los números. Desde luego, se pensaba que las matemáticas procuraban certezas de alguna clase, pero los filósofos naturales alegaban que el grado de certidumbre era muy limitado. Las conclusiones a las que se llegaba mediante el razonamiento matemático eran verdaderas en la medida en que se dieran por ciertas las premisas de las que partía el argumento —y se entendía que establecer la verdad de esas premisas quedaba fuera del alcance del razonamiento matemático—. A esas diferencias en cuanto al estatus epistemológico se añadirían las del estatus social. En los planes de estudio universitarios, las matemáticas no ocupaban una posición tan elevada como la filosofía natural. Los profesores de matemáticas ganaban menos que sus colegas filósofos, de lo cual Galileo, por su parte, era muy consciente. También se consideraban un empeño mucho más práctico que la filosofía natural.

Las matemáticas no abarcaban sólo los aspectos que en la actualidad podrían definirse como razonamiento «puro», por ejemplo, la geometría, sino también actividades más prácticas, como la aritmética. Para algunos autores, las matemáticas no eran, hablando con propiedad, una disciplina académica ni mucho menos, sino algo que hacía el mecanicismo, «propio de *comerciantes*, *mercaderes*, *marineros*, *carpinteros*, *agrimensores* y gente por el estilo». Es un ejemplo extremo, pero aun así pone de relieve el hecho de que las matemáticas eran —al menos para algunos— una práctica epistemológica de menor rango social. Las matemáticas prácticas eran una actividad desarrollada en torno a la manipulación de diferentes instrumentos, como sextantes, cuadrantes o artefactos como la regla de cálculo (fig. 2.6). No obstante, en una época en que aumentaban las exploraciones y los viajes marítimos y se empezaba a cercar las tierras de cultivo y a confeccionar mapas más precisos, las matemáticas aplicadas eran innegablemente útiles. Los hacendados (y también lo aventureros) necesitaban cada vez más las destrezas de los matemáticos prácticos e incluso ellos mismos comenzaron a adquirir cierto nivel de competencia al

FIGURA 2.6. Frontispicio de *A New System of Mathematicks* (1681), de Jonas Moore. El conjunto de instrumentos matemáticos aquí ilustrados revela la importancia que estaban adquiriendo las matemáticas prácticas durante el siglo XVII.

respecto (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»). Naturalmente, todo esto se tradujo en una mayor visibilidad cultural de los matemáticos, en especial en las cortes principescas y entre las familias aristocráticas hacia las que el centro de gravedad intelectual se desplazó resueltamente, lejos de las universidades dominadas por los aristotélicos.

Como vimos antes, fue esta nueva orientación la que aprovechó Galileo para pasar de profesor de matemáticas en Padua a filósofo en la corte de los Médicis en Florencia. Igual que hizo con la astronomía, parte de la estrategia de Galileo consistía en insistir en el estatus filosófico de las matemáticas. Como él mismo y otros afirmaban, el libro de la naturaleza estaba escrito en el lenguaje de las matemáticas. Según Galileo, la filosofía natural debía expresarse en términos matemáticos porque la naturaleza tenía una estructura matemática. Por tanto, el principal objetivo de la filosofía natural tenía que ser la elaboración de leyes de la naturaleza expresadas matemáticamente, como las leyes de Galileo sobre la caída de los cuerpos, de acuerdo con las cuales todos los cuerpos caen a tierra a la misma velocidad con independencia de su peso. Había incluso la pretensión de rivalizar con el pedigrí aristotélico de los escolásticos. Los matemáticos recurrieron a la autoridad de Platón y Pitágoras para establecer la naturaleza matemática del mundo natural. Esto es lo que hizo Kepler, por ejemplo, con su temprano argumento de que las distancias entre las órbitas de los planetas estaban definidas por la serie de cinco sólidos platónicos: cubo, tetraedro, dodecaedro, octaedro e icosaedro.

No obstante, el estatus de las descripciones matemáticas del mundo natural seguía siendo objeto de disputa. Por ejemplo, no escapó a la atención de los críticos el hecho de que la ley de Galileo sobre la caída de los cuerpos no se cumplía en el mundo real sino sólo en un mundo idealizado desde el punto de vista matemático. Para superar esto, Galileo tuvo que sostener que era realmente su modelo matemático, idealizado, sin rozamiento, y no la confusa realidad lo que de algún modo había captado adecuadamente la esencia del fenómeno. A los filósofos naturales les preocupaba el estatus epistemológico —el grado de certeza— que debía concederse a los resultados de los argumentos matemáticos relativos al funcionamiento del mundo natural. ¿Cuál era concretamente el carácter del nexo entre el universo meca-

nicista compuesto de partículas en movimiento y las descripciones matemáticas del mismo? ¿Cómo podía garantizarse la integridad de esta correspondencia? Incluso un filósofo matemático como Boyle, que al principio se alegró de poder proclamar que el libro de la naturaleza estaba «escrito en letras matemáticas», en la práctica era más cauto respecto a escribir su propia filosofía natural en lenguaje matemático. Uno de los problemas que veía Boyle en las matemáticas era que, como muchos de sus contemporáneos, estaba convencido de que, para mantener su autoridad —apelar a la experiencia del mundo comúnmente aceptada del mayor número posible de personas—, la filosofía natural debía ser accesible. Y las matemáticas no lo eran.

Boyle, como muchos otros, tenía gran interés en subrayar que la Nueva Ciencia era ciencia empírica. En vez de depender de la autoridad de los antiguos, él y sus contemporáneos filósofos se proponían fundamentar su ciencia en la autoridad de sus propios sentidos. La experiencia era la clave para construir teorías nuevas sobre el mundo natural. Desde una perspectiva moderna sencilla, esto no parece que deba crear demasiados problemas. Dicha sensación es en sí misma testimonio del éxito de los filósofos naturales modernos cuando establecen este criterio como base idónea para investigar el funcionamiento de la naturaleza. No obstante, los propios autores del siglo XVII eran plenamente conscientes de los problemas filosóficos que aparecerían al convertir la experiencia cotidiana en conocimiento firme. Sabían que razonar partiendo de experiencias individuales hasta llegar a generalizaciones universales era un camino repleto de dificultades. Sabían que se necesitaban modos de juzgar qué clases de experiencias había que considerar dignas de crédito y cuáles no. Fue éste un período en que se expandía enormemente el horizonte de la experiencia humana en el mundo occidental, cuando viajeros y exploradores traían consigo a su regreso descripciones de extraños encuentros en tierras lejanas así como ejemplares exóticos de plantas y animales. Por un lado, esas fuentes novedosas de información parecían justificar el escepticismo respecto a la fiabilidad de la autoridad antigua. Por otro, y los contemporáneos eran alarmantemente conscientes de ello, también planteaban la cuestión de qué experiencias había que considerar

fuentes legítimas de conocimiento y qué pruebas podían darse por buenas.

Uno de los más destacados defensores filosóficos del conocimiento empírico fue el abogado y cortesano inglés Francis Bacon, según el cual no había duda de que el único fundamento creíble del verdadero conocimiento era la experiencia avalada y no la autoridad antigua. Sin embargo, sostenía Bacon, la experiencia, para ser útil, ha de ser adecuadamente supervisada. Recurriendo explícitamente a su formación y experiencia legal como inquisidor del Estado, insistía en que, para ser provechosa, la experiencia tenía que estar organizada. «Es como si un reino o Estado quisiera llevar sus consultas y asuntos no mediante cartas e informes de embajadores y mensajeros de confianza sino a través del cotilleo de las calles», decía con mofa; «pasa exactamente lo mismo con el sistema de gestión introducido en la filosofía en relación con la experiencia.» La solución de Bacon era convertir la cuestión del hallazgo empírico de hechos en un sistema colectivo muy regulado. En su *La ciudad del sol; Nueva Atlántida*, Bacon defendía la Casa de Salomón, institución dedicada a la adquisición de conocimientos científicos de manera disciplinada y en colaboración. Bacon concebía una jerarquía de investigadores, desde los humildes recolectores de hechos en el nivel más bajo hasta los filósofos en el más alto, todos implicados en la producción sistemática de conocimiento científico. La Casa de Salomón no se llegó a fundar, aunque la visión de Bacon sin duda desempeñó un papel en la creación, en el siglo XVII, de instituciones científicas colaboradoras como la Royal Society de Londres o la Académie des Sciences de París (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»). De cualquier modo, fue ampliamente aceptada su idea de que extraer conocimiento de la experiencia requería un método disciplinado y que no cualquier experiencia (ni la experiencia de cualquiera) podía considerarse una base fiable de conocimiento (Martin, 1992).

La experiencia disciplinada y meticulosamente regulada estaba en el núcleo del proyecto experimental de Robert Boyle, como se demuestra en sus ensayos con la bomba de aire. Los experimentos de Boyle se consideraban comúnmente como modelos —al menos en Inglaterra— de práctica experimental apropiada. Boyle los utilizó para

hacer diversas afirmaciones sobre la constitución y la naturaleza del aire (véase cap. 3, «La revolución química»). No obstante, era muy consciente de que el procedimiento no estaba tan claro. Por ejemplo, todo lo que ocurría dentro de la bomba de aire era artificial. No resultaba evidente que el modo en que el aire se comportaba en esas circunstancias reflejara con precisión su conducta natural. Incluso partiendo de la aceptación general de una homología entre lo que pasaba dentro de la bomba y lo que pasaba en la naturaleza, Boyle aún tuvo que esforzarse mucho para convencer a su escéptica audiencia de la validez de sus aseveraciones. Redactó informes minuciosamente detallados sobre lo que había observado en sus experimentos. Llevó a cabo ensayos en público, ante testigos. Todo ello era esencial si se trataba de convencer a los demás de que había que aceptar como digno de crédito el testimonio sobre sus experiencias con la bomba de aire. He aquí uno de los motivos por los que él y otros como él creían que era tan importante crear sociedades científicas como la Royal Society. Aun así, Boyle se mostraba cauto respecto a lo que podría deducirse de sus experimentos. Como ya hemos visto, aunque consideraba que sus informes sobre el comportamiento del aire respondían a la verdad, cualquier conexión de esa conducta con la verdadera constitución del aire seguía siendo hipotética (Shapin y Schaffer, 1985).

Como hemos sugerido, la profunda conciencia que los practicantes del siglo XVII tenían de la necesidad de demostrar la validez de las experiencias fue un factor que influyó en el crecimiento de las sociedades científicas. La mayoría de los autores filosóficos coincidían en que la clave de la información empírica fiable radicaba en la fiabilidad de los testigos. Por eso Boyle y muchos otros hicieron experimentos en público. Cuantos más testigos hubiera —y cuanto más estatus social tuvieran—, más fiables serían los resultados del ensayo. A falta de testigos, los investigadores hacían todos los esfuerzos posibles para elaborar informes lo suficientemente detallados y técnicos de sus experiencias para que los demás se convencieran de su veracidad. También por entonces se habían puesto de moda las vitrinas de curiosidades (Findlen, 1994). Los filósofos naturales y sus mecenas coleccionaban y exhibían objetos curiosos naturales (y artificiales) de toda clase para así poner de manifiesto la diversidad en la naturaleza —y, desde lue-

go, su propio prestigio (véase cap. 16, «Ciencia popular»)—. Muchos filósofos naturales empíricos coincidían con Francis Bacon en su convicción de que elaborar conocimiento nuevo era una empresa basada esencialmente en la colaboración. Esto procuraba una razón de por qué era importante que fueran capaces de confiar recíprocamente en sus observaciones, lo cual, a su vez, explicaba por qué los investigadores debían ser también caballeros, en contraposición a los artesanos, los comerciantes, las mujeres o incluso los extranjeros. Tradicionalmente, se consideraba que los caballeros eran más dignos de confianza porque se suponía que eran económicamente independientes y, por tanto, estaban libres de influencias externas. Muchos también se mostraban de acuerdo con Bacon en que la filosofía natural tenía que ser una cuestión cívica, pues cumplía una función importante en la consecución del bien para la comunidad —otra razón por la que los caballeros eran los más indicados para ejercerla—. Entre otras cosas, esto daba a entender que la nueva filosofía natural experimental debía asumir también el papel de producir conocimiento útil (Shapin, 1994).

Como dijimos antes, esta preocupación por la transparencia del conocimiento de la filosofía natural era uno de los motivos subyacentes a los recelos de Boyle y otros con respecto al lugar de las matemáticas en la nueva filosofía mecanicista. Por lo que a ellos se refería, la clave para crear Nueva Ciencia fiable era hacerla lo más accesible posible. Se podía aprobar, verificar y autentificar conocimiento nuevo, y de este modo incorporarlo lentamente a un nuevo consenso, con lo que pasaría a formar parte de la reserva común y universal de experiencia. A este respecto, la insistencia en que el libro de la naturaleza estaba escrito en el lenguaje de las matemáticas era en cierta forma un impedimento. En el siglo XVII, las matemáticas distaban de ser un lenguaje accesible y que en general se entendiera. Más bien al contrario, era una actividad sumamente técnica cuyo pleno dominio estaba al alcance sólo de unos cuantos expertos. No obstante, pese a esos problemas, pocos entusiastas —si acaso alguno— de la Nueva Ciencia negaban que las matemáticas constituían el lenguaje de la naturaleza; desde luego, cada vez se ponía más como ejemplo de razonamiento claro. Al fin y al cabo, lo que los filósofos naturales del siglo XVII buscaban pre-

cisamente eran modelos para métodos adecuados de razonamiento. Querían estar seguros de que su modo de conocimiento, así como el conocimiento en sí mismo, se levantaba sobre cimientos seguros.

¡Hágase Newton!

Muchos de los contemporáneos y discípulos directos de Isaac Newton consideraban que éste había sido el encargado de dar los toques finales a la revolución científica. Como expresó entusiasmado el poeta Alexander Pope:

> La Naturaleza y su Ley yacían en la oscuridad.
> Y Dios dijo, *¡Hágase Newton!*, y se hizo la claridad.

Newton logró reunir los dispares y fragmentarios elementos de la Nueva Ciencia y ensamblarlos en un todo coherente. En muchos aspectos, era también la personificación del filósofo natural: rudo, difícil y solitario, así como el arquetipo del genio científico para las generaciones venideras. Hijo de un próspero pequeño terrateniente de Lincolnshire, Newton había nacido el día de Navidad de 1642 (o el 4 de enero de 1643 para el resto de Europa, pues se había adoptado el calendario gregoriano) y estudiado en la escuela primaria local antes de ingresar en el Trinity College de Cambridge. Era docente del Trinity cuando escribió los dos libros que le dieron fama: los *Principia*, publicados en 1687, y la *Óptica*, que vio la luz finalmente en 1704, después de su nombramiento como presidente de la Royal Society y, no por casualidad, tras la muerte de su archivengador Robert Hooke. Cuando murió, en 1727, ya no era un sabio de vida recluida sino una figura pública poderosa e influyente, que reunía a su alrededor un círculo de confesos newtonianos comprometidos con su visión de lo que debía ser la filosofía natural y cómo tenía que ser ejercida.

Vale la pena detenerse un momento en la portada de la gran obra matemática de Newton. El título completo de los *Principia* era *Philosophiae naturalis principia mathematica*, o los *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Anunciaba un proyecto ambicioso. Desde

luego, Newton estaba suscribiendo la idea de que las matemáticas eran el lenguaje de la naturaleza y que la tarea de la filosofía natural consistía en desvelar las leyes matemáticas ocultas que regían el funcionamiento del universo (Cunnigham, 1991). También estaba dejando claro a sus lectores que sabía de qué leyes se trataba. De hecho, la portada de los *Principia* notificaba al mundo que Newton había sacado a la luz los secretos del universo. Pese a ser un libro tan ambicioso, los *Principia* tuvieron un origen relativamente confuso. Según algunas anécdotas, el libro empezó siendo una respuesta a una pregunta del astrónomo Edmund Halley (*descubridor del cometa al que* dio nombre), quien en una reunión con Newton, en 1684, había preguntado a éste si podía averiguar qué recorrido seguiría un objeto (como un planeta) sometido a la influencia de una fuerza que variara de manera inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el centro. Newton contestó que, según sus cálculos, la trayectoria sería una elipse —como las órbitas de los planetas alrededor del sol—, pero que había extraviado la prueba. Halley se encogió de hombros en señal de complicidad y regresó a Londres. Y Newton se sentó a recuperar la prueba. Unos años después, el resultado fue los *Principia*.

Newton empezó los *Principia* con una serie de definiciones de las propiedades físicas de cuerpos naturales —como masa, momento, inercia y fuerza— de las que se iría ocupando en el resto del libro. Después prosiguió con la formulación de sus tres leyes fundamentales del movimiento: que un cuerpo se mantendrá estrictamente en su estado de *movimiento uniforme en una línea recta*, o en su estado de reposo, a menos que sobre él impacte una fuerza; que todo cambio en el movimiento de un cuerpo es proporcional a la fuerza motriz aplicada; y que para cada acción hay una reacción igual y opuesta. En los tres siguientes libros de los *Principia*, Newton desarrolló esas proposiciones. En el libro 1, estudió el movimiento de cuerpos sometidos a la acción de distintas clases de fuerzas, y demostró, entre otras cosas, que si un cuerpo sigue una trayectoria elíptica, la fuerza que actúa sobre el mismo ha de ser inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde el centro. En el libro 2, estudió el movimiento de cuerpos en varios medios resistentes. En el libro 3, el «Sistema del mundo», aplicó la teoría general elaborada en el libro 1 específicamente a los mo-

vimientos de cuerpos celestes, estableciendo de paso su ley de la gravitación universal. Tras dejar claro que la fuerza que intervenía para mantener a la luna en su órbita era la misma que provocaba la aceleración de los cuerpos que caen en la superficie de la tierra, sostuvo que «la economía de la naturaleza requiere que hagamos a la gravedad responsable de la fuerza orbital que actúa en cada uno de los planetas». Era una auténtica proeza —y se reconoció comúnmente como tal.

La *Óptica* de Newton era, en muchos aspectos, un libro muy diferente. Pese a su accesibilidad (o tal vez a causa de ello) en comparación con los muy técnicos cálculos de los *Principia*, fue también bastante más polémico. La *Óptica* empezaba exponiendo una teoría de los colores que Newton había elaborado varias décadas antes en su «New Theory about Light and Colours» [Nueva teoría sobre la luz y los colores], publicada en las *Philosofical Transactions* de la Royal Society en 1672. En este trabajo, Newton atacaba la idea dominante de que los colores eran fruto de ciertas modificaciones en la luz blanca y sugería que ésta resultaba de la combinación de distintos colores de luz. Utilizó sus famosos experimentos con prismas, en los que se usaban prismas de cristal primero para disociar la luz en colores separados y luego para recombinar estos colores y formar nuevamente luz blanca. Es importante dejar claro el grado de importancia que Newton concedía a ese experimento. Para él, demostraba su teoría de los colores, era un *experimentum crucis*, un experimento crucial que probaba su teoría más allá de toda duda fundada. Fue por eso por lo que Newton reaccionó tan furiosamente contra la sugerencia de Robert Hooke de que, en realidad, había que interpretar el experimento de una manera distinta. Para Newton, eso era un ataque no sólo a su interpretación del ensayo, sino a su integridad personal.

En la *Óptica* había mucho más que su teoría de los colores. Newton utilizó el libro y las sucesivas ediciones para esbozar su visión del rumbo futuro de la filosofía natural. Concretamente, introdujo varias Dudas en las que incluía su parecer sobre diversas cuestiones de filosofía natural, como la naturaleza de la luz, las causas de los fenómenos eléctricos y magnéticos recién descubiertos o la posible existencia de un éter universal que llenara el espacio. La primera edición del libro contenía dieciséis de esas Dudas, que en la última llegaron a ser

treinta y una. Las Dudas —como su nombre indica— tenían un carácter abiertamente especulativo, pese al famoso lema *hypotheses non fingo* (no simulo hipótesis) que añadió a la edición de 1713 de los *Principia*. Preguntaba, por ejemplo: «Los rayos de luz, ¿son partículas muy pequeñas emitidas por sustancias brillantes?». La trigésimo primera era aparentemente la más especulativa de todas: «El espacio infinito, ¿es el sistema sensorial de un ser incorpóreo, vivo e inteligente», decía Newton, «que ve las cosas íntimamente, en sí mismas, y las percibe a fondo, y las comprende totalmente en cuanto las tiene inmediatamente delante?». Eran cuestiones arriesgadas. También suponían un indicativo del nivel en el que Newton colocaba su versión de la filosofía mecanicista en una perspectiva absolutamente teológica.

Mientras realizaba la labor que dio origen a los *Principia*, Newton llevó a cabo asimismo otras investigaciones que consideraba cuando menos igual de importantes. Estuvo indagando en antiguos textos bíblicos en un esfuerzo por recuperar una historia sagrada, inmaculada e incorrupta de la Creación. De hecho, Newton era arriano —hereje que negaba la validez de la Santísima Trinidad, creencia fundamental del protestantismo y el catolicismo ortodoxos— y sostenía que la Iglesia primitiva había falseado y oscurecido los significados de las Escrituras bíblicas originales para desconcertar y confundir a sus seguidores. A su juicio, los antiguos habían conocido la verdad sobre la estructura matemática del universo, pero los primeros Padres de la Iglesia habían conspirado deliberadamente para ocultar esas verdades. Las investigaciones bíblicas de Newton fueron un esfuerzo sistemático por recuperar esos significados originales de los textos bíblicos y recobrar, por tanto, el saber perdido de los antiguos. Eso era precisamente lo que, en su opinión, hacía también su filosofía natural. Se trataba de redescubrir más que de descubrir. Newton estaba seguro de que el sistema copernicano y la ley de gravitación universal habían sido conocidos no sólo por Platón y Pitágoras sino también por Moisés y Hermes Trismegisto. Todo lo que estaba haciendo él era rescatar ese conocimiento de la oscuridad a la que lo había condenado la Iglesia primitiva.

La alquimia fue otra línea de trabajo seguida por Newton en sus esfuerzos por recuperar conocimiento perdido. Newton rebuscó con

entusiasmo en textos alquímicos y escribió numerosas notas y comentarios. En su laboratorio del Trinity College también realizó sus propias investigaciones alquímicas. Esos escritos y experimentos proporcionaban otra posible vía a través de la cual quizá fuera capaz de redescubrir lo que los filósofos antiguos habían llegado a saber sobre la naturaleza y la estructura del mundo. Newton consideraba que el lenguaje críptico y el simbolismo en que se presentaban los textos alquímicos eran intentos deliberados de mantener el conocimiento secreto oculto a los ojos del vulgo. Cuando leía los textos alquímicos e intentaba reproducir los procedimientos experimentales allí descritos se entregaba a un ejercicio de recuperación idéntico al de tratar de encontrarle sentido a los escritos bíblicos antiguos o, si vamos a eso, al de escribir los *Principia*. A diferencia de muchos otros entusiastas de la filosofía mecanicista, Newton también simpatizaba con la idea de las cualidades ocultas en la naturaleza. A diferencia de muchos otros mecanicistas, estaba dispuesto a dejar pendiente la cuestión de la causa física de la gravedad. También sugirió la posibilidad de que la materia estuviera dotada de «poderes activos». El matemático y filósofo alemán Gootfried Wilhelm Leibniz acusó explícitamente a Newton de reintroducir así principios ocultos en la filosofía natural.

Newton se rodeó de discípulos en parte para defenderse de esas críticas. Su defensa contra Leibniz —así como su afirmación de que éste le había robado la idea del cálculo matemático— corrió a cargo del joven clérigo anglicano (y, como Newton, secreto arriano) Samuel Clarke. No obstante, a pesar de las acusaciones formuladas por Leibniz, a principios del siglo XVIII la fama de Newton era difícilmente superable. En Inglaterra se le consideraba el máximo exponente de la filosofía natural inglesa. En el continente, sobre todo en Francia, le tenían por el precursor del racionalismo ilustrado. Un gran admirador suyo era el escritor francés Voltaire, según el cual un genio como Newton nacía una vez cada mil años. No obstante, incluso Voltaire tuvo que admitir que pocos de los discípulos de Newton lo habían leído, especialmente los difíciles *Principia*. Como informó en Francia, pocos en Londres habían leído al gran hombre «porque para entenderlo hay que ser muy instruido». Una amiga de Voltaire que sin duda había leído los *Principia* era Emilie du Châtelet, que realizó la

primera traducción al francés y ayudó a su amante Voltaire con las secciones matemáticas de los *Eléments de la philosophie de Newton* (1738). Aunque hablaban maravillas del virtuosismo de los *Principia*, en realidad a la mayoría de los sedicentes seguidores de Newton del siglo XVIII la inspiración les venía muy probablemente de la *Óptica* y sus Dudas especulativas. Investigadores y fabricantes de instrumentos como Francis Hauksbee y John Desaguliers se imaginaban diseñando aparatos y técnicas experimentales que se pudieran usar para demostrar las conjeturas de Newton respecto a los poderes activos con espectaculares exhibiciones de propiedades eléctricas o magnéticas.

El legado de Newton del siglo XVIII estuvo, en muchos aspectos, al alcance de todos. Los historiadores se han esforzado por definir una filosofía natural coherente compartida por todos los que se describían a sí mismos como seguidores de Newton. Una estrategia ha consistido en dividirlos en dos bandos: los que habían sacado su Newton de las páginas de la *Óptica* y los que, en cambio, se habían empapado de él en los *Principia*. Los que habían leído la *Óptica* siguieron la línea experimental de investigación de Newton, estudiando los fenómenos de la electricidad, el calor, el magnetismo o la luz: los poderes activos que Newton había identificado. Los lectores de los *Principia* se dedicaron a ampliar y perfeccionar el tratamiento matemático de Newton y aplicarlo a problemas nuevos. Este cuadro resulta más bien insatisfactorio, pues da a entender que los autores de la *Óptica* y de los *Principia* tenían preocupaciones muy diferentes que ni siquiera guardaban relación entre sí. Quizá sería más conveniente reconocer que simplemente no existía una tradición «newtoniana» coherente. Diferentes practicantes del siglo XVIII tomaron prestadas algunas partes de lo que consideraban la perspectiva de Newton y descartaron otras. Desde luego todos estaban muy interesados en que se les relacionara con el nombre del maestro, aunque sólo fuera por la extraordinaria autoridad que había adquirido. Los que, como Voltaire, sabían de sus investigaciones bíblicas inéditas entendían que éstas eran un engorro. Newton se había convertido en un icono de la Ilustración del siglo XVIII y su culto al racionalismo.

Conclusiones

Así pues, volviendo a la pregunta con que iniciábamos este capítulo, ¿hubo de veras una revolución científica? Merece la pena que recordemos lo que implica la afirmación de que los cambios radicales en nuestro modo cultural de contemplar el universo en torno al siglo XVII constituyeron nada menos que una revolución científica. Para empezar, tradicionalmente los historiadores han considerado que aquello fue un suceso excepcional. Puede haber habido varias revoluciones científicas, pero revolución científica sólo una. En otras palabras, el aserto original es que los acontecimientos producidos hacia el siglo XVII fueron hechos lo bastante trascendentales y sin precedentes para ser considerados revolucionarios, que conformaron un conjunto único de episodios sin parangón en la historia y que como resultado de todo ello surgió algo claramente reconocible como ciencia moderna. Hasta hace muy poco casi no habría merecido la pena cuestionar esta interpretación. Al fin y al cabo, todos sus elementos parecían ser obvios. Es una opinión que habrían suscrito, en un grado u otro, los historiadores de la ciencia desde el siglo XVIII hasta la actualidad. No obstante, considerando el breve esbozo aquí presentado, sí puede servir de algo preguntarnos si el cuadro tradicional resiste un examen riguroso.

En muchos aspectos, está claro que la descripción tradicional de revolución científica simplemente no cuadra. De hecho, resulta fallida en tres de sus supuestos básicos. En la actualidad, los historiadores normalmente coinciden en que, por descomunales que puedan haber sido los cambios intelectuales de la revolución científica, no son únicos en la historia. En la cosmovisión ha habido otros cambios igual de memorables. El propio término «revolución» se ha revelado problemático. Los historiadores han sacado a la luz claras discontinuidades entre los enfoques modernos para conocer el mundo natural y las perspectivas anteriores. No parece haber un momento o suceso histórico concreto que podamos señalar como la revolución científica. Si se trató de una revolución, careció de un inicio claramente definido y también de un final definitivo. Por último, ahora no hay du-

das de que, fuera lo que fuese lo que surgió de la revolución científica, no fue ciencia moderna. Los trabajos de Newton, por ejemplo, desde luego contienen aspectos evidentemente modernos. Esto no debería sorprendernos. Al mismo tiempo, hay aspectos de su obra —como su fascinación por las historias sagradas— que resultan irremediablemente extraños. Simplemente no sería adecuado poner esa parte de su trabajo entre paréntesis y proclamar el saneado resto como el origen de la ciencia moderna, aunque sólo fuera porque se cometería una gran injusticia con la propia percepción de Newton sobre la empresa que tenía entre manos.

Al mismo tiempo, pese a todo, como sugerimos al principio del capítulo, muchos de los protagonistas de la revolución científica parecían indiscutiblemente convencidos de que estaba pasando algo de capital importancia. Manifestaron un singular grado de unanimidad (muy singular para el período que nos ocupa) no sólo respecto a que estaba sucediendo algo significativo en relación con su conocimiento del universo sino también respecto a qué era ese algo. En general, los protagonistas estaban de acuerdo en que lo especial de su enfoque del conocimiento era que se basaba en interrogar a la experiencia más que en obedecer a ninguna autoridad. En vez de consultar a Aristóteles, consultaban a sus propios sentidos. La exactitud de esta percepción resulta discutible. Ante estas prácticas, los historiadores modernos de filosofía medieval adoptan una postura bastante menos negativa que aquellos que, después de todo, la rechazan de manera explícita. No obstante, la cuestión estriba en cómo exponían sus actividades. Al menos desde este punto de vista, si queremos tomar mínimamente en serio las opiniones de los que participaron en dicha revolución sobre lo que llevaron a cabo, hemos de conceder cierto grado de validez a la idea de la revolución científica. También es verdad que lo que ellos pensaban sobre sus actividades a este respecto toca efectivamente la fibra sensible de las percepciones modernas de la ciencia, pues preferimos pensar que la ciencia moderna también se basa en la experiencia y no en la autoridad.

Al final, seguramente la mejor manera de responder a nuestra pregunta es llegando a la conclusión de que simplemente está mal

formulada. El hecho de que la revolución científica sea una categoría histórica útil es, en gran medida, una cuestión de perspectiva. Como mínimo no habría que tomar estas clasificaciones al pie de la letra; desde luego habría que impedir que empañaran la valoración histórica. Al fin y al cabo, las categorías como «revolución científica» sólo son provechosas en la medida en que nos ayudan a conocer la ciencia del pasado y el lugar que ocupa en la cultura. Cuando defender una categoría se convierte en un fin en sí mismo, seguramente es mejor pasarlo por alto. Lo importante respecto a nuestro estudio histórico del período en cuestión es que intentamos averiguar qué sucedió y qué trataban de conseguir los diversos protagonistas en las condiciones en que se hallaban. Establecer un hilo conductor que cubra la distancia entre ellos y nosotros es una cuestión importante pero secundaria. Si acometemos la tarea desde la otra dirección —buscar activamente precursores de la ciencia moderna en vez de evaluar el cuadro completo—, casi seguro que acabaremos cogiendo el rábano por las hojas.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Bennet, J.A., «The Mechanics' Philosophy and the Mechanical Philosophy», *History of Science*, n.º 24 (1986), pp. 1-28.

Biagioli, Mario, *Galileo Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, Chicago University Press, Chicago, 1993.

Burtt, Edwin, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Humanities Press, Nueva York, 1924.

Butterfield, Herbert, *The Origins of Modern Science, 1300-1800*, G. Bell, Londres, 1949.

Cunningham, Andrew, «How the *Principia* Got Its Name; or, Taking Natural Philosophy Seriously», *History of Science*, n.º 29 (1991), pp. 377-392.

Dear, Peter, *Discipline and Experience: The Mathematical Way in the Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1995.

Fauvel, John, Raymond Flood, Michael Shortland y Robin Wilson (eds.), *Let Newton Be!*, Oxford University Press, Oxford, 1988.

Findlen, Paula, *Possessing Nature: Museums, Collecting, and Scientific Culture in Early Modern Italy*, University of California Press, Londres y Berkeley, 1994.

Hall, Rupert, *The Scientific Revolution, 1500-1800*, Longmans, Green, Londres, 1954.

Hessen, Boris, «The Social and Economic Roots of Newton's "Principia"», en *Science at the Cross-Roads*, ed. N. I. Bukharin *et al.*, 1931; reed. Gary Werskey, Frank Cass, Londres, 1971, pp. 149-212.

Iliffe, Rob, «In the Warehouse: Privacy, Property and Propriety in the Early Royal Society», *History of Science*, n.º 30 (1992), pp. 29-68.

Koyré, Alexandre, *From the Closed World to the Infinite Universe*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1953 (hay trad. cast.: *Del mundo cerrado al universo infinito*, Siglo XXI Editores, Madrid, 2000).

—, *Metaphysics and Measurement: Essays in Scientific Revolution*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1968.

Kuhn, Thomas, *The Copernican Revolution*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1966 (hay trad. cast.: *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*, Ariel, Barcelona, 1996).

Lindberg, David y Robert Westman (eds.), *Reappraisals of the Scientific Revolution*, Cambridge University press, Cambridge, 1990.

Lloyd, Geoffrey E. R., *Early Greek Science*, Chatto & Windus, Londres, 1970.

—, *Greek Science after Aristotle*, Chatto & Windus, Londres, 1973.

Mayr, Otto, *Authority, Liberty and Automatic Machinery*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1986.

Martin, Julian, *Francis Bacon, the State, and the Reform of Natural Philosophy*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Hunter, Michael y Simon Schaffer (eds.), *Robert Hooke: New Studies*, Boydell, Woodbridge, 1989.

Redondi, Pietro, *Galileo Heretic*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1987.

Shapin, Steven, *A Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.

—, *The Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1996 (hay trad. cast.: *La revolución científica: una interpretación alternativa*, Paidós, Barcelona, 2000).

Shapin, Steven y Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle and the Experimental Life*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1985.

Thoren, Victor, *Lord of Uraniborg: A Biography of Tycho Brahe*, Cambridge University Press, Cambridge, 1990.

Westfall, Richard, *The Construction of Modern Science: Mechanisms and Mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1971.

—, *Never at Rest: A Biography of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1980 (hay trad. cast.: *Isaac Newton: una vida*, Folio, Barcelona, 2004).

Whiteside, D. Thomas, (ed.), *The Mathematical Papers of Isaac Newton*, Cambridge University Press, Cambridge, 1969.

Yates, Frances, *Giordano Bruno and the Hermetic Tradition*, Routledge, Londres, 1964 (hay trad. cast.: *Giordano Bruno y la tradición hermética*, Ariel, Barcelona, 1994).

— 3 —

La revolución química

A menudo se trata a la química como si fuera el pariente pobre de la historia de la ciencia. Tradicionalmente, los historiadores de la ciencia tenían mucho que decir sobre avances importantes en la física durante y a partir de la revolución científica. Igualmente, se ha dedicado gran atención histórica a las ciencias de la vida, sobre todo en el contexto del darwinismo, sus orígenes y consecuencias. En cambio, se ha considerado que los progresos en la química han tenido repercusiones menos trascendentes. Existen varias razones que pueden explicar esta desatención comparativa. Desde un punto de vista histórico, muchas de las prácticas e ideas que actualmente podríamos clasificar como químicas tuvieron su origen en una amplia variedad de lugares y contextos. Alquímicos, boticarios, médicos, tintoreros y metalistas se dedicaban a actividades en las que podemos observar cierta relación con los orígenes de la química. Ante esta diversidad de orígenes, a veces a los historiadores de la química les ha resultado difícil plantear una opinión unánime sobre el desarrollo de la ciencia. Otro problema tiene que ver con la percepción de la química como actividad práctica más que como ciencia teórica. Hasta hace relativamente poco, los historiadores de la ciencia se tenían a sí mismos por historiadores de las ideas. Partiendo de esta perspectiva, con frecuencia ha dado la impresión de que las ciencias prácticas como la química eran menos dignas de atención. La física y la biología albergan sus grandes ideas filosóficas. En la historia de la química no parece haber equivalentes claros.

Desde el punto de vista clásico la química no desempeñó ningún papel importante en la denominada revolución científica de los siglos XVI y XVII. Por el contrario, según al menos un historiador, la química iba con casi un siglo de retraso (Butterfield, 1949). De acuerdo con esta idea, hubo que esperar a finales del siglo XVIII para que se produjera la «demorada revolución científica en la química». Antes de la reforma sistemática del químico francés Antoine-Laurent Lavoisier sobre las ideas y el lenguaje en la química y de la invalidación de la teoría del flogisto en las últimas décadas del siglo XVIII, la química había permanecido en una especie de prehistoria científica. Mientras la física (o, para ser exactos, la filosofía natural) había abrazado el ideal newtoniano de una metodología rigurosamente cuantitativa y experimental, la química seguía empeñada en enfoques por desgracia imprecisos y cualitativos. Historiadores más recientes reconocen que esta visión de la química anterior a Lavoisier da por sentadas varias cosas. Como ya hemos visto, pocos historiadores aceptarían en la actualidad la idea de que hubo una revolución especialmente científica durante los siglos XVI y XVII, y aún menos que se tradujo en un método científico definido. Casi del mismo modo, es menos probable que los historiadores de hoy día consideren que las aportaciones de Lavoisier fueron decisivas para inaugurar una nueva era (Ihde, 1964).

A este respecto, hemos de pensar con mucho detenimiento en la afirmación de que hubo una revolución química a finales del siglo XVIII. Como en el caso más general de la revolución científica, es importante concretar de qué se está discutiendo. Para aceptar que los cambios en las teorías y prácticas químicas que tuvieron lugar en ese período constituyen una revolución química especialmente definida, deberíamos aceptar que la química surgida del siglo XVIII era, en alguna medida, evidentemente moderna en un sentido en que la anterior no lo era. También deberíamos aceptar que esa transformación fue única. En la actualidad, los historiadores son mucho más conscientes del alcance y la complejidad de las teorías y prácticas químicas anteriores a Lavoisier y de las importantes contribuciones realizadas por los primeros químicos. También está claro que los debates alrededor de la química a finales del siglo XVIII ya no pueden considerarse de manera convincente como una simple batalla entre ilustrados partida-

rios de las reformas químicas de Lavoisier, por un lado, y detractores de miras estrechas, por otro. En realidad, el abanico de posturas era mucho más complejo. Tampoco las reformas de Lavoisier fueron tan decisivas como se creía en otro tiempo. A los químicos modernos, muchas facetas de las teorías de Lavoisier les parecerían tan raras como las de sus predecesores y adversarios.

Empezaremos este capítulo con una visión general de la química «no reformada» durante el siglo XVII y principios del XVIII. Debería quedar claro que, con independencia de las opiniones de generaciones posteriores de químicos e historiadores de la química, practicantes como Robert Boyle, Paracelso y Georg Stahl se consideraban totalmente comprometidos con la Nueva Ciencia. A continuación analizaremos el desarrollo de la química neumática durante el siglo XVIII, en especial la obra del químico y filósofo natural inglés Joseph Priestley. Examinar las aportaciones de Priestley nos ayudará a esclarecer el papel que desempeñó la química en la ciencia y la cultura del citado siglo y el alcance de las ramificaciones de la teoría del flogisto. En este marco, nos ocuparemos después de la contribución de Lavoisier a la química, concretamente su rechazo de la teoría del flogisto en favor de su propia teoría del oxígeno y sus esfuerzos por establecer un lenguaje químico nuevo, reformado. Veremos cómo las innovaciones químicas de Lavoisier pueden situarse en el contexto particular de los avances de finales del siglo XVIII producidos en química y filosofía natural en Francia. Por último, analizaremos diversos progresos de la química inmediatamente después de las innovaciones de Lavoisier, durante las primeras décadas del siglo XIX. En concreto, revisaremos el desarrollo de la teoría atómica de John Dalton. Esto nos ayudará a aclarar hasta qué punto los sucesores inmediatos de Lavoisier consideraban decisivas sus innovaciones así como el grado en que sus teorías proporcionaban sólo un enfoque —de entre muchos— para la reforma de la química.

¿Química no reformada?

Muchos practicantes dedicados a actividades que hoy podríamos calificar como «químicas» se consideraron indudablemente en la van-

guardia de la Nueva Ciencia durante los siglos XVI y XVII. Alquimistas como Michael Sendivogus o incluso sir Isaac Newton se veían a sí mismos como los herederos de una tradición que se remontaba a la antigüedad. El objetivo de su ciencia era comprender la relación oculta entre las sustancias naturales y encontrar la clave que les permitiera transmutar un elemento en otro. A los boticarios y los médicos les interesaban las propiedades medicinales de las sustancias. Reformadores médicos como Paracelso y Joan-Baptista van Helmont querían desarrollar nuevas teorías de la materia que condujeran a nuevos conocimientos sobre los usos médicos de las sustancias naturales. Metalúrgicos como Vannocio Biringuccio crearon y tabularon nuevas fórmulas para mejorar la producción de metales así como otros productos industriales, como tintes y pólvora. Algunos teóricos del flogisto de principios del siglo XVIII, como Georg Ernst Stahl, se formaron en esta tradición metalúrgica. El filósofo mecanicista Robert Boyle llevó a cabo experimentos químicos para intentar comprender las propiedades mecánicas esenciales de la materia. Como ya hemos visto, lejos de considerar que trabajaba siguiendo una tradición anticuada y no reformada, muchos de los contemporáneos de Boyle lo consideraban el arquetipo del nuevo filósofo natural. Otros practicantes químicos estaban igualmente convencidos de lo novedoso e importante de sus actividades (Debus, 1987).

Los primeros alquimistas modernos y renacentistas trabajaban siguiendo una tradición que se remontaba a los griegos. Los alquimistas griegos habían intentado comprender los métodos de procesos industriales como la metalurgia y la fabricación de pigmentos en función de ideas sobre los elementos fundamentales de la materia. Sus herederos islámicos medievales como (los posiblemente imaginarios) Jabir ibn Hayyan y Al-Razi desarrollaron esas ideas para constituir un extenso corpus de escritos alquimistas de los que más tarde se apropió el Occidente latino. Los primeros alquimistas modernos, como Michael Sendivogus —que estuvo al servicio de Rodolfo II, del Sacro Imperio Romano—, afirmaban ser capaces de transmutar unos elementos en otros y poseer determinadas percepciones místicas sobre el funcionamiento de la naturaleza. El Santo Grial de la alquimia era la búsqueda de la piedra filosofal, clave para convertir un metal en otro. El hallaz-

go de la piedra comportaría no sólo una riqueza ilimitada (gracias a la capacidad de transmutar metales de baja ley en oro), sino también el conocimiento primordial de la naturaleza secreta de la materia. A Sendivogus lo leyó, entre otros, sir Isaac Newton, que indagó en la alquimia como parte de su fabuloso plan para recuperar de manera sistemática el conocimiento perdido de los antiguos. Los alquimistas crearon una serie de técnicas y herramientas para investigar las propiedades de diferentes sustancias. También elaboraron un lenguaje y un simbolismo crípticos para ocultar el conocimiento de estos asuntos a los no iniciados (fig. 3.1).

Tratados alquimistas como (el ficticio) *Triumphant Chariot of Antimony* [Carro triunfal del antimonio] (1604) de Basil Valentine hacían hincapié en las propiedades medicinales de ciertas sustancias. Ésta era la principal preocupación de los boticarios y médicos que exploraban las propiedades de la materia. El reformador médico Paracelso (cuyo

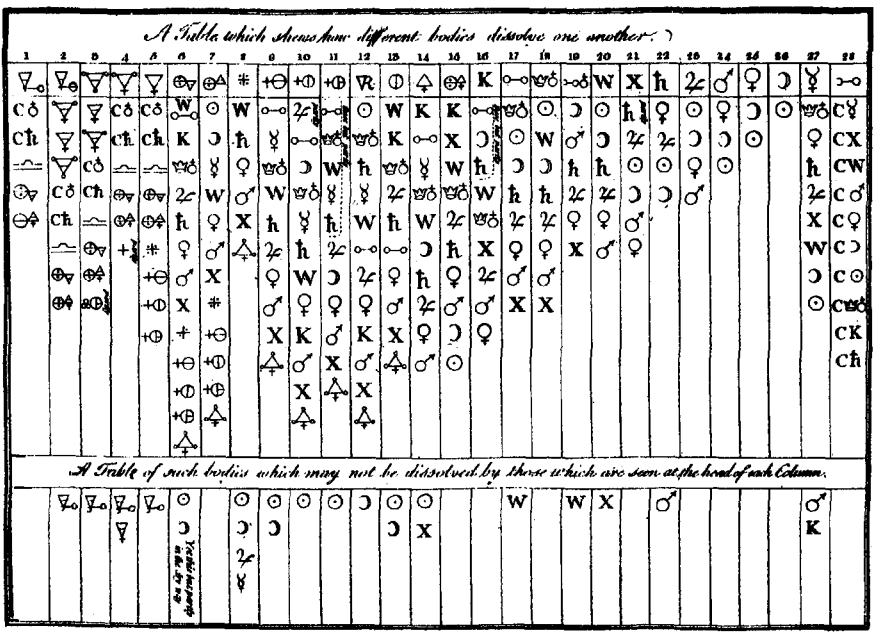


FIGURA 3.1. Tabla de símbolos alquimistas de *Metallurgic Chemistry* (1776), de G. E. Gellert.

nombre completo era Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim —está claro por qué lo cambió—) se mantuvo inflexible en la idea de que una medicina reformada planteaba como condición sine qua non un nuevo conocimiento de las propiedades primordiales de la materia. Como muchos otros defensores de la Nueva Ciencia, Paracelso no mostraba más que desdén hacia predecesores suyos como Galeno, la gran autoridad médica de Alejandría. Escogió su nuevo nombre (Para-Celso) para simbolizar su autoridad sobre el pasado en la figura del escritor médico romano Celso. La finalidad de la medicina era preparar arcanos —remedios para enfermedades basados en propiedades de sustancias naturales—. Paracelso denominó iatroquímica (del griego *iatro*, que significa «médico») a esa nueva práctica. La tarea del iatroquímico consistía en utilizar la doctrina de las firmas —el conocimiento de la relación entre cuerpos terrenales y esencias astrales— para identificar qué sustancias se podían usar para curar determinadas enfermedades. Las sustancias se componían de los cuatro elementos (aire, tierra, fuego, agua) combinados con los *tria prima* (tres principios) de sal, azufre y mercurio (o cuerpo, alma y espíritu). Como los alquimistas, Paracelso sostenía que conocimientos como éstos sólo estaban al alcance de los expertos iniciados (Debus, 1977).

Algunos iatroquímicos, aunque aprobaban la insistencia de su maestro en que la química era el fundamento de la verdadera medicina, abandonaron algunos de los principios cosmológicos más generales de Paracelso, como la doctrina de las firmas o los *tria prima*. Van Helmont, noble flamenco discípulo de Paracelso, negaba la existencia de los cuatro elementos y los *tria prima* y sostenía que había sólo un elemento —el agua— junto con el principio modificador de la fermentación. Van Helmont demostró su afirmación en un famoso experimento en el que dejó crecer un sauce en noventa kilos de tierra seca regada regularmentre con agua de lluvia destilada. A los cinco años, el peso del árbol había pasado de dos kilos y cuarto a setenta y seis mientras que el de la tierra había permanecido invariable. Van Helmont llegó a la conclusión de que el incremento de tamaño del árbol se debía exclusivamente al agua añadida. Al igual que muchos iatrocientíficos, Helmont estaba interesado en la química de procesos fisiológicos como

la digestión, que según él era un proceso de fermentación. Algunos de sus discípulos como Franciscus Silvius, desarrollaron la teoría para explicar la digestión haciendo referencia al conflicto entre principios opuestos de sales y ácidos. Van Helmont era un panteísta que negaba toda distinción entre materia y espíritu. Como Paracelso, también consideraba el conocimiento químico como algo reservado a unos pocos iniciados (Pagel, 1982).

El helmontianismo gozó de cierta popularidad en Inglaterra durante la primera mitad del siglo XVII, pero tras la guerra civil y la República de Cromwell, sus aspectos míticos y sus alusiones a la revelación personal comenzaron a volverlo sospechoso. Una nueva generación de químicos como Robert Boyle recurrieron a la filosofía mecanicista, y no al políticamente peligroso panteísmo de Helmont o Paracelso, como fuente de explicaciones químicas. *Sceptical Chymist* [El químico escéptico] (1661), de Boyle, rechazaba las teorías aristotélicas, paracelsianas y helmontianas sobre la materia y respaldaba en cambio una perspectiva corpuscular. Según Boyle, todo se componía de materia en movimiento. En vez de intentar explicar las propiedades físicas y químicas concretas de las sustancias en función de cualidades innatas de los diversos elementos, Boyle afirmaba que aquéllas debían considerarse resultantes de las formas y disposiciones particulares de los corpúsculos (o partículas) que constituían dichas sustancias. Al adoptar la filosofía mecanicista como explicación de los fenómenos químicos, uno de los objetivos de Boyle era que la química llegara a formar parte de la filosofía natural. Quería acabar con el misticismo secreto de las perspectivas paracelsiana y helmontiana, con su trasfondo de charlatanería, y lograr que la química fuera una actividad a la que pudieran dedicarse los caballeros sin despertar sospechas. Ensalzaba sus ventajas médicas y la factura de un planteamiento debidamente filosófico de la disciplina (Kargon, 1966; Thackray, 1970).

Se admitía cada vez más que la química era una fuente provechosa de conocimiento nuevo en el desarrollo de los procesos metalúrgicos y otros de tipo industrial. En su *Pirotechnica* (1540), el químico italiano del siglo XVI Vannoccio Biringuccio expuso detalladas fórmulas de procesos metalúrgicos así como la fabricación de sustancias industrial y militarmente útiles como la pólvora. Se podían usar los

conocimientos químicos para mejorar la purificación de metales a partir del mineral y en la producción de aleaciones. Hacían falta técnicas y conocimientos químicos para perfeccionar la producción de tintes y pigmentos en la industria textil. Las investigaciones químicas de Johann Becher sobre los orígenes de los minerales de la tierra supusieron un esfuerzo explícito por encontrar formas nuevas de explotar dichos recursos con el fin de lograr beneficios económicos. En su *Physica Subterranea* (1667) sostenía que los minerales se componen de tres clases de tierra —*terra fluida* (tierra mercuriosa), *terra pingis* (tierra grasa) y *terra lapidea* (tierra vítrea)— que definían sus diversas propiedades. La obra de Becher fue retomada en el siglo XVIII por Georg Ernst Stahl, profesor de medicina de la Universidad de Halle, mientras desarrollaba su teoría del flogisto como medio para explicar los procesos metalúrgicos. A la *terra pingis* de Becher la denominó flogisto, que identificó como el principio de combustión en la producción de metales a partir de su mineral. Según la teoría de Stahl, los metales puros resultaban de la combinación de minerales metálicos (o escorias) con flogisto durante el proceso de calentamiento (Brock, 1992).

Parece haber pocas dudas de que la mayoría de esos practicantes químicos (si no todos) de los siglos XVI y XVII se habrían considerado a sí mismos participantes en toda regla en la creación de la Nueva Ciencia. Incluso los alquimistas dedicados a lo que se consideraban tradiciones antiquísimas creían que lo que estaban haciendo era una importante contribución al conocimiento contemporáneo. Newton, por ejemplo, tenía interés en la alquimia precisamente porque ofrecía una vía para recobrar conocimiento perdido, exactamente la misma consideración que le merecía su teoría de la gravitación universal. A los ojos del siglo XVII, no había contradicción alguna entre investigar sistemas antiguos de conocimiento y descubrir otros nuevos. Paracelso y Van Helmont, aunque profundamente impregnados de saber alquímico, también creían que lo que estaban haciendo significaba una ruptura radical con las prácticas del pasado. Igual que otros defensores de la Nueva Ciencia, como Galileo y Boyle, los químicos favorecían asimismo los aspectos igualitarios de su actividad. La química podía contribuir a mejorar las técnicas de fabricación y la riqueza de las naciones. Becher, por ejemplo, era cameralista, es decir, defendía la in-

tervención sistemática del Estado para apoyar el comercio y la industria manufacturera. Sus investigaciones sobre la teoría de la producción mineral, llevadas a cabo bajo el patrocinio de Leopoldo I, emperador del Sacro Imperio Romano, formaron claramente parte de su empeño por mejorar la tecnología de la minería en beneficio del Estado. Si se considera que el rasgo definitorio de la revolución científica son los esfuerzos de quienes la protagonizaron por reformar y reorganizar conocimientos según su entender, al menos los químicos participaron activamente en esos esfuerzos.

Química neumática

El famoso cuadro de Joseph Wright de Derby titulado *Experimento con un pájaro en una burbuja de aire* (fig. 3.2), pintado en 1768, capta muy bien la labor cada vez más importante de los investigadores químicos en la ciencia y la cultura del siglo XVIII. Concretamente pone de relieve el papel central desempeñado por las investigaciones sobre la química de los gases, que recibió el nombre de química neumática. Antes del siglo XVIII, por lo general, se pensaba que el aire era una sola sustancia, uno de los cuatro elementos aristotélicos. No obstante, los químicos del citado siglo comenzaron a descubrir distintos tipos de aire con diversos efectos y propiedades. En el cuadro de Wright se ve a un químico que intenta demostrar las propiedades de uno de esos aires nuevos observando si un pájaro puede sobrevivir respirándolo. El químico está realizando el experimento ante un grupo de testigos bien vestidos con aspecto de burgueses. Durante el siglo XVIII, la nueva y próspera burguesía constituía para la ciencia un público notable. Le atraían su utilidad y las cosas que se podían aprender estudiando el orden de la naturaleza. En manos de químicos y filósofos naturales radicales como Joseph Priestley, podía comprobarse que incluso la química de los gases transmitía importantes mensajes políticos. También fue una fuente de nuevas tecnologías y desempeñó un papel clave en la transformación del lenguaje de la química a finales del siglo.

FIGURA 3.2. *Experimento con un pájaro en una burbuja de aire* (1768), de Joseph Wright (imagen por cortesía de la National Gallery, Londres). Un químico realiza sus experimentos ante un grupo de elegantes espectadores. El cuadro ilustra la creciente importancia cultural de la química y la filosofía natural durante el siglo XVIII.

Investigar las propiedades químicas del aire fue una innovación del siglo XVIII. En general, los químicos del siglo XVII daban por supuesto que el aire era químicamente inerte y, por tanto, no desempeñaba ninguna función en las reacciones químicas. El clérigo y filósofo natural inglés Stephen Hales, conocido por sus investigaciones sobre la filosofía natural de las plantas (*Vegetable Staticks*) y los animales (*Haemostaticks*), fue uno de los primeros en sugerir que el aire era químicamente activo. Había empezado a investigar el aire tras descubrir, en el curso de unos experimentos con plantas, que en la materia sólida había «fijadas» grandes cantidades de aire que podían ser liberadas por calentamiento. El instrumento que creó para recoger ese

aire —más adelante transformado por el doctor inglés William Brownrigg en la cuba neumática— fue una herramienta clave en las investigaciones químicas durante el resto del siglo. Al aire producido por calentamiento se le quitaban las impurezas haciéndolo pasar por agua antes de recogerlo en un tarro invertido. La observación de Hales de que el aire podía combinarse con otras formas de materia atrajo la atención de los químicos. El químico escocés Joseph Black, entre otros, trabajó siguiendo la estela de este descubrimiento. Black observó que si calentaba la sustancia *magnesia alba* (una forma de carbonato de magnesio), podía obtener una clase de aire con propiedades distintas que denominó «aire fijado» —lo que llamaríamos dióxido de carbono—. Creó asimismo nuevos métodos para analizar el aire y determinar sus propiedades físicas mediante el estudio de sus reacciones con ácidos y álcalis (Schofield, 1970).

La figura clave de la química neumática del siglo XVIII fue el químico, pastor disidente, filósofo natural y político radical inglés Joseph Priestley. La amplitud de las actividades que desarrolló Priestley son un buen exponente del contexto general de la química durante ese período (Anderson y Lawrence, 1987). Nacido en la región central de Inglaterra, en una familia religiosa protestante no perteneciente a la Iglesia Anglicana, estudió para pastor en una escuela disidente y prestó sus servicios en varias congregaciones antes de que, en 1761, fuera nombrado tutor en la Warrington Academy. Durante su estancia allí entró en relación con destacados radicales religiosos, como el galés Richard Price, y cultivó la amistad, entre otros, del futuro revolucionario americano Benjamin Franklin. En 1767, se hizo famoso como filósofo natural con su *History and Present State of Electricity* [Historia y situación actual de la electricidad] y célebre como químico con *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* [Experimentos y observaciones sobre distintos tipos de aire] en 1774. Aprovechando las observaciones de Hales y Black, Priestley estableció la existencia de varias clases diferentes de aire, cada una de ellas con propiedades específicas. Sus dos descubrimientos más conocidos fueron el aire nitroso (conocido actualmente como óxido nitroso o gas de la risa) y el aire desflogistado (oxígeno). En 1780, Priestley asumió el ministerio sacerdotal en la New Meeting House de Birmingham, y

mientras permaneció allí se incorporó a la Sociedad Lunar de entusiastas filósofos naturales entre los que se contaban los industriales James Watt y Josiah Wedgwood y el doctor radical y defensor de la evolución Erasmus Darwin (Schofield, 1963; Uglow, 2002).

Priestley utilizó sus descubrimientos químicos como cimientos de una filosofía totalmente nueva de la naturaleza. Para explicar las diferentes propiedades químicas de las distintas clases de aire que había establecido, recurrió a la teoría del flogisto de Stahl. Las diversas clases de aire presentaban un abanico de propiedades químicas que dependían de las cantidades de flogisto que contenían. Algunos aires, como el aire fijado de Black, tenían cantidades relativamente grandes de flogisto, otros menos. Durante un tiempo, Priestley dio por sentado que el aire atmosférico normal era el que contenía menos flogisto, hasta que en 1774 hizo un descubrimiento espectacular. Observó que calentando escoria roja de mercurio podía obtener un aire en el que parecía haber poco flogisto (o nada). Según la opinión de Priestley sobre la «economía aérea» —el papel que desempeñaban los distintos aires en el orden natural—, ese nuevo aire desflogistado era el de mejor calidad posible. Priestley afirmaba que el flogisto, el principio de la combustión (y de la corrupción), estaba en el núcleo de la economía natural. Algunos procesos, como la combustión, la respiración y la descomposición de los cuerpos de animales, liberaban flogisto en la atmósfera. Otros, como las acciones de las plantas o el movimiento del agua, lo eliminaban, con lo que se mantenía un equilibrio natural. Para la vida humana, las mejores clases de aire eran las que tenían la menor cantidad posible de flogisto. En consecuencia, el aire desflogistado recién descubierto era de lo más beneficioso (Golinski, 1992).

Para Priestley, esa economía aérea era una prueba de la benevolencia divina, ponía de manifiesto el mecanismo natural mediante el cual Dios mantenía el cosmos en un estado de equilibrio. En la naturaleza, todo —plantas, animales, los movimientos del viento y del agua, las tormentas, los terremotos e incluso las erupciones volcánicas— cumplía una tarea encomendada en el mantenimiento de la economía de la naturaleza, sumando o restando flogisto en circulación. Para un radical religioso y político como Priestley, esta perspectiva de la economía de la naturaleza tenía importantes consecuencias políticas y sociales. Es fa-

mosa su afirmación de que «la jerarquía de la Iglesia, si hay algo defectuoso en su constitución, tiene motivos para temblar incluso ante una máquina eléctrica o una bomba de aire». Lo que quería decir con eso es que aquellos instrumentos científicos ayudaban a desvelar el verdadero orden de la naturaleza. Dado que el orden social debía basarse en ese orden natural, si había algo erróneo en el orden social imperante (y Priestley así lo creía), los instrumentos científicos también podían ser instrumentos políticos al poner de manifiesto cómo las injusticias sociales estaban reñidas con la naturaleza. En calidad de político radical declarado, Priestley apoyaba fervorosamente las revoluciones francesa y americana. Debido a este respaldo, su casa y su laboratorio de Birmingham ardieron en 1791 a manos de una turba legitimista, «Iglesia y Rey», lo que le llevó a emigrar a Pensilvania en 1794 (Schofield, 1970).

No obstante, la química neumática de Priestley tuvo también otras connotaciones. Algunos de sus discípulos, como el profesor de química de Oxford Thomas Beddoes —alumno del químico escocés Joseph Black—, tenían la impresión de que los descubrimientos de Priestley podían procurar la base para un nuevo sistema de medicina. Al tiempo que defendía las posturas de Priestley, Beddoes apoyaba las teorías médicas de John Brown, que sostenían que podía disfrutarse de una buena salud si se mantenía en el cuerpo un adecuado equilibrio de estimulantes y sedantes. Beddoes creía que los aires recién descubiertos podían usarse para eso. Tras su despido de Oxford a causa de sus opiniones políticas radicales, Beddoes fundó el Instituto Neumático de Bristol para poner en práctica sus teorías sobre las ventajas médicas de respirar aires diferentes. Contrató a un prometedor aprendiz de boticario-cirujano, Humphry Davy, para llevar a cabo experimentos sobre las propiedades químicas y medicinales de diversas clases de aire. Davy desarrolló un programa sistemático de análisis químico de los aires, a la vez que abandonaba la teoría del flogisto de Priestley en favor del nuevo sistema químico de Lavoisier. Sus experimentos sobre los efectos fisiológicos de la respiración de diversos aires —en especial el óxido nitroso— le proporcionaron fama y notoriedad en la Inglaterra de finales del siglo XVIII (fig. 3.3) y le ayudaron a conseguir el fantástico trabajo de profesor de química en la recién creada Royal Institution en 1803 (Fullmer, 2000).

FIGURA 3.3. *¡Investigaciones científicas!*, de James Gillray (NPG D13036; imagen por cortesía de la National Portrait Gallery, Londres). Experimentos neumáticos en la Royal Institution, satirizados por James Gillray. Thomas Garnett, profesor de química de la Royal Institution, está administrando gas a una persona del público. El hombre que está detrás de él con un fuelle y exhibiendo una sonrisa satánica es Humphry Davy. El caballero de nariz grande situado en la derecha y que mira con benevolencia es el conde Rumford, fundador de la institución.

Los esfuerzos de Beddoes y Davy por dar a la química neumática un uso médico nos recuerda que el del flogisto era algo más que un simple principio teórico: era también la base de una tecnología química práctica. El propio Priestley había sido uno de los primeros en intentar aprovechar el potencial médico de la química neumática al patentar un método para disolver aire fijado en agua a fin de obtener la primera agua con gas preparada artificialmente. Priestley daba por supuesto que esa soda artificial tendría las mismas cualidades medicinales que las aguas minerales que se bebían por litros en balnearios

como los de Bath o Malvern. También creó un instrumento que medía la cantidad de flogisto presente en diferentes tipos de aire, con lo que evaluaba su capacidad para preservar la vida animal y humana. El eudiómetro mezclaba en un tubo de vidrio el aire que había que analizar con cierta cantidad de aire nitroso. El grado en que la muestra del ensayo cambiaba de volumen mientras el flogisto se combinaba con el aire nitroso era una medida de la calidad del aire. La ciencia de la eudiometría se hizo especialmente popular en la Gran Bretaña industrial, donde se utilizó para valorar la calidad del aire en las zonas industriales, y en Italia, donde el profesor milanés de física experimental Marsilio Landriani diseñó un eudiómetro que empleó para poner de manifiesto los efectos del *mal aria* en la salud de sus conciudadanos.

Priestley es un caso concreto de cómo la química ocupaba un lugar priveligiado en la Ilustración del siglo XVIII. No sólo se había puesto a la altura de los progresos realizados en otras esferas, sino que era ampliamente reconocida por muchos contemporáneos como un ejemplo de lo importante que podía ser la ciencia para la sociedad de la época. Los químicos demostraron que estaban en la vanguardia del progreso científico como ellos lo entendían —la elaboración de nuevas teorías convincentes y tecnologías prácticas—, a la vez que su ciencia realizaba una contribución importante al progreso social. Eso también tendría que ponernos sobre aviso sobre lo prudentes que deberían ser los historiadores de la ciencia cuando abordan ideas del pasado que quizá hoy parezcan equivocadas o desafortunadas. Algunos historiadores señalan la teoría del flogisto —en especial la sugerencia del químico francés Guyton de Morveau de que el flogisto podía tener un peso negativo (pues durante la combustión las sustancias parecían ganar peso mientras perdían flogisto)— como ejemplo fundamental de cómo ciertas ideas preconcebidas pueden frenar el avance de la ciencia. Este tipo de enfoque «whigista» adolece de no tomar en serio la ciencia del pasado teniendo en cuenta sus condiciones y las de sus practicantes. El flogisto no les parecía en absoluto ridículo a sus promotores, por ejemplo a Priestley, aunque da la casualidad de que muy pocos tomaron en serio la idea de Morveau. Casi todos decían que el flogisto era un principio inmaterial y que no contribuía en nada al peso de una sustancia.

Flogisto frente a *oxygène*

En la historia de la química todavía persiste la polémica en torno a la cuestión de quién debe ser considerado el descubridor del gas oxígeno. El historiador y filósofo de la ciencia Thomas Kuhn utiliza el episodio como ejemplo clásico de las dificultades que implica la reconstrucción de la «estructura histórica de los descubrimientos científicos» (Kuhn, 1977). En el caso del descubrimiento del oxígeno, tenemos tres candidatos. El primero es Carl Scheele, químico sueco que a principios de la década de 1770 logró aislar lo que él llamaba «aire de fuego» mediante diversos métodos. Sin embargo, no hizo públicos los resultados hasta mucho más tarde. El segundo es Joseph Priestley, con su aislamiento de un aire nuevo en 1774 y la identificación del mismo como aire desflogistado en 1775. El último candidato es Antoine-Laurent Lavoisier, que en 1776 repitió los experimentos de Priestley y dio al aire el nuevo nombre de oxígeno, que utilizó como piedra angular de su nuevo sistema de la química. Mediante este ejemplo, Kuhn quería señalar dos aspectos de los descubrimientos. En primer lugar, hizo notar que los descubrimientos no eran hechos simples; tenían una estructura histórica. Así, observó que hicieron falta tiempo y numerosos esfuerzos de identificación antes de que alguien reconociera el oxígeno como lo que realmente era. En segundo lugar, indicó que los descubrimientos sólo eran posibles en el contexto de un sistema teórico. El que se hubiera descubierto el aire desflogistado o el gas oxígeno dependía de si se aceptaba el sistema de Priestley o el de Lavoisier.

Kuhn consideró que el nuevo sistema de Lavoisier era un ejemplo de revolución científica. Al percatarse Lavoisier de que esa nueva sustancia era una anomalía que no encajaba en los sistemas establecidos se produjo su ruptura conceptual y la elaboración de una nueva manera de interpretar los procesos químicos. En la década de 1770, Lavoisier era un químico francés muy respetado y miembro de la Académie des Sciences. Procedente de un próspero ambiente burgués, en un principio estaba previsto que estudiara derecho, pero finalmente inició sus estudios de química en el Collège Mazarin. Allí, su profesor Guillaume-François Rouelle era un defensor de la teoría del flogisto de Stahl. A

mediados de la década de 1760, Lavoisier ya se había labrado, en los círculos filosóficos franceses, cierta fama de químico joven y ambicioso. En 1768 fue designado para ocupar el rango inferior de la Académie des Sciences y comenzó una carrera como «funcionario científico» en la que puso sus conocimientos químicos al servicio del Estado francés (Brock, 1992; Donovan, 1996). Tras recibir de su padre una importante herencia, Lavoisier se convirtió en un hombre muy rico y utilizó su dinero para comprar acciones de la Ferme Générale, una empresa que había adquirido los derechos de recaudar impuestos en nombre del Estado. Fue su condición de accionista de la Ferme lo que, en 1794, durante la Revolución Francesa, propicio su ejecución en la guillotina.

A finales de la década de 1760, Lavoisier estaba especialmente interesado en la química del aire y en su papel en la combustión y el aislamiento de metales a partir de su mineral (escoria). Para los teóricos del flogisto, los metales eran una combinación de flogisto y escoria. Durante la combustión, el flogisto del fuego se combinaba con la escoria para producir un metal. Aproximadamente hacia 1770, Lavoisier estaba convencido de que el aire también desempeñaba alguna función en la reacción. En 1772, basándose en experimentos llevados a cabo con el gran espejo ustorio de la Académie des Sciences, sugirió que el aire gaseoso era, de hecho, una combinación de materia aérea y flogisto (fig. 3.4). Así pues, calentar metal en aire originaba la producción de escoria (una combinación de metal y materia aérea) y liberaba flogisto en forma de calor. Partiendo de estos y otros experimentos, depositó en la Académie una nota sellada en la que reclamaba como propia la hipótesis de que el proceso básico que tenía lugar durante la combustión era la combinación de la sustancia que se quemaba (por ejemplo un metal) con materia aérea, y que esto justificaba el hecho de que en la combustión las sustancias aumentaran de peso. En 1775, tras llegar a su conocimiento la descripción de Priestley del aire desflogistado, perfeccionó su explicación. Ahora afirmaba que era ese aire sin flogisto, que el denominaba *oxigène*, el que cumplía la función clave en la combustión (Guerlac, 1961).

Al introducir el *oxigène*, Lavoisier abandonaba la teoría del flogisto, en sustitución de la cual ofrecía una nueva teoría integral basada en el gas nuevo. La palabra «oxígeno» derivaba del griego y significaba

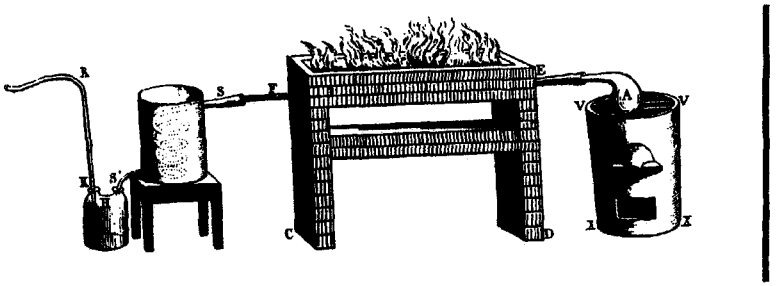


FIGURA 3.4. Experimento químico del siglo XVIII que muestra la descomposición del vapor mediante el hierro.

«productor de ácidos», pues Lavoisier había advertido que todas las sustancias formadas por la combinación de metales o carbono con ese nuevo principio eran ácidos. El gas oxígeno, afirmaba, constaba de oxígeno (principio de acidez) y calórico (calor). Durante la combustión, el principio de la acidez se combinaba con el metal para generar una escoria ácida mientras el calórico del gas se liberaba en forma de calor. No obstante, Lavoisier quería que su teoría hiciera mucho más que explicar los principios de la combustión metálica: quería que fuera la base de un sistema químico nuevo y unificado. A este respecto, un problema era la producción anómala de «aire inflamable» cuando se trataba un metal con un ácido. Esto era fácil de explicar con la teoría del flogisto. El ácido se combinaba con la escoria del metal para producir una sal al tiempo que liberaba flogisto como aire inflamable. Lavoisier no resolvió la dificultad hasta la década de 1780, cuando el químico inglés Henry Cavendish realizó experimentos que parecían poner de manifiesto que el agua se componía de aire desflogistado y aire inflamable. Ahora Lavoisier podía sostener que cuando los metales se combinaban con ácidos, el aire inflamable procedía del agua en la que el ácido estaba disuelto. A ese gas lo denominó hidrógeno, que significa «productor de agua».

Un aspecto importante del intento de Lavoisier de reformar la química fue el modo como, usando su nueva teoría, creó un lenguaje totalmente nuevo. En 1782, Lavoisier, junto con sus amigos químicos franceses Guyton de Morveau, Claude-Louis Berthollet y Antoine

Fourcroy, publicó el *Méthode de nomenclature chimique*, en el que describía una nueva forma de nombrar las sustancias químicas basándose en la teoría del oxígeno. Se consideraba que todas las sustancias que ya no podían descomponerse más (como el carbono, el hierro o el azufre) eran elementos y constituían la base del sistema de denominación. Lo que antes era escoria ahora se conocía como óxidos, pues resultaban de combinar elementos simples con oxígeno, lo que daba lugar, por ejemplo, a los óxidos de carbono, hierro o cinc. Se nombraba los ácidos conforme a sus elementos y a la cantidad de oxígeno implicada en su formación, como en los ácidos sulfuroso y sulfúrico. Además de los metales y las bases de varias sales junto con el hidrógeno y el oxígeno, la lista de elementos de Lavoisier contenía también otro gas: el azote (actualmente conocido como nitrógeno); y asimismo otros dos elementos: calórico y luz. El nuevo sistema plasmaba las ideas químicas de Lavoisier. Sólo con usarlo, los químicos ya expresaban su aceptación de la teoría del oxígeno en la cual se basaba.

En general se consideraba que la reforma de la química de Lavoisier era radical y polémica. Algunos defensores de la teoría del flogisto, en particular Joseph Priestley, jamás la aceptaron. Otro químico inglés que seguía convencido de la superioridad de dicha teoría era Henry Cavendish, pese al hecho de que sus observaciones sobre el aire inflamable habían constituido uno de los factores clave de la reforma de Lavoisier. De cualquier modo, varios químicos ingleses se pasaron a la teoría del oxígeno en un período de tiempo relativamente corto. El nuevo valor de la química inglesa del siglo XVIII, Humphry Davy, apoyaba el sistema químico de Lavoisier, aunque, como veremos, pronto se convirtió en uno de sus más acérrimos adversarios. En Escocia, en la década de 1790, el químico Joseph Black también enseñaba la nueva química, y junto con sus sucesores de Edimburgo inició a las nuevas generaciones de estudiantes de medicina en la teoría del oxígeno. En tierras alemanas, la oposición a esta teoría fue la norma hasta los primeros años del siglo XIX, si bien incluso allí estuvieron publicándose las obras clave de Lavoisier desde principios de la década de 1790. En Francia, la aceptación de la nueva teoría fue especialmente rápida. Hasta destacados defensores de la teoría del flogisto, como Guyton de Morveau, se convencieron ense-

guida y llegaron, como hemos visto, a colaborar con Lavoisier en la difusión de la nueva doctrina.

Una explicación de que el sistema químico de Lavoisier tuviera un éxito tan rápido en Francia fue el modo como encajaba con otros avances contemporáneos en la ciencia y la filosofía francesas. Para una nueva generación de filósofos naturales franceses, las claves del progreso científico eran la cuantificación y la medición precisa. Ciertos filósofos naturales, como la nueva promesa Pierre-Simon Laplace, se convencieron de que era el único modo de asegurarse de que los logros de Newton en astronomía y mecánica se dieran también en otras áreas de la física. La insistencia de Lavoisier en pesar cuidadosamente los ingredientes y productos de las reacciones químicas y en que los cambios de peso proporcionaban pruebas decisivas de lo que pasaba en esas reacciones concordaban con ese interés por la cuantificación. De igual forma, sus esfuerzos por reformar el lenguaje de la química y su empeño en la necesidad de un sistema integral de la misma sintonizaban bien con las cuestiones filosóficas francesas más generales. Filósofos como Denis Diderot y Jean le Rond d'Alembert afirmaban que el conjunto de la filosofía precisaba una reforma sistemática. Según el filósofo Étienne Bonnot de Condillac, reformar el lenguaje era una condición *sine qua non* para cambiar la manera de pensar de la gente. En muchos sentidos, por tanto, a los contemporáneos franceses de Lavoisier les parecía que las reformas de éste en la química formaban parte de un cuadro más amplio, de un reordenamiento a mayor escala del mundo intelectual francés (Holmes, 1985).

Para algunos historiadores, el rechazo de Lavoisier a la teoría del flogisto y su reforma de la nomenclatura química son momentos decisivos en la revolución de la química. Antes de Lavoisier, esta disciplina estaba atascada en la Edad Media. Después, se transformó en una ciencia inequívocamente moderna. Vale la pena detenerse aquí brevemente para reflexionar sobre lo acertado de esta idea. Por familiares que puedan resultarnos muchas de sus principales características, como el papel del oxígeno en la combustión o la nueva nomenclatura, ciertos aspectos de la química de Lavoisier también podrían parecer bastante extraños. Aunque había desterrado el flogisto de su sistema, permanecía el principio inmaterial del calor en forma de calórico.

Tampoco era el calórico el único principio inmaterial que ocupaba un sitio en la tabla de elementos de Lavoisier. La identificación que éste hizo del oxígeno como principio de acidez —que constituía el eje del sistema— también ha sido abandonada desde hace tiempo por los químicos modernos. Asimismo, hay pocas dudas de que la teoría del flogisto que Lavoisier rechazó era en sí misma una herramienta teórica convincente y versátil. Desde una perspectiva moderna, quizá resulte extraña, pero en manos de expertos como Joseph Priestley o Henry Cavendish procuró explicaciones sumamente sofisticadas sobre fenómenos químicos conocidos y sobre descubrimientos recientes, como los nuevos tipos de aires. A este respecto, al menos, no había nada inevitable o patente en el éxito de la teoría de Lavoisier ni en el prestigio de ésta como elemento clave de la revolución en la química.

¿Química reformada?

Un modo de evaluar la importancia de la revolución de Lavoisier en la química es observando el estado del conocimiento químico en las décadas inmediatamente posteriores a la introducción de las reformas. La nueva química de Lavoisier, ¿se adoptó de manera rápida y universal? ¿Cuánto tiempo pasó hasta que se reformaron las propias reformas? Según Kuhn, una revolución científica es una época de grandes cambios intelectuales seguida de un período de «ciencia normal» durante el cual se exploran y articulan las repercusiones de los nuevos marcos conceptuales. ¿Siguió un período así de «ciencia normal» a la revolución en la química? Como ya hemos visto, parece bastante claro que las reformas de Lavoisier se asimilaron de manera relativamente rápida y exhaustiva. A principios del siglo XIX, había muy pocos químicos que todavía siguieran la teoría del flogisto. Al mismo tiempo, eran también relativamente pocos los químicos que abrazaban sin reservas la teoría de Lavoisier. En este sentido, cuando menos, es difícil definir como «de ciencia normal» el período inmediatamente posterior a la revolución química. Hacia la década de 1800, los primeros seguidores de las ideas de Lavoisier manifestaban dudas sobre afirmaciones clave. Otros químicos, como el inglés John Dalton o el sueco

Jöns Jacob Berzelius, plantearon por su cuenta nuevos marcos teóricos.

El químico de Cornualles Humphry Davy había aprendido lo esencial de la química en la presentación que William Nicholson hizo de las ideas de Lavoisier ante un auditorio inglés. Hacia la década de 1800, sin embargo, tras su nombramiento como profesor de química en la Royal Institution de Londres, Davy comenzó a tener serias dudas sobre lo acertado de algunas de las ideas fundamentales de Lavoisier. En primer lugar, sus experimentos hicieron que perdiera fuerza la idea de que la acidez se debía a la presencia de oxígeno. Davy puso de manifiesto que ciertos ácidos, como el muriático (actualmente conocido como ácido clorhídrico), no contenían oxígeno. Demostró igualmente que el ácido oximuriático no sólo no contenía oxígeno sino que, de hecho, era un elemento a título propio al que denominó cloro. En 1813 había conseguido aislar otro elemento parecido, al que llamó yodo. Davy se hizo famoso sobre todo gracias a espectaculares experimentos eléctricos. Se valió de potentes y caras baterías para aislar no sólo cloro y yodo sino también sodio y potasio (Golinski, 1992). También dio razones en contra de la existencia del calórico, que desempeñaba un papel clave en el sistema químico de Lavoisier. Según Davy, el calor no era un fluido inmaterial sino una forma de movimiento. Si había que creer a Davy, no sólo el oxígeno de Lavoisier tenía un nombre equivocado —no era un productor de ácidos— sino que, además, ni aquél ni el calórico cumplían en las reacciones químicas la función de vital importancia que Lavoisier les había asignado.

La definición de «elemento» de Lavoisier era en buena parte pragmática. Los elementos químicos eran simplemente aquellas sustancias que los químicos habían sido incapaces de descomponer en constituyentes más simples. En manos del químico inglés John Dalton, no obstante, el concepto de elemento generó distintas connotaciones. La idea de que la materia podía componerse de partículas indivisibles o átomos se remontaba a la época de los griegos. Algunos químicos del siglo XVII como Robert Boyle, aceptaron que los átomos eran el principio central de la nueva filosofía mecanicista. Mientras Lavoisier consideraba que las discusiones sobre la naturaleza primordial de los elementos era metafísica y estaba fuera del alcance de la química, Dalton se

propuso dar a los elementos una existencia física, real. Había nacido en el seno de una familia cuáquera del noroeste de Inglaterra. A los quince años comenzó a ir con su hermano a la escuela de Kendall, en el distrito de Lake, y más adelante se trasladó a Manchester. Durante la época de Lake, Dalton, que había aprendido por su cuenta los rudimentos de la filosofía natural newtoniana, experimentó gran interés por la meteorología (el estudio del tiempo) y llevó minuciosos diarios sobre las condiciones locales, que publicó en 1793 con el nombre de *Meteorological Essays* [Ensayos meteorológicos]. Éstos contribuyeron a la reputación filosófica de Dalton, que se valió del mismo planteamiento en su búsqueda de regularidades en cantidades grandes de datos para crear su teoría atómica de los elementos químicos (Patterson, 1970).

La diferencia clave entre la teoría atómica de Dalton y el corpuscularismo propugnado por químicos anteriores como Boyle radicaba en el hecho de que el primero daba por supuesto que cada elemento tenía un único átomo asociado a él. Boyle y otros defensores del atomismo del siglo XVIII suponían que todos los átomos eran iguales (Thackray, 1970). Basándose en este supuesto, Dalton se propuso definir los pesos relativos de los átomos de los distintos elementos, para lo cual tuvo que hacer varias suposiciones sobre cómo se combinaban los átomos para formar sustancias diferentes. En pocas palabras, decía que los elementos siempre se combinan de la manera más sencilla posible. Dado que, por ejemplo, había sólo una combinación conocida de hidrógeno y oxígeno, Dalton sostenía que debía de ser un compuesto binario simple, con un átomo de hidrógeno combinado con otro de oxígeno. Si se conocía más de una combinación, se aceptaban uniones más complejas (como dos para uno). En la primera parte de su *New System of Chemical Philosophy* [Nuevo sistema de filosofía química] (1808), Dalton utilizó esos supuestos para calcular los pesos atómicos relativos de los distintos elementos de Lavoisier partiendo de los datos conocidos sobre las cantidades relativas de diferentes elementos en las combinaciones químicas. Como se sabía que el peso relativo del oxígeno respecto al hidrógeno en el agua, por ejemplo, era de siete a uno, Dalton afirmaba que un átomo de oxígeno pesaba siete veces más que uno de hidrógeno, el elemento más ligero que se conocía (fig. 3.5).

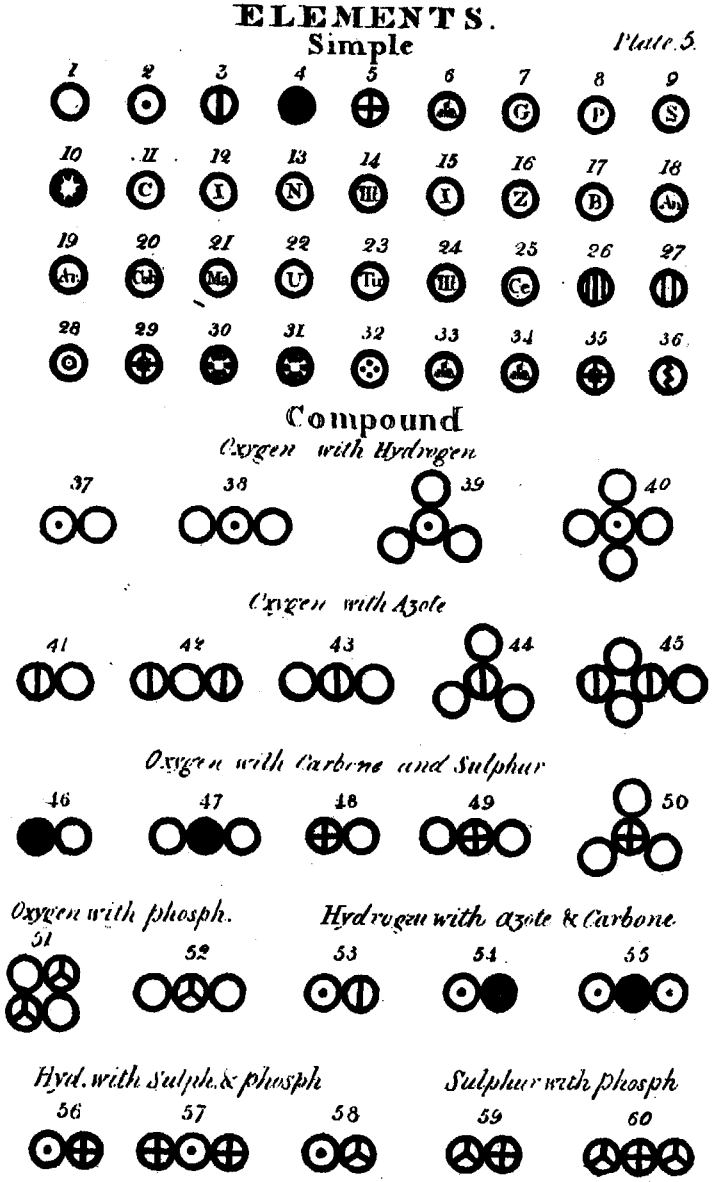


FIGURA 3.5. Ejemplo de la nueva notación química de John Dalton en su *New System of Chemical Philosophy*. La notación pretendía subrayar la existencia real de los átomos químicos.

Basándose en sus espectaculares experimentos eléctricos, Humphry Davy había llegado a la conclusión de que las fuerzas que unían elementos químicos para formar compuestos —se las conocía como fuerzas de afinidad química— eran de naturaleza eléctrica. El químico sueco Berzelius se apoyó en la conclusión de Davy y en lo que sabía de la teoría atómica de Dalton para hacer una propuesta electroquímica sobre el modo como los elementos se combinan. Para Berzelius los elementos eran de dos clases —electropositivos y electronegativos—, en función de si eran liberados en el polo positivo o en el polo negativo de una pila galvánica una vez descompuesta la sustancia. Más adelante se invirtió la terminología para que se correspondiera con las convenciones introducidas por Humphry Davy. La posición de cualquier elemento concreto en la escala, siendo el oxígeno el más electronegativo y el potasio el más electropositivo, especificaba el modo como dicho elemento se combinaría con los otros. En términos atómicos, eso significaba que los átomos individuales de los diversos elementos tenían asociadas cargas eléctricas positivas o negativas, que determinaban la manera en que aquéllos podían unirse a átomos de otros elementos para formar compuestos químicos. La explicación exhaustiva de la teoría atómica electroquímica de Berzelius fue publicada en 1818 con el nombre de *Essai sur la théorie des proportions chimiques et sur l'influence chimique de l'électricité*.

Primero Berzelius estudió medicina en la Universidad de Upsala, y luego, como profesor de química en Estocolmo, se encargó de enseñar farmacia a estudiantes de medicina. Debido a ello, fue especialmente consciente de que, a principios del siglo XIX, la mayoría de los textos farmacéuticos resultaban cada vez más anticuados respecto los criterios establecidos por las nuevas teorías químicas. Y al hilo de sus esfuerzos por actualizar la farmacia introdujo en la química una nueva nomenclatura convencional basada en sus propias teorías electroquímicas. Los diversos elementos estaban representados por letras y abreviaturas (como O para el oxígeno o Fe para el hierro), y sus combinaciones por secuencias de esos símbolos, siendo el primero el más electropositivo. El número de átomos se reflejaba en superíndices numéricos (más adelante subíndices). Así, el dióxido de carbono, por

ejemplo, se escribía CO^2. La nueva convención de Berzelius, sólo una entre las muchas propuestas en las primeras décadas del siglo XIX, fue objeto de numerosas modificaciones. Concretamente John Dalton jamás la aceptó, pues le preocupaba que el uso de símbolos convencionales para representar los elementos contribuyera a debilitar la aceptación de que los átomos químicos tenían una existencia física real. Dalton utilizó su propia notación, que según él recalcaba la realidad física de los átomos.

Las objeciones de Dalton a la notación de Berzelius subraya una de las cuestiones clave que rodean a la teoría atómica. ¿Había que aceptar que los átomos químicos tenían una realidad física o éstos eran sólo una forma práctica de hablar de las reacciones químicas y las proporciones en que se combinaban sus elementos? (Thackray, 1972; Rocke, 1984) Dalton estaba convencido de que los átomos eran reales. En eso seguramente se encontraba en minoría. Desde luego, a mediados del siglo XIX pocos químicos tomaban en serio la realidad física de los átomos. Para ellos, la teoría atómica —junto con otras generalizaciones, como las observaciones del químico francés Joseph Louis Gay-Lussac de que los volúmenes de los gases se combinaban entre sí con arreglo a proporciones simples— no era más que un conjunto de útiles herramientas empíricas. No está claro que siquiera Berzelius se tomara seriamente la realidad de los átomos. Lo que sí es evidente, sin embargo, es que muy pocos químicos del siglo XIX (si acaso alguno) consideraron que la revolución de Lavoisier estableciera categóricamente una nueva cosmovisión química. Al contrario. Podría decirse que, transcurridas las primeras décadas del nuevo siglo, aparte de su oposición a la teoría del flogisto, sobrevivía poco de lo por él presentado en su forma original. Con la consolidación de la termodinámica y su rechazo del calor como principio inmaterial a mediados de siglo, se abandonó incluso el papel fundamental del calórico en las reacciones químicas. Al parecer, a principios del siglo XIX los químicos no consideraban que su actividad se hubiera reformado de manera concluyente. Aún estaban en ello.

Conclusiones

De modo que, ¿qué conclusiones hemos de sacar de la demorada revolución química del siglo XVIII? Parece que, igual que hemos rechazado la versión tradicional de la revolución científica de los siglos XVI y XVII, apenas tenemos otra opción que rechazar también la revolución química —y por muchas de las mismas razones—. Como hemos visto, es difícil sostener que, durante los citados siglos, la química fue algo aparte de la revolución científica. En la actualidad, los conceptos de un Becher, un Boyle o un Paracelso quizá nos parezcan extraños, pero no hay pruebas de que también fueran entonces considerados extraños. Más bien al contrario, esos practicantes fueron objeto de un amplio reconocimiento por parte de sus contemporáneos como responsables de importantes aportaciones a la Nueva Ciencia. Tampoco los filósofos del siglo XVIII pensaban que los químicos anduvieran rezagados. Se partía de la base de que químicos como Joseph Priestley o Joseph Black habían realizado grandes contribuciones tanto a la química como a la filosofía natural. De un modo más general, sus contemporáneos creían que la química era un componente fundamental y progresivo de la ciencia de la Ilustración. Lejos de encontrarse fuera de la síntesis newtoniana como la veían los practicantes del siglo XVIII, se entendía que muchos químicos estaban en la vanguardia (Knight, 1978, 1992). Los historiadores fueron admitiendo cada vez más que los químicos anteriores a Lavoisier habían hecho aportaciones decisivas y que, para valorarla debidamente, hay que situar su química en el contexto de sus intereses concretos.

Tampoco puede haber muchas dudas de que las reformas químicas de Lavoisier tuvieron un gran impacto. Al final su rechazo de la teoría del flogisto fue decisivo, y su introducción de los métodos cuantitativos y la medición meticulosa estableció nuevos criterios de precisión en el análisis químico. No obstante, también está claro que no podemos considerar que la química de Lavoisier haya marcado el comienzo de la era de la química moderna. Al menos en este sentido, su aportación no fue revolucionaria. Como hemos visto, muy pocos elementos del sistema químico de Lavoisier sobrevivieron indemnes a las prime-

ras décadas del siglo XIX. Químicos como Berzelius o Dalton no se veían a sí mismos trabajando dentro de los límites de un sistema ya establecido; trataban de establecer sus propios sistemas. Parece haber algo singularmente arbitrario en la elección de finales del siglo XVIII y la obra de Lavoisier como marco para una revolución química excepcional. En términos más generales, la «revolución química» de Lavoisier debería alertarnos sobre los problemas de enfocar la historia de la ciencia en función de una perspectiva revolucionaria. Si nos fijamos bien, muy pocas revoluciones de la ciencia resultan ser tan coherentes y cruciales como pudiera parecer al principio. A ese respecto, al menos, no había nada extraño en la revolución química.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Anderson, R. y C. Lawrence (eds.), *Science, Medicine and Dissent*, Wellcome Trust, Londres, 1987.

Brock, William H., *The Fontana/Norton History of Chemistry*, Fontana, Londres; Norton, Nueva York; 1992 (hay trad. cast.: *Historia de la química*, Alianza Editorial, Madrid, 1998).

Butterfield, Herbert, *The Origins of Modern Science, 1300-1800*, G. Bell, Londres, 1949.

Debus, Alan G., *The Chemical Philosophy: Paracelsian Science and Medicine in the Sixteenth Century*, Science History Publications, Nueva York, 1977.

—, *Chemistry, Alchemy and the New Philosophy, 1550-1700*, Variorum, Londres, 1987.

Donovan, Arthur, *Antoine Lavoisier: Science, Administration and Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

Fullmer, J. Z., *Young Humphry Davy: The Making of an Experimental Chemist*, American Philosophical Society, Filadelfia, 2000.

Golinski, Jan, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Guerlac, Henry, *Lavoisier, the Crucial Year*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1961.

Holmes, Frederick L., *Lavoisier and the Chemistry of Life*, University of Wisconsin Press, Madison, 1985.

Ihde, A., *The Development of Modern Chemistry*, Harper & Row, Nueva York, 1964.

Kargon, Robert, *Atomism in England from Hariot to Newton*, Oxford University Press, Oxford, 1966.

Knight, David, *The Transcendental Part of Chemistry*, Dawson, Folkestone, 1978.

—, *Ideas in Chemistry*, Rutgers University Press, New Brunswick, NJ, 1992.

Kuhn, Thomas S., «The Historical Structure of Scientific Discovery», en *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, 1977 (hay trad. cast.: *La tensión esencial: estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1983).

Pagel, Walter, *Johan Baptista van Helmont: Reformer of Science and Medicine*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

Patterson, E., *John Dalton and the Atomic Theory*, Doubleday, Nueva York, 1970.

Rocke, A., *Chemical Atomism in the Nineteenth Century*, Ohio State University Press, Columbus, 1984.

Schofield, Robert, *The Lunar Society of Birmingham*, Oxford University Press, Oxford, 1963.

—, *Mechanism and Materialism: British Natural Philosophy in an Age of Reason*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1970.

Thackray, Arnold, *Atoms and Powers*, Oxford University Press, Oxford, 1970.

—, *John Dalton*, Harvard University Press, Oxford, 1972.

Uglow, J., *The Lunar Men*, Faber & Faber, Londres, 2002.

— 4 —

La conservación de la energía

En un famoso trabajo, el filósofo Thomas Kuhn planteó lo que a él le parecía una cuestión curiosa sobre el descubrimiento, aproximadamente a mediados del siglo XIX, del principio de la conservación de la energía (Kuhn, 1977). Kuhn observó que este descubrimiento había sido simultáneo: en un período de unos treinta años, entre mediados de la década de 1820 y mediados de la de 1850, diversos científicos propusieron de manera más o menos independiente la idea de la conservación de la energía. Kuhn sugirió que en especial tres factores desempeñaron un papel clave en ese hallazgo paralelo: el interés por los motores, la disponibilidad de procesos de conversión y lo que él denominaba la «filosofía de la naturaleza». Para Kuhn, estos factores fueron elementos tan fundamentales en el pensamiento científico europeo durante el período en cuestión, que permitieron «guiar a los científicos receptivos hacia una importante visión nueva de la naturaleza». Hay pocas dudas de que la conservación de la energía es una de las generalizaciones más cruciales de la historia de la ciencia, o cuando menos de las ciencias físicas: fue un factor central de la física durante el desarrollo de ésta en la segunda mitad del siglo XIX. De una manera ligeramente modificada, el principio aún cumple un papel esencial en la física moderna. Por tanto, especificar las circunstancias culturales que desembocaron en el descubrimiento de la conservación de la energía puede revelarnos mucho sobre los orígenes de la ciencia moderna.

No obstante, la primera pregunta que hemos de formularnos es si

una generalización teórica como la conservación de la energía puede realmente ser considerada un descubrimiento. Cuando pensamos en el término «descubrimiento», normalmente nos vienen a la mente objetos o lugares. Un ejemplo obvio que se nos ocurre es el descubrimiento de América por europeos occidentales. Otro podría ser el de un planeta nuevo, como cuando William Herschel dio con Urano. Si ampliamos la idea, podría tener sentido hablar del hallazgo de una entidad teórica, pongamos, el electrón. En cambio, la conservación de la energía no es un lugar ni una entidad, sino una generalización teórica. Como mínimo vale la pena considerar lo que podría significar que la conservación de la energía fuera algo que puede ser descubierto. Por ejemplo, parece comprometernos en efecto con la idea de que es algo que existe realmente en la naturaleza y no sólo en nuestras teorías sobre la misma. Esto no es simplemente una sutileza filosófica, pues incluso algunos de los «descubridores» del principio tenían dudas sobre si la energía o su conservación eran cosas de las que se podía afirmar realmente su existencia. La segunda cuestión que deberíamos plantearnos concierne al objeto y a la coincidencia del descubrimiento. Para que éste sea simultáneo, todos los descubridores tendrían que haber averiguado lo mismo más o menos al mismo tiempo. Sin embargo, veremos que nuestros protagonistas históricos describían sus hallazgos de varias formas distintas. En concreto, hasta bastante más adelante no se utilizó la palabra «energía» para definir la cantidad que se conservaba.

Comenzaremos analizando los dos primeros elementos de Kuhn, si bien apuntamos que es perfectamente posible considerarlos dimensiones diferentes de la misma cuestión. Empezaremos con el ingeniero y filósofo natural francés Sadi Carnot y su teoría sobre los motores de calor, en la que intentaba hallar una relación entre calor y trabajo. Sugerimos que esto se contemple como un aspecto del interés más general —durante el período que nos ocupa— en obtener una clase de fuerza de la otra, lo que Kuhn llama «procesos de conversión». A continuación nos ocuparemos de algunos de los términos utilizados para examinar las relaciones entre esas fuerzas: palabras como «conversión» y «correlación», además de «conservación». Examinaremos en concreto las distintas maneras en que aparecieron estas cuestiones en las aportaciones de James Prescott Joule y Julius Robert Mayer. Por

último veremos cómo el principio de conservación de la energía fue aceptado por filósofos naturales de Gran Bretaña y Alemania, especialmente durante la segunda mitad del siglo XIX, y fue utilizado como base para crear un estilo nuevo de hacer física. Debería quedar claro que la noción de energía y su conservación tenía diversos usos para sus descubridores. Por ejemplo, era una manera de formalizar asuntos relativos al rendimiento. Permitía asimismo hacer hincapié en la autoridad de la física sobre las demás ciencias y poner de manifiesto su conexión con el progreso industrial.

Ruedas hidráulicas, máquinas de vapor y juguetes filosóficos

Durante las primeras décadas del siglo XIX, cada vez más filósofos naturales de toda Europa se interesaron por las relaciones entre los diferentes poderes o fuerzas de la naturaleza. Querían específicamente averiguar cómo conseguir que una de esas fuerzas generara cualquiera de las otras. En cierto sentido, ese interés no era nada novedoso. Desde principios del siglo XVIII, los filósofos naturales —en especial los que se denominaban a sí mismos newtonianos— habían puesto empeño en investigar las propiedades de capacidades como la afinidad química, la electricidad, el calor, la luz, el magnetismo y lo que ellos llamaban a menudo fuerza motriz. Filósofos naturales como los escoceses William Cullen y Joseph Black, por ejemplo, estudiaron las propiedades del calórico, la sustancia del calor. Sus investigaciones fueron en particular celebradas al menos en algunos círculos, pues se admitía comúnmente que habían inspirado las mejoras que el ingeniero James Watt introdujo en la máquina de vapor (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»). Esto sucedía justo cuando la pujante Revolución Industrial centraba la atención de mucha gente en la cuestión del trabajo —o en cómo explotar las fuerzas de la naturaleza para las máquinas generadoras de energía—. Para algunos, parece que esto fue precisamente lo que James Watt había hecho con las investigaciones de Black y Cullen. Estudiar los principios filosóficos que subyacen en el funcionamiento de los diferentes tipos de maquinaria, así como analizar el modo de transformar los distintos poderes de la naturaleza para producir fuerza motriz (o tra-

bajo), parecía una línea de investigación cada vez más rentable (Cardwell, 1971).

Algunas de esas conjeturas apuntaban a la enigmática posibilidad de crear el movimiento perpetuo (fig. 4.1). El filósofo natural alemán Hermann von Helmholtz (que volverá a aparecer más adelante en este capítulo) puso de relieve el interés por esa cuestión al verla como uno de los estímulos que condujeron a la conservación de la energía. Numerosos filósofos naturales (así como diversos inventores y especuladores optimistas) tenían interés en la posibilidad de obtener una cantidad indefinida de trabajo a partir de una energía inicial finita. Pongamos un ejemplo hipotético: ¿es posible construir una rueda hidráulica que produzca suficiente energía para que el agua que ha caído de un nivel a otro pueda ser bombeada nuevamente al nivel superior? Si se pudiera hacer eso, la rueda podría girar indefinidamente sin necesidad de ninguna fuente de energía exterior. Sería una máquina que produciría trabajo (y, por tanto, dinero) gratis. A finales del siglo XVIII, la mayoría de los filósofos naturales estaban convencidos de que eso era imposible sin más. No obstante, como observó Helmholtz, sí sirvió para estudiar el origen del trabajo en esos sistemas. Por ejemplo, el general Lazare Carnot, ingeniero y revolucionario francés, llevó a cabo una serie de experimentos con ruedas hidráulicas en los que puso de manifiesto que la cantidad de trabajo producida estaba en función de la distancia que recorría el agua en su caída entre los niveles haciendo que girara la rueda.

El hijo de Lazare Carnot, Sadi, estaba tan interesado como su padre en cuestiones sobre los orígenes de la fuera motriz productiva. Republicano convencido como su progenitor, quería descubrir el modo de poner sus conocimientos de ingeniería al servicio de la humanidad. Sadi Carnot centró sus esfuerzos en la máquina de vapor, que parecía estar desempeñando un papel cada vez más destacado en la rápida expansión industrial de la Gran Bretaña, la gran rival de Francia. En sus *Reflexions sur la puissance motrice du feu* (1824), analizó minuciosamente el funcionamiento de una máquina de vapor hipotética. Consideraba que el calor constituía el «inmenso depósito» de la economía de la naturaleza; era la fuerza generadora del tiempo atmosférico, los terremotos y las erupciones volcánicas. Carnot daba por supuesto que

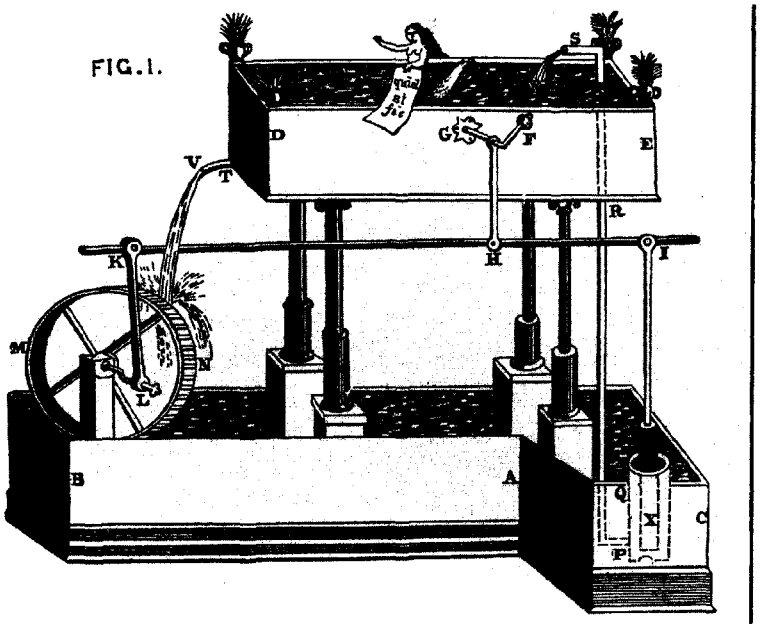


FIGURA 4.1. Ejemplo de artefacto hipotético para conseguir el movimiento perpetuo. En este caso, el agua del depósito superior cae sobre una rueda hidráulica que, a su vez, acciona una bomba que devuelve a dicho depósito agua suficiente para mantener el movimiento indefinidamente. A finales del siglo XVIII, existía la creencia general de que esos artilugios eran imposibles.

si entendía el funcionamiento de la máquina de vapor real, podría llegar a comprender también los principios subyacentes a las propiedades de la máquina de calor abstracta. Esto, a su vez, le permitiría aprender a fabricar máquinas más eficientes. Su estrategia consistía en seguir los movimientos del calórico —el fluido inmaterial del calor— a través del artefacto y en intentar establecer con exactitud cómo y en qué lugar del sistema se producía energía motriz (o trabajo). Si lograba que esa máquina de calor fuera lo bastante simple y general, sería capaz de utilizarla para «conocer de antemano todos los efectos del calor al actuar de determinada manera en cualquier cuerpo».

Carnot interpretó lo que pasaba en la máquina de vapor en términos de transferencia de calórico de una parte del artefacto a otra. A su

juicio, eso era lo que hacía el vapor en la máquina. El calórico creado en la caldera se incorporaba con el vapor. A continuación era transportado al cilindro y luego al condensador. Allí el calórico era trasladado desde el vapor al agua fría allí presente, que estaba caliente gracias a la intervención del vapor como si hubiera estado colocada directamente sobre la caldera. A lo largo de todo el proceso, el vapor sólo era un medio para transportar el calórico. Para Carnot, ése era el hecho clave. En la máquina de vapor —y en definitiva en cualquier otra máquina de calor—, lo importante era el movimiento del calórico desde una masa caliente a otra fría y no su consumo. De ahí procedía el trabajo: «Así pues, en las máquinas de vapor la producción de fuerza motriz no se debe a un consumo real de calórico sino a *su transporte desde un cuerpo caliente a un cuerpo frío*». Algo de primordial importancia era que en el proceso no se perdía nada de calórico. Para Carnot, el calórico se conservaba igual que se conservaba el agua mientras producía trabajo en los molinos de agua que su padre había estudiado. En un molino, el agua realizaba trabajo al caer desde un nivel a otro nivel inferior. En una máquina de calor, el calórico efectuaba trabajo al caer desde una temperatura a otra inferior.

En 1820, el filósofo natural danés Hans Christian Oersted hizo el espectacular descubrimiento de una conexión largamente sospechada entre electricidad y magnetismo. Observó que si se sostenía una aguja imantada cerca de un alambre de cobre por el que pasaba una corriente eléctrica, aquélla se movía. Oersted era un defensor de la *naturphilosophie* [filosofía de la naturaleza], una filosofía romántica de la naturaleza especialmente extendida en los territorios de habla alemana hacia principios del siglo XIX. Los seguidores de la *naturphilosophie*, como el poeta alemán Johann Wolfgang von Goethe, creían en la unidad primordial de la naturaleza. A menudo sostenían que el conjunto del universo debía contemplarse como una sola entidad cósmica orgánica; siendo algo vivo, la mejor manera de abordarlo y evaluarlo era considerándolo como una unidad animada, conectada. En vez de entenderlos como objetos de estudio separados, había que concebir los diversos fenómenos de la naturaleza como manifestaciones diferentes de una única causa subyacente y global. Para definir el universo, pensadores como Johann Wilhelm Ritter o F. W. J. Schelling usa-

ban con frecuencia términos como «alma mundial» o «puro animal». Hacían hincapié asimismo en la importancia de la intuición como método de descubrimiento y a menudo se oponían de manera vehemente a lo que para ellos era la árida esterilidad de la analítica filosofía natural newtoniana. Partiendo de esa perspectiva, Oersted estaba convencido de que en la naturaleza debía existir un vínculo entre electricidad y magnetismo; sólo era cuestión de encontrarlo.

Un año después del descubrimiento de Oersted, el investigador inglés Michael Faraday, por entonces todavía ayudante de laboratorio en la Royal Institution, descubrió un sistema para que un cable portador de corriente girara efectivamente alrededor de un imán; parecía que se podía usar la electricidad y el magnetismo combinados con el fin de generar fuerza motriz. En Francia, André-Marie Ampère demostró que un cable portador de corriente dispuesto como una hélice actuaba como un imán normal. Ampère afirmaba que, en realidad, el magnetismo resultaba de la electricidad en movimiento y que los imanes se componían de un conjunto de corrientes eléctricas en circulación en torno a sus partículas constituyentes. Faraday, ahora ascendido al puesto de profesor fulleriano de química y director de laboratorio de la Royal Institution, tardó otra década en descubrir el efecto contrario. En 1832, puso de manifiesto que si se movía un imán en forma de barra dentro de una bobina de alambre, producía corriente eléctrica. Igualmente, si pasaba electricidad por un cable enrollado alrededor de un anillo de hierro, generaba, cuando se encendía y se apagaba, una corriente momentánea en otra bobina que envolvía el mismo anillo. Entretanto, los investigadores sacaban partido de la invención, en 1824, del electroimán por el fabricante de instrumentos inglés William Sturgeon para construir motores electromagnéticos. Con disposiciones diversas e ingeniosas para encender y apagar sucesivamente series de electroimanes se podían originar rotaciones. El calórico ya no era el único poder natural que se podía utilizar para producir trabajo útil.

Durante las primeras décadas del siglo XIX, los investigadores estuvieron muy ocupados buscando nuevas maneras de usar una fuerza para producir otra. Según ciertas interpretaciones, un ejemplo era la pila eléctrica de Volta inventada en 1800, siempre y cuando se acepta-

ra la explicación de Davy de que aquélla funcionaba transformando la afinidad química en electricidad y no la afirmación del inventor de que la electricidad resultaba simplemente del contacto de metales diferentes (véase cap. 3, «La revolución química»). En el estado alemán de Prusia, Thomas Johann Seebeck, inspirándose en el importante descubrimiento de Oersted, empezó a examinar las conexiones entre electricidad, magnetismo y calor. Su objetivo era usar el calor para producir fenómenos magnéticos; en lugar de ello halló un modo de obtener electricidad a partir del calor. Observó que si construía un circuito en parte de cobre y en parte de bismuto y calentaba una de las uniones de los dos metales, se registraba una corriente en una aguja imantada suspendida cerca. Para muchos observadores, el desarrollo de la fotografía durante la década de 1830 procuraba un ejemplo de fuerza natural utilizada para crear otra. Las imágenes producidas se debían a que la luz —un tipo de fuerza— generaba una reacción química —resultado de otra clase de fuerza, generalmente conocida entonces como afinidad química—. Hacia la década de 1840 se iban acumulando los ejemplos.

En diversas conferencias celebradas en la London Institution, el filósofo natural galés William Robert Grove expuso un ejemplo experimental de las repercusiones. Realizó un ensayo en el que se colocaba una placa fotográfica en una caja con tapa de vidrio llena de agua, con una rejilla de alambre de plata conectada a la placa para formar un circuito junto con un galvanómetro y una hélice de Breuget. Cuando tras quitar el obturador que cubría el vidrio la luz daba en la placa, las agujas del galvanómetro se movían y la hélice de Breuget se expandía. La luz originaba fuerzas químicas en la placa, la cual producía electricidad en el circuito, que generaba magnetismo en el galvanómetro, el cual ocasionaba movimiento en la aguja del galvanómetro mientras la electricidad producía también calor en la hélice de Breuget, debido a lo cual ésta se expandía (más movimiento). Movimiento —fuerza motriz— era lo que muchos investigadores querían obtener a partir de esa clase de experimentos. Desde la década de 1820 en adelante, se inventaron dispositivos como la rueda de Barlow —en la que un alambre de cobre giraba entre los polos de un imán cuando pasaba por él una corriente— y diversos artefactos electromagnéticos. Hasta cierto punto, se trataba de juguetes filosóficos, concebidos para revelar los

poderes de la naturaleza ante los auditorios. Al mismo tiempo, no obstante, muchos filósofos naturales reconocían que juguetes como ésos tenían el potencial de brindar nuevas maneras de producir fuerza motriz, es decir, de poner la naturaleza a trabajar (Morus, 1998).

El interés por los motores y los procesos de conversión eran aspectos del mismo empeño por obtener trabajo de la naturaleza con el máximo rendimiento posible. Como señaló Helmholtz, ese afán fue lo que animó a los entusiastas de las máquinas del movimiento perpetuo. Fue también lo que interesó a Sadi Carnot en sus esfuerzos por analizar el funcionamiento de las máquinas de calor. Carnot quería averiguar cuáles eran los principios subyacentes para así poder encontrar la manera de fabricar máquinas que funcionaran con mayor eficacia. Del mismo modo, muchos de los investigadores que buscaban métodos para producir movimiento partiendo de otros tipos de fuerza natural se proponían hacerlo de la forma más eficiente posible. En cierta medida, en todo esto había un motivo teológico. Tenía sentido que el Creador hubiera concebido la economía natural del modo más eficiente. No obstante, era al menos igual de importante el hecho de que, en el período en cuestión, el asunto del trabajo —y de cómo obtener la mayor cantidad posible del mismo y lo más barato que se pudiera— era algo de creciente interés. Fabricar máquinas más eficientes constituía un imperativo moral y económico. Sadi Carnot no estaba ni mucho menos solo defendiendo la idea de que procurar comprender mejor la economía de la naturaleza podía resultar un medio provechoso para mejorar también la economía de la sociedad.

¿Conversión, conservación o correlación?

En las décadas de 1830 y 1840, muchos filósofos naturales empezaron a aceptar la idea de que esos ejemplos del uso de una fuerza para generar otra debían considerarse casos de transformación real. Es decir, una fuerza (pongamos, la electricidad) se consumía realmente en el proceso de producir otra (como el calor o la luz). Recordemos que eso no era un enunciado evidente: en su obra publicada, Sadi Carnot sostenía que el calórico no se consumía en el proceso de producción de

trabajo (aunque según sus manuscritos no publicados, más adelante cambió de opinión al respecto). Incluso cuando los investigadores sí coincidían en que lo que sucedía se entendía mejor haciendo referencia a alguna transformación de una clase de fuerza en otra, había muchas discrepancias respecto a qué tipo concreto de transformación tenía lugar. Los filósofos naturales quizá hablaran en términos generales de la unidad de la naturaleza —como habían hecho desde el siglo anterior—, pero existía poco consenso acerca de cómo podían entenderse los detalles de esa unidad. Los debates sobre el tema son un buen ejemplo de cómo los filósofos naturales de principios del siglo XIX cruzaban las fronteras intelectuales entre áreas de investigación que para nosotros están muy diferenciadas. Sus discusiones abarcaban la ingeniería, la metafísica y la teología así como la filosofía natural (véase cap. 15, «Ciencia y religión).

A este respecto, el de James Prescott Joule es un buen ejemplo. Hijo de un cervecero de la industrial Manchester, su inicial entusiasmo por la filosofía natural se canalizó hacia el electromagnetismo. A finales de la década de 1830, se hizo famoso diseñando y construyendo motores electromagnéticos y formó parte del círculo de electricistas que, en su mayor parte localizado en Londres, existía en torno a William Sturgeon (fig. 4.2). De todos modos, a Joule lo que le interesaba en especial era hasta qué punto eran buenas sus máquinas electromagnéticas, y a tal fin aplicó al problema principios y conocimientos de ingeniería. Quería saber cuál era el «aprovechamiento» de sus artefactos —término de ingeniería utilizado para describir la eficiencia de una máquina de vapor, que se medía en función del peso en libras que la máquina podía levantar a la velocidad de un pie por segundo—. Lo que Joule deseaba averiguar más específicamente era cuánto cinc se consumía en el proceso. Como los ingenieros de máquinas de vapor, quería saber cuánto combustible se necesitaba para obtener una determinada cantidad de trabajo. Sus experimentos sobre el rendimiento económico de máquinas electromagnéticas le permitieron plantearse cuestiones más generales que tenían que ver con la relación entre calor y trabajo. A mediados de la década de 1840, llevó a cabo una serie de experimentos concebidos para descubrir cuál era precisamente esa relación.

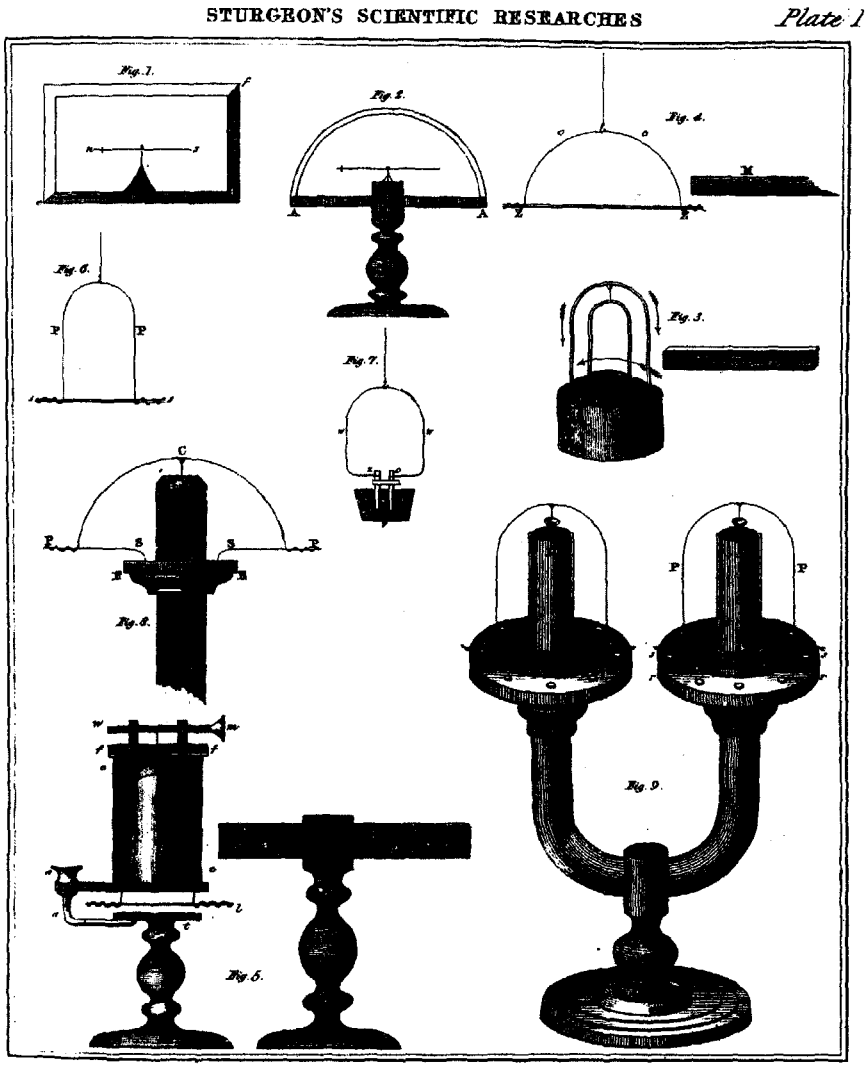


FIGURA 4.2. Instrumentos que ilustran el electromagnetismo en *Scientific Researches*, de William Sturgeon. Se utilizaban instrumentos como éstos en conferencias abiertas al gran público para demostrar la relación entre electricidad y magnetismo.

Joule tenía particular interés en encontrar la manera de cuantificar la relación entre calor y trabajo: lo que él llamaba el «equivalente mecánico del calor». En 1845, obtuvo los resultados de lo que actualmente se conoce como su «experimento con la rueda de paletas» (fig. 4.3), en el cual unos pesos unidos mediante poleas a una rueda de paletas metida en un recipiente de agua hacían girar dicha rueda al descender. Cuando giraba la rueda, se calentaba el agua del recipiente. Gracias a su experiencia en la industria cervecera, Joule tuvo acceso al tipo de conocimientos y de sofisticados aparatos termométricos necesarios para realizar mediciones delicadas como ésas (Sibum, 1995). Según él, sus resultados revelaban que el movimiento de los pesos se convertía en calor en el agua. Esta transformación también podía medirse con precisión. De acuerdo con Joule, cuando la temperatura de medio litro de agua aumentaba un grado, había adquirido una cantidad de *vis viva* (como él denominaba a la fuerza motriz) igual a la adquirida por un peso de 445 litros tras descender desde la altura de treinta centímetros. Joule llamaba a ese número el «equivalente mecánico del calor» y afirmaba que sus experimentos demostraban de manera concluyente que, en el proceso de producción de trabajo, el calor se convertía literalmente en fuerza motriz.

Para Joule, estos experimentos llevaban un mensaje no sólo de ingeniería sino también teológico; aportaban pruebas de cómo Dios había organizado la Creación. Joule estaba convencido de que sus ensayos probaban no sólo que una fuerza podía convertirse en otra sino también la conservación de la fuerza. En 1847, en una conferencia pública celebrada en la St. Anne's Church School de Manchester, mostró un respaldo absoluto a dicha conservación. Joule defendía la realidad de los procesos de conservación y conversión en la naturaleza, que «los fenómenos de la naturaleza, sean mecánicos, químicos o vitales, constan casi únicamente de una continua conversión de la atracción de la fuerza viva y el calor entre sí a través del espacio». Era un argumento explícitamente teológico. En esencia, la afirmación de Joule era que Dios había creado la fuerza y la materia, por lo que ni una ni otra podían ser creadas ni destruidas. Toda pérdida aparente de fuerza viva —como él traducía el término matemático latino del siglo XVIII *vis viva*— era tan sólo fruto de la conversión de un tipo de fuer-

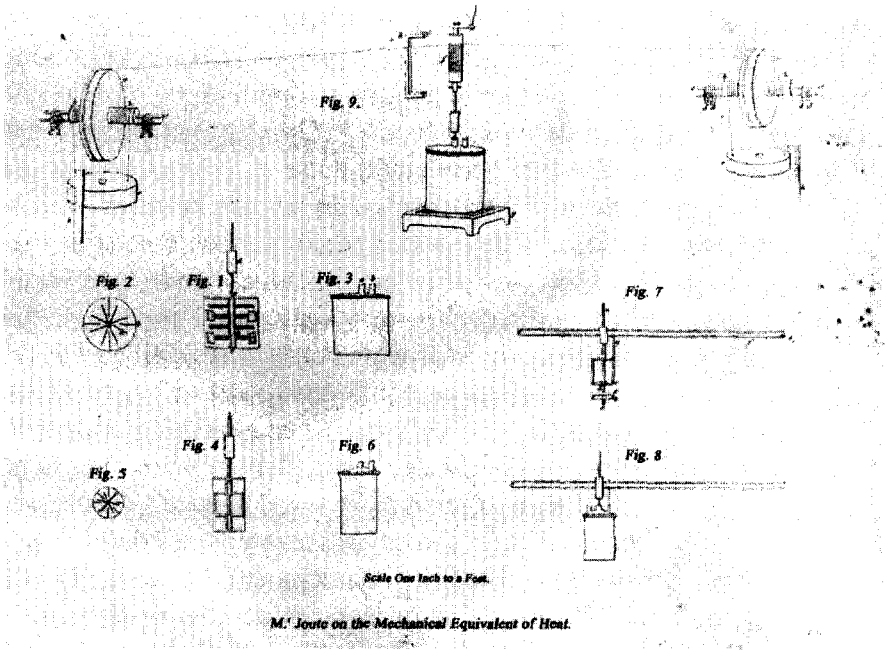


FIGURA 4.3. Diagrama de Joule del famoso experimento con la rueda hidráulica de paletas en el que puso de manifiesto el equivalente mecánico del calor. Cuando bajaban, los pesos hacían girar las paletas de dentro del cilindro, lo que calentaba el agua contenida en el mismo. Joule sostenía que la relación congruente entre la distancia recorrida por los pesos al bajar y el incremento de la temperatura del agua del cilindro demostraba la relación entre trabajo y calor.

za en otra, como ocurría en el experimento de la rueda de paletas con la transformación de trabajo en calor. Era una aseveración muy controvertida, y ni siquiera estaban convencidos de ella los que simpatizaban con Joule y la idea general de la conservación de la fuerza. Por ejemplo, Michael Faraday insistió en que Joule modificara la conclusión de su artículo para *Philosophical Transactions* de la Royal Society en que comunicaba su pretensión de reflejar las dudas de Faraday sobre la cuestión.

Joule no fue el primero en elaborar un principio metafísico gene-

ral a partir de los resultados de experimentos sobre la transformación de la fuerza. En una serie de conferencias pronunciadas en la London Institution, William Robert Grove expuso sus opiniones sobre lo que llamaba la «correlación de fuerzas físicas». Grove sostenía que todas las fuerzas físicas guardaban correlación entre sí, esto es, que podía utilizarse cualquiera de ellas para crear cualquiera de las otras, de manera intercambiable. Se valió de esa idea para organizar un ataque metafísico contra la idea filosófica de la causalidad, diciendo que, según los experimentos, no se podía demostrar que ninguna fuerza generara ninguna otra, pues todas eran mutuamente correlativas. Michael Faraday hizo afirmaciones parecidas en conferencias sobre lo que él llamaba la «conservación de la fuerza», y de vez en cuando tomó prestado el vocabulario de la correlación de Grove. Sin embargo, no estaba claro que ambos significaran lo mismo. Pese a defender la conservación de la fuerza, Faraday discrepaba de las aseveraciones de Joule sobre la cuestión. Según él, Joule sólo había demostrado que la pérdida de una determinada cantidad de calor siempre da como resultado la misma cantidad de movimiento. Faraday estaba satisfecho con la conservación de la fuerza, pero la conversión no le convencía. Esto se debía principalmente a que compartía con Joule la creencia teológica de que una cosa creada por Dios (fuerza, en este caso) no podía ser destruida por ningún proceso natural. Según su parecer, transformar una cosa en otra equivalía a destruirla.

Si por un lado los filósofos naturales británicos estaban ocupados en esos debates, por otro el médico alemán Julius Robert Mayer realizaba en 1840 sus propias observaciones a bordo del barco *Java*, navegando hacia las Indias Orientales holandesas. Mientras llevaba a cabo su cometido como médico del barco, Mayer advirtió el color inusual de la sangre venosa de sus compañeros de tripulación. Era inusitadamente roja, parecía más arterial que venosa, con lo que dedujo que el calor del trópico guardaba alguna relación con la oxigenación de la sangre. A esa observación atribuyó él su interés por el calor, el trabajo y el cuerpo. Tras reflexionar sobre el asunto ya de nuevo en tierra, Mayer publicó en 1842 «Remarks on the Forces of Inanimate Nature» [Comentarios sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada] en los *Annalen der Chemie und Pharmacie*, donde abogaba por una relación

entre lo que denominaba «fuerza de caída», movimiento y calor. Sugirió que cuando un cuerpo caía a la superficie de la tierra se producía forzosamente calor, pues esa caída equivalía a una ligera compresión del volumen del planeta, y se sabía que la compresión generaba calor. Afirmó asimismo que la cantidad de calor derivada de dicha caída debía ser proporcional al peso del cuerpo y a la altura desde la que se precipitara.

Según Mayer, sus observaciones al bordo del *Java* lo habían convencido de que «el movimiento y el calor son sólo diferentes manifestaciones de la misma fuerza». Partiendo de ahí, había llegado a la conclusión de que el calor y el trabajo mecánico han de ser capaces de transformarse el uno en el otro. Como Joule, también propuso una cifra específica: calculó que la caída de un peso dado desde una altura de unos 365 metros correspondía al calentamiento de un peso igual de agua desde 0º a 1º centígrado. La obra de Mayer tuvo poco impacto en su época, aunque más adelante fue aclamado como el pionero alemán de la conservación de la energía. A muchos de sus contemporáneos alemanes su labor les resultaba confusa y ajena. El silencio con que fue recibido su trabajo, igual que el escepticismo con que incluso algunos críticos amables contemplaron los experimentos de Joule, ilustra las dificultades inherentes a la fuerza y sus transformaciones. Los investigadores discrepaban en cuanto a lo que demostraban sus experimentos y cuáles eran sus repercusiones. El uso de términos diferentes, como «conservación», «conversión» y «correlación», era algo más que una sutileza semántica: señalaba un verdadero desacuerdo en lo relativo a la naturaleza de los fenómenos. Aquí entraban en juego preocupaciones filosóficas sobre el carácter de la causalidad y cuestiones teológicas referentes al lugar de Dios en la Creación, amén del asunto más prosaico de fabricar máquinas de mayor rendimiento.

Energía británica

Joule no estaba solo en esa combinación de afanes económicos, teológicos y de ingeniería. Otros filósofos naturales británicos se sumaron a la opinión de que aprender a fabricar máquinas más eficientes era

también un modo de conocer la naturaleza. La búsqueda de la eficacia, es decir, el esfuerzo por reducir al mínimo los desechos y las pérdidas, constituía un imperativo tanto moral como económico. Para ciertos filósofos naturales jóvenes como William Thomson, nacido en el Belfast presbiteriano y criado en la ciudad industrial de Glasgow, la filosofía natural se proponía conocer la naturaleza como si ésta fuera una inmensa máquina de vapor. Thomson estudió filosofía natural en la Universidad de Glasgow, donde su padre era profesor de matemáticas, y a continuación se trasladó a Cambridge a prepararse para el examen final de esa misma disciplina. Durante buena parte del siglo XIX, en Cambridge se impartió seguramente la mejor formación matemática posible; y Thomson era un alumno brillante (Harman, 1985). Los intereses filosóficos naturales de Thomson, como los de su hermano ingeniero James, se centraban en el trabajo, la eficiencia y la eliminación de residuos. Quería entender cómo funcionaba la naturaleza para poder aplicar esas lecciones a las actividades humanas. Thomson ya estaba familiarizado con la teoría de Carnot sobre las máquinas de calor. Había leído la versión matemática publicada por Emile Clapeyron cuando estudió las máquinas de vapor en el laboratorio del investigador Victor Regnault de París tras abandonar Cambridge. En 1847, dos años después de ser nombrado profesor de filosofía natural en Glasgow, asistió a una reunión de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia y oyó a Joule exponer sus hallazgos.

Thomson quedó impresionado por los experimentos de Joule, pero como era seguidor de la teoría de Carnot, aquéllos suponían para él una dificultad. Según Joule, en la producción de trabajo se perdía calor; según Carnot, se conservaba calórico. Ésa era la disyuntiva con la que Thomson forcejearía durante los años siguientes. Para elaborar su propia teoría, tendría que demostrar que uno de los dos (Carnot o Joule) estaba equivocado o debería encontrar la manera de conciliar dos teorías aparentemente irreconciliables. (Thomson desconocía las dudas posteriores y no publicadas de Carnot respecto a la naturaleza del calor.) Thomson coincidía con Joule en la convicción teológica de que nada creado por Dios podía ser destruido. Estaba convencido de que «nada puede perderse en el funcionamiento de la naturaleza... ninguna energía puede destruirse». Pero ahí radicaba precisamente el pro-

blema. Si, como afirmaba Carnot, el trabajo simplemente derivaba del calor que descendía de un nivel de temperatura a otro, ¿qué pasaba con el que se habría producido aun sin haber ninguna máquina en funcionamiento? Al mismo tiempo, si, como Joule sabía, la producción de trabajo equivalía a la pérdida absoluta de calor, ¿adónde iba el calor en los casos en que no se realizaba trabajo útil, como, por ejemplo, en su simple conducción?

Thomson tuvo que esperar al año 1851 para encontrar una respuesta. En una serie de artículos denominada «On the Dynamical Theory of Heat» [Sobre la teoría dinámica del calor], publicada entre 1851 y 1855, sentó las bases de la nueva ciencia del calor: la termodinámica. La teoría se fundamentaba en dos enunciados centrales. El primero era una simple confirmación de la idea de Joule sobre la convertibilidad mutua de calor y trabajo. Era la primera ley de la termodinámica: el principio de conservación de la energía. La segunda formulación se basaba en su interpretación de Carnot. En esencia, decía que una máquina perfectamente reversible —en otras palabras, una máquina que produjera exactamente tanto trabajo como la cantidad equivalente de calor perdida o que necesitara precisamente esa cantidad de trabajo para recuperar el calor perdido— era la mejor posible. Thomson había abandonado ya su anterior compromiso con la insistencia de Carnot en que el calor se conservaba durante el proceso, aunque seguía manteniendo que sólo podía producirse trabajo cuando había una transferencia de calor desde una temperatura dada a otra inferior. Según Thomson, en cualquier proceso de transmisión de calor que no cumpliera con el criterio de Carnot de reversibilidad perfecta —o sea, en cualquier máquina real— había una «pérdida absoluta de energía mecánica al alcance del hombre». Era la segunda ley de la termodinámica.

A lo largo de los años siguientes, Thomson trabajó con aliados de ideas afines, como Peter Guthrie Tait y W. J. Macquorn Rankine, para transformar su nueva teoría dinámica del calor en un método totalmente nuevo de hacer filosofía natural, con el nuevo concepto de la energía, no la fuerza, como elemento nuclear. Junto con P. G. Tait (en broma se referían a sí mismos como T y T'), Thomson escribió el monumental *Treatise on Natural Philosophy* [Tratado de filosofía natu-

ral] para poner de manifiesto las posibilidades de la nueva ciencia de la energética. Era un proyecto ambicioso, pues ambos hombres se veían conscientemente a sí mismos en el sitio de Newton y escribiendo los nuevos *Principia*. Thomson fue el primero en utilizar el término «energía» en un sentido matemático nuevo y preciso. En su uso anterior, había sido un sinónimo poco riguroso de fuerza o potencia. Ahora era simplemente la entidad matemática que, en las transformaciones de una fuerza en otra, se conservaba cuantitativamente. A muchos de los críticos de Thomson no les satisfacía ese nuevo énfasis en la energía. El veterano filósofo natural inglés John Herschel (hijo de William Herschel, el descubridor de Urano) sostenía que la energía no existía realmente, que era una ficción matemática. Abogaba por la retención de fuerza como concepto clave de la filosofía natural, toda vez que la fuerza al menos tenía un significado tangible e intuitivamente obvio. A juicio de Herschel, la introducción de la energía privaba a la filosofía natural de significado físico.

Thomson y sus seguidores confiaban en que la energía y sus ramificaciones irían mucho más allá de la termodinámica. La energía y sus componentes servirían para unificar la filosofía natural. La electricidad, la luz y el magnetismo podían considerarse energía. La conservación de la energía también debía desempeñar un papel en la química, pues explicaría cómo se producían las reacciones. Incluso tenía que desempeñarlo en geología y biología. Thomson se oponía fervientemente a las nuevas ideas darwinianas sobre el origen de las especies, por ejemplo (véase cap. 5, «La edad de la tierra»). Se valió de la nueva ciencia de la energía para demostrar lo erróneas que eran esas teorías, poniendo de manifiesto que, según la termodinámica, ni la tierra ni el sol eran lo bastante viejos para avalar los largos y lentos cambios geológicos y evolutivos requeridos por dichas teorías. Lo que hacía Thomson en esos debates —y lo que él y Tait hacían en su *Treatise*— era sobre todo mostrar la superioridad de su filosofía natural. Ponían de relieve cómo se podía usar la energía para resolver problemas de otras disciplinas. La energética era también un ejemplo de la utilidad de la filosofía natural. Procuraba una fórmula para fabricar mejores máquinas de vapor. También captaba y reflejaba la cultura industrial de la Gran Bretaña victoriana proporcionando un modelo natural para

una sociedad que quería maximizar la eficiencia y minimizar el despilfarro (Wise, 1989-1990).

Un entusiasta de la nueva ciencia de la energía fue James Clerk Maxwell, quien situó la energía en un lugar privilegiado entre las nuevas teorías del electromagnetismo que empezó a elaborar a partir de la década de 1850. Tras seguir el consejo de William Thomson y leer minuciosamente *Experimental Researches in Electricity and Magnetism* [Investigaciones experimentales en electricidad y magnetismo] de Michael Faraday, en 1855 escribió su primer artículo, «On Faraday's Lines of Force» [Sobre las líneas de fuerza de Faraday]. En esta y otras colaboraciones posteriores, brindó una elaboración matemática de las explicaciones de Faraday sobre los fenómenos eléctricos y magnéticos en función de la distribución de líneas hipotéticas de fuerza en el espacio. Consciente de las quejas de los críticos sobre la intangibilidad de la energía, para representar su teoría Maxwell creó un complejo modelo mecánico de vórtices moleculares y ruedas intermedias. Su teoría matemática describía un medio real existente —el éter—, donde la energía se almacenaba y se transformaba pasando de una forma a otra (fig. 4.4). Las teorizaciones electromagnéticas de Maxwell culminaron en el *Treatise on Electricity and Magnetism* [Tratado de electricidad y magnetismo] de 1873, publicado sólo dos días después de haber sido nombrado primer profesor Cavendish de física de la Universidad de Cambridge. Igual que Thomson y Tait, intentaba crear los cimientos de una nueva ciencia integral basada en el concepto de la energía. Se mantuvo firme en que la energía electromagnética y el éter no eran entidades hipotéticas, sino tan reales como cualquier otra cosa del universo.

Para los físicos británicos del siglo XIX, el éter se convirtió rápidamente en la encarnación de la energía. Muchos de ellos consideraban que física de la energía equivalía prácticamente a física del éter. Ciertos físicos, entre ellos Oliver Heaviside, Oliver Lodge y George Fitzgerald, entendieron que el principal cometido de su disciplina era desentrañar las propiedades físicas y matemáticas del éter. En 1885, Fitzgerald creó lo que describió como un modelo «esponja de vórtices» del éter, visualizado éste como una red tridimensional de vórtices esponjosos, comprimibles, que llenaba todo el espacio. El objetivo era

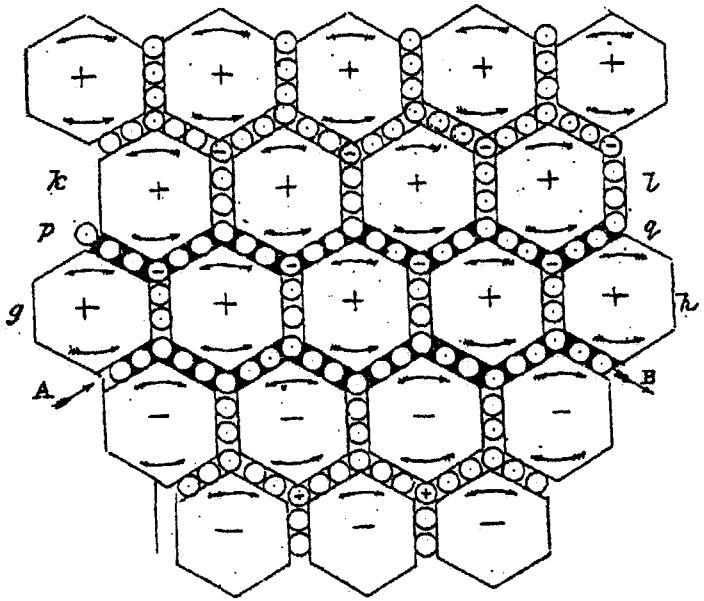


FIGURA 4.4. Modelo de James Clerk Maxwell de una posible estructura mecánica del éter.

ser capaz de volver a escribir las ecuaciones electromagnéticas de Maxwell en términos estrictamente matemáticos como descripciones de un verdadero sistema mecánico. Así, las ondas electromagnéticas serían casi literalmente vibraciones mecánicas en un medio físico. Si la termodinámica de Thomson era la física de la máquina de vapor, la electrodinámica maxwelliana era la física del sistema victoriano del telégrafo. El telégrafo eléctrico había sido uno de los principales logros de la ingeniería victoriana, y los físicos maxwelianos tenían mucho interés en poner de manifiesto la capacidad de su ciencia para explicar el funcionamiento de aquél. Consideraban que el descubrimiento de Heinrich Hertz —uno de los alumnos de Von Helmoholtz— de las ondas electromagnéticas en 1888 era una sólida confirmación de la teoría maxwelliana y una victoria sobre los ingenieros eléctricos prácticos como William Preece, jefe del departamento del telégrafo de Correos, el cual negaba la aplicabilidad de la física maxwelliana a cuestiones de ingeniería práctica.

Hombres como Joule, Thomson y Maxwell tenían especial interés en hacer que la ciencia de la energía fuera viable y tangible. No todo el mundo estaba de acuerdo con esa percepción de lo que debía ser la disciplina. El físico francés Pierre Duhem criticó duramente el modo como la física de la energía parecía ser también la física de las fábricas. No entendía la obsesión británica (que él advertía) por asegurarse de que el concepto de energía estuviera firmemente anclado en la realidad. Para él, la física era una cuestión mucho más abstracta y no le preocupaba la posibilidad de que determinadas entidades teóricas no tuvieran equivalente físico. No obstante, los físicos británicos, quizá conscientes de las críticas dirigidas a ellos por rivales como John Herschel, querían asegurarse de que la energía se reconocía como una entidad real. El físico Oliver Lodge llegó a decir que la existencia del éter estaba tan claramente establecida como la de la materia. Esto también era un rasgo de su preocupación por el sentido práctico de su ciencia. La mayoría de los físicos británicos no se sintieron tan ofendidos como Duhem hubiera querido con el comentario de que su física estaba contaminada por los trabajadores fabriles. Se sentían orgullosos de que ésta fuera ante todo práctica.

La ciencia alemana

En los territorios alemanes del segundo cuarto del siglo XIX también se producían, por parte de una nueva generación de filósofos naturales, movimientos para reformar la práctica y los conceptos clave de su ciencia. Concretamente, muchos integrantes de esa generación tenían ganas de desvincularse de lo que consideraban excesos metafísicos de la *naturphilosophie* de la generación anterior. Censuraban la ciencia de sus predecesores por ser demasiado especulativa, por estar obsesionada con la unidad de la naturaleza y tratar el universo casi como si fuera un ser vivo. Prometedores practicantes como Emil du Bois Raymond, Carl Ludwig y Hermann von Helmholtz prefirieron abrazar el materialismo y el racionalismo. Helmholtz estudió medicina en la Universidad de Berlín a principios de la década de 1840. Durante los años siguientes sirvió en el ejército prusiano como cirujano jefe mien-

tras llevaba a cabo experimentos sobre la función del calor en la fisiología muscular y alcanzaba cierta fama en los círculos fisiológicos. En 1849, y con la ayuda de su antiguo profesor, el fisiólogo Johannes Müller, Helmholtz consiguió un puesto de profesor de fisiología en la Universidad de Königsberg. Donde sus predecesores habían querido demostrar que era posible tratar el universo como un organismo vivo, la nueva generación de fisiólogos de la que formaba parte Helmholtz quería demostrar que los organismos vivos podían ser tratados como máquinas (fig. 4.5).

En 1847, dos años antes de tomar posesión de su cátedra, Helmholtz publicó un pequeño panfleto titulado *Über die Erhaltung der Kraft* [Sobre la conservación de la fuerza], donde basaba su teoría de la conservación en el rechazo del movimiento perpetuo. Si la cantidad de trabajo realizada por un sistema al pasar de un estado a otro no fuera la misma que la necesaria para efectuar el cambio al revés, entonces sería posible el movimiento perpetuo. A continuación Helmholtz pasó a mostrar cómo se aplicaba su teoría a los sistemas mecánicos —los que incluyen movimiento bajo la influencia de la gravedad, el movimiento de los cuerpos elásticos, el movimiento de las olas, etcétera—. Al ocuparse de sistemas mecánicos en los que anteriormente se había creído que tenía lugar una pérdida absoluta de fuerza, como aquellos en los que hay fricción o la colisión de cuerpos inelásticos, Helmholtz planteó la posibilidad del equivalente mecánico del calor, citando como prueba algunos de los primeros experimentos de Joule. Sostenía que el calor no era un tipo de materia, como sugería la teoría del calórico, pues los datos experimentales indicaban que había maneras (como la fricción mecánica o la magneto-electricidad) de producir cantidades indefinidas de calor en un sistema. Si el calor era un tipo de materia, entonces, según Helmholtz, podía obtenerse a partir de nada.

Helmholtz aplicó el mismo tipo de principios mecánicos a los fenómenos de la electricidad y el magnetismo. Llevó a cabo un concienzudo análisis del movimiento bajo la influencia de fuerzas eléctricas y magnéticas. Aprovechó los experimentos de Joule sobre la relación entre electricidad y calor y brindó un detallado examen de la acción de diferentes clases de baterías, como las pilas de Daniell y Grove. Helmholtz terminó su ensayo con un estudio de la conserva-

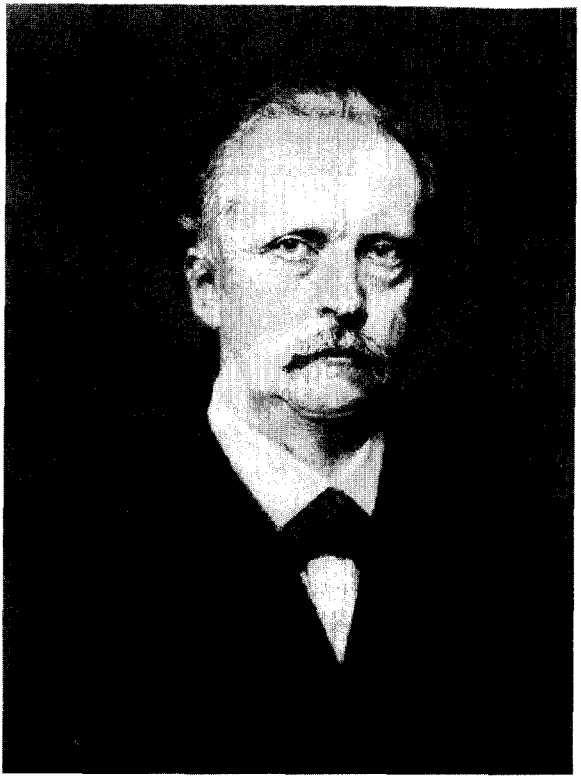


FIGURA 4.5. Hermann von Helmholtz, físico alemán y pionero de la conservación de la energía (The Wellcome Trust, Londres). A su muerte, en 1894, se consideraba que era la figura más destacada de la ciencia alemana.

ción de la fuerza en los cuerpos orgánicos. Al fin y al cabo, era fisiólogo —y de los dispuestos a demostrar que se podía estudiar la fisiología partiendo de principios materialistas—. Los primeros trabajos fisiológicos de Helmholtz habían tenido como finalidad revelar que se podía seguir la pista del calor de los cuerpos animales y su acción muscular hasta llegar a la oxidación de los alimentos —el combustible—. Su labor seguía los pasos del químico alemán Justus von Liebig, que había llevado a cabo innovadoras investigaciones sobre las conexiones entre química de la nutrición y vitalidad. Avaló los experimentos de los fisiólogos según los cuales la cantidad de calor producida por la com-

bustión y la transformación de las sustancias tomadas en la nutrición era igual a la cantidad de calor despedida por los seres vivos. En otras palabras, no había que dar cuentas de la pérdida de ninguna fuerza vital. Los cuerpos orgánicos seguían la ley de la conservación de la fuerza como cualquier otro sistema natural.

Helmholtz publicó su ensayo en forma de panfleto, pues la prestigiosa *Annalen der Physik* se había negado a editarlo. El editor, el físico Johann Christian Poggendorff, lo rechazó argumentando que era demasiado especulativo y no contenía suficiente material experimental nuevo. Además, Helmholtz era fisiólogo, no físico, tanto por formación como por profesión. No obstante, su puesto en Königsberg le había puesto en contacto con físicos de formación matemática, como Carl Neumann. Poco a poco, los físicos comenzaron a prestar atención a las conjeturas de Helmholtz relativas a la conservación de la fuerza, y éste adquirió conocimientos en matemáticas y física experimental. Durante la década de 1850, el hueco entre la fisiología y la física se fue llenando gracias a sus investigaciones, muchas de las cuales, como sus experimentos con Neumann sobre la propagación de la electricidad a través de los nervios, tenían como objetivo averiguar las propiedades físicas de los sistemas fisiológicos. En la década de 1860, se le reconoció cada vez más como físico, y acabó su carrera como director del renombrado Physikalisch-Technische Reichsanstalt de Berlín. Fue el artífice de una nueva generación de físicos alemanes, entre ellos Heinrich Hertz, que aplicarían y extenderían a ámbitos nuevos sus investigaciones teóricas sobre la conservación de la energía. De todas formas, uno de los primeros físicos en tomar en serio el trabajo de Helmholtz fue Rudolf Clausius, un joven profesor recién licenciado —como el mismo Helmholtz— de la Universidad de Berlín.

Clausius había escrito su tesis doctoral —bajo la supervisión del físico Gustav Magnus— sobre la dispersión de la luz y los efectos luminosos de la atmósfera, examinando especialmente cómo reflejaban la luz las minúsculas partículas del aire. Luego pasó a estudiar el movimiento de los gases y los cuerpos elásticos. Fue esa investigación la que despertó su interés por los problemas del calor y el trabajo tras leer los artículos del investigador francés Regnault y la interpretación de Clapeyron sobre la teoría de Carnot. En 1850 publicó «On the Mo-

ving Force of Heat, and the Laws regarding the Nature of Heat Which Are Deducible Therefrom» [Sobre la fuerza móvil del calor, y las leyes relativas a la naturaleza del calor deducibles de la misma] en la prestigiosa *Annalen der Physik* de Poggendorff. Su argumento se basaba en la lectura de un informe sobre la teoría de Carnot escrito por William Thomson en 1849. A su juicio, era posible conciliar la afirmación de Carnot de que el trabajo derivaba del calor que fluía de un nivel de temperatura a otro inferior con el aserto de Joule de que el trabajo resultaba de la transformación a partir de calor. Sólo hacía falta abandonar el supuesto de que el calor se conservaba durante la producción de trabajo. La sugerencia de Clausius era que la generación de trabajo gracias al calor requería el flujo de éste desde un nivel de temperatura a otro y también la transformación de una determinada proporción de calor en trabajo. Tanto Carnot como Joule acertaban, siempre y cuando las afirmaciones del primero referentes a la conservación del calórico quedaran relegadas a la categoría de declaración subsidiaria superflua. Ésta fue más o menos la misma conclusión a la que llegaría Thomson en su artículo de 1851 titulado «On the Dynamical Theory of Heat» [Sobre la teoría dinámica del calor].

Clausius siguió trabajando en sus teorías del calor durante toda la década de 1850 y algo más. En 1853 se ocupó del ensayo de Helmholtz, que elogió por sus «muchas ideas bellas» pero también criticó por su inexactitud matemática. La principal preocupación de Clausius era hallar conexiones entre la teoría dinámica del calor y el trabajo en los gases en movimiento, que en un principio habían despertado su interés por el asunto. A Clausius le llamaba la atención la teoría cinética de los gases: la idea de que las propiedades a gran escala de los gases se pudieran entender como resultantes de movimientos a pequeña escala de las partículas, o moléculas, de las que aquéllos se componían. A su modo de ver, el calor se debía simplemente al movimiento de esas partículas. Los gases calientes constaban de partículas de movimientos rápidos, mientras las de los más fríos eran más lentas. Habida cuenta de que las moléculas de los cuerpos calientes se movían más deprisa, tendían a estar más separadas unas de otras, y Clausius sostenía que, en consecuencia, el calor podía expresarse en función de esa distancia. En 1865, Clausius introdujo en la teoría dinámica del calor un

concepto nuevo —la entropía—, de tal modo que reescribió la segunda ley de la termodinámica como sigue: la entropía del universo tiende a un valor máximo. Más adelante, para el físico austríaco Ludwig Boltzmann eso significó que la segunda ley de la termodinámica tenía carácter estadístico y que había que considerar la entropía como un término que definía el orden o desorden relativo del sistema. Era un gran paso que daba a entender que, en los niveles moleculares, la ley de causa y efecto sólo tenía una validez estadística, no absoluta.

Según se desarrollaron entre los alemanes, la termodinámica y la energética fueron cuestiones muy distintas de la versión inglesa, sobre todo en el caso de la obra de Clausius. La ciencia que creó éste era conscientemente abstracta y racionalista. Y también de forma abierta y deliberada la antítesis de la desaforadamente metafísica *naturphilosophie* de la generación anterior. Al igual que Helmholtz, en artículos escritos durante las décadas de 1850 y 1860 amplió sus estudios sobre el calor para abarcar también los fenómenos eléctricos. No obstante, la base de su comparación de la electricidad con el calor era explícitamente matemática más que experimental. En muchos aspectos, las investigaciones que realizaron Clausius y sus alumnos fueron precursoras directas de la física teórica del siglo XX. Tradicionalmente se consideraban las teorizaciones matemáticas sobre la naturaleza como una actividad autónoma a título propio. En la década de 1860, muy pronto quedó claro que, por mucho que al observador ocasional pudiera parecerle que tenían bastante en común, esa ciencia alemana era la antítesis exacta de la filosofía natural práctica de William Thomson y otros físicos británicos de ideas similares. Mientras durante la década de 1860 avanzaban las investigaciones de Clausius, James Clerk Maxwell se quejaba de que éstas hacían cada vez menos referencia a la realidad material, física. En su opinión, si quería formar parte de una teoría física, incluso el concepto matemático más abstracto debía tener un componente mensurable. Los teóricos como Clausius no tenían tantos escrúpulos. A diferencia de los británicos, a los físicos alemanes no les interesaba mucho averiguar la estructura mecánica del éter. Lo que les importaba eran las matemáticas.

Conclusiones

En muchos sentidos, Thomas Kuhn tenía toda la razón. En el segundo cuarto del siglo XIX se produjo un descubrimiento simultáneo de la conservación de la energía. Los personajes destacados aquí —y otros— propusieron versiones de lo que entendemos actualmente por conservación de la energía. Kuhn nombra a doce (pasando por alto a Thomson y Clausius, por alguna razón), y no sería difícil pensar en otros. El hecho de que lo que esos diversos protagonistas estaban descubriendo no fuera en modo alguno lo mismo —o de que, en realidad, no estuvieran descubriendo nada en absoluto— es, no obstante, fruto del examen retrospectivo. Sólo es a posteriori cuando las aseveraciones experimentales y las generalizaciones teóricas analizadas aquí parecen contribuir al principio que actualmente reconocemos como la conservación de la energía; cuando se hicieron inicialmente, quizá pareció que pertenecían a problemas y cuestiones totalmente diferentes. Lo que en la actualidad es para nosotros una sencilla muestra de ciencia empírica, para Joule o Thomson —o ya puestos, para Michael Faraday— era un asunto fundamentalmente teológico. Muchos de los descubridores simultáneos no discrepaban acerca de lo descubierto sólo en cuestiones de detalle. Estaban en desacuerdo respecto al significado esencial de los descubrimientos y en el modo como éstos encajaban en el marco general de la filosofía natural.

Ninguno de esos desacuerdos básicos impidió ruidosas controversias sobre la prioridad en décadas posteriores del siglo, cuando se vio que efectivamente se había hecho un descubrimiento fundamental. Durante la segunda mitad del siglo XIX, diversas figuras reivindicaron el descubrimiento de la conservación de la energía. William Robert Grove, por ejemplo, proclamó en 1846 como texto clave su *On the Correlation of Physical Forces* [Sobre la correlación de fuerzas físicas], pretensión que P. G. Tait rechazó calificándola de «patraña». De todas formas, muchos filósofos naturales británicos siguieron utilizando indistintamente los términos «correlación de fuerzas» y «conservación de la energía» al menos hasta la década de 1880. En Gran Bretaña, la mayoría de los autores señalaban como descubrimiento

crucial los experimentos de James Prescott Joule sobre el equivalente mecánico del calor. En Alemania ocurrió otro tanto, y los historiadores de la nueva doctrina de la energía consideraron que su creador había sido Robert Mayer. También había quienes discrepaban, como el filósofo natural anglo-irlandés John Tyndall, un vociferante adversario de la física de Thomson y Tait que estaba más de acuerdo con los alemanes respecto a que el verdadero descubridor era Mayer y no Joule. El físico americano Josiah Williard Gibbs concedía los laureles a Clausius mientras que P. G. Tait sostenía que la excesiva abstracción matemática de éste lo inhabilitaba. Los británicos y los alemanes fueron especialmente vocingleros en sus afirmaciones y reconvenciones. La pretensión de ser el creador de la teoría clave de la física del siglo XIX era una cuestión de orgullo nacional.

Pese a todo, el principio de conservación de la energía desempeñó efectivamente un papel decisivo en el siglo XIX, desde el punto de vista tanto institucional como intelectual. Por un lado, procuró una nueva y eficaz herramienta teórica para comprender la naturaleza. Por otro, proporcionó un recurso igualmente poderoso para la reorganización institucional de la filosofía natural. Si estamos buscando puntos de origen, tal vez sería razonable afirmar que la conservación de la energía marca el final de la filosofía natural y el inicio de la física como la conocemos. El principio de conservación de la energía brindó un marco para la aparición de la física como disciplina. Ofreció a los físicos un conjunto común de teorías y prácticas teóricas y experimentales —aunque, como hemos visto, esa perspectiva común tardó cierto tiempo en aparecer—. A juicio de los historiadores, fue durante el siglo XIX cuando la ciencia llegó a ser una profesión en el sentido moderno del término. En ese caso, la conservación de la energía procuraba sin duda un terreno compartido para forjar una identidad profesional a los físicos. Facilitaba un medio para demostrar la capacidad intelectual y práctica de la nueva disciplina. Gracias a sus conexiones con las máquinas de vapor y los telégrafos, ponía de relieve el importante papel que podía desempeñar la física en la sociedad industrial.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Cahan, David (ed.), *Hermann von Helmholtz and the Foundations of Nineteenth-Century Science*, University of California Press, Berkeley, 1994.

Caneva, Kenneth, *Robert Mayer and the Conservation of Energy*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1993.

Cardwell, Donald, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1971.

—, *James Joule: A Biography*, Manchester University Press, Manchester, 1989.

Carnot, Sadi, *Reflections on the Motive Power of Fire*, trad. y ed. Robert Fox, Manchester University Press, Manchester, 1986.

Elkana, Yehuda, *The Discovery of the Conservation of Energy*, Hutchinson, Londres, 1974.

Harman, Peter, *Energy, Force and Matter: The Conceptual Development of Nineteenth-Century Physics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

— (ed.), *Wranglers and Physicists*, Manchester University Press, Manchester, 1985.

—, *The Natural Philosophy of James Clerk Maxwell*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Hunt Bruce, *The Maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1991.

Jungnickel, Christa y Russell McCormmach, *The Intellectual Mastery of Nature: Theoretical Physics from Ohm to Einstein*, vol. 1, University of Chicago Press, Chicago, 1986.

Kuhn, Thomas, «Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery», en *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*, University of Chicago Press, Chicago, 1977 (hay trad. cast.: *La tensión esencial: estudios selectos sobre la tradición y el cambio en el ámbito de la ciencia*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1983).

Morus, Iwan Rhys, *Frankenstein's Children: Electricity, Exhibition and Experiment in Early-Nineteenth-Century London*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1998.

Rabinbach, Anson, *The Human Motor*, University of California Press, Berkeley, 1990.

Sibum, Otto, «Reworking the Mechanical Value of Heat: Instruments of Precision and Gestures of Accuracy in Early Victorian England», *Studies in the History of Philosophy of Science*, n.º 26 (1995), pp. 73-106.

Smith, Crosbie, *The Science of Energy*, Athlone, Londres, 1998.
—, y M. Norton Wise, *Energy and Empire: A Biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.
Williams, L. Pearce, *Michael Faraday*, Chapman & Hall, Londres, 1965.
Wise, M. Norton (con la colaboración de Crosbie Smith), «Work and Waste: Political Economy and Natural Philosophy in Nineteenth-Century Britain», *History of Science*, n.º 27 (1989-1990), pp. 263-301; n.º 27, pp. 391-449; n.º 28, pp. 221-261.

5

La edad de la tierra

La enorme ampliación de la escala temporal de la historia terrestre es una de las más extraordinarias revoluciones conceptuales realizadas por la ciencia moderna. La escala temporal bíblica, basada en la interpretación literal de la historia de la Creación incluida en el libro del Génesis, sitúa el origen de la tierra (y, en realidad, de la totalidad del universo) en unos miles de años atrás. En esta historia no hay prehistoria pues ya desde el inicio están ahí los seres humanos, de cuyas actividades sabemos algo gracias a los documentos sagrados. Comparemos esto con el cuadro de la tierra establecido por las ciencias modernas, en el que ésta tiene varios miles de millones de años de edad y la especie humana apareció sólo al final de una larguísima secuencia de acontecimientos. Sin esta escala temporal ampliada, la teoría de la evolución es inimaginable, por lo cual es lógico que los creacionistas modernos de la «tierra joven» traten de debilitar la credibilidad de la cosmovisión instaurada por las ciencias de la tierra. La escala temporal bíblica era comúnmente aceptada a finales del siglo XVII, cuando los naturalistas hicieron los primeros esfuerzos para descifrar los restos fósiles y geológicos. Durante un siglo o más, debido al trabajo ininterrumpido en este ámbito, fue cada vez más difícil defender una teoría de la tierra que no contuviera una larga secuencia de episodios físicos que se extendían a lo largo de un prolongado período de tiempo. La extensión de dicho período sería una cuestión controvertida hasta principios del siglo XX. Para los creacionistas de la tierra joven, todavía lo es en la actualidad.

La historia de las ciencias de la tierra ha tendido a centrarse en cuestiones que hacen hincapié en la supuesta «guerra» entre ciencia y religión. Esto ha tenido un efecto distorsionador en nuestra interpretación de los debates teóricos, efecto que se ha disipado gracias a estudios históricos recientes. El viejo modelo de cómo se desarrollaron estas ciencias, visible aún en *Genesis and Geology* [Génesis y geología] (1951) de C. G. Gillispie, adoptó un enfoque de «héroes y villanos» en el que unos cuantos científicos clave eran identificados como los fundadores de la escala temporal moderna. Los que se oponían a esos pioneros eran rechazados y calificados de malos científicos por permitir que sus creencias religiosas desvirtuaran su trabajo. Los dos héroes más importantes eran James Hutton y Charles Lyell, que respaldaban la metodología geológica del «uniformitarianismo», método que descartaba recurrir a causas desconocidas y consideraba la historia de la tierra como un ciclo casi eterno de cambios lentos y graduales. Es significativo que Charles Darwin fuera uno de los principales discípulos de Lyell. Opuesta al uniformitarianismo había una teoría geológica denominada «catastrofismo», que pretendía limitar la necesidad de una escala temporal muy ampliada recurriendo a episodios violentos en los que acaso se crearon o se destruyeron continentes enteros de forma casi instantánea. Esto no sólo acotaba la necesidad de poner en entredicho la escala temporal del Génesis sino que permitía también contemplar el Diluvio de Noé como un suceso geológico real. Lyell y Hutton aparecieron como los fundadores de las ciencias modernas de la tierra, mientras los catastrofistas eran ridiculizados como fanáticos religiosos que manipulaban su ciencia para defender creencias estrechas de miras.

Los historiadores modernos han invalidado casi del todo este modelo excesivamente simple del desarrollo de la geología. Lejos de ser malos geólogos, los catastrofistas hicieron importantes aportaciones a nuestro conocimiento de la secuencia de los períodos geológicos que constituyen la historia de la tierra. No tenían ningún interés en reducir la edad del planeta a unos miles de años, y la mayoría de ellos no pretendían de ningún modo describir como última catástrofe el Diluvio del Génesis. En el otro extremo, se sabe que Hutton y Lyell poseían sus propios valores culturales y religiosos, los cuales influyeron con-

siderablemente en sus ideas científicas. Aunque sus modelos de la historia moderna eran en apariencia modernos, contenían elementos que ningún geólogo moderno podía aceptar. Fuera del mundo anglosajón pasaron en gran medida inadvertidos. Los geólogos de finales del siglo XIX continuaban trabajando con una escala temporal mucho más corta que la aceptada en la actualidad, si bien aún era inmensa con arreglo a los patrones humanos. Los trabajos de Lyell tuvieron mayor impacto en la imaginación popular —sus libros se leían mucho— que en la ciencia. No fue hasta principios del siglo XX cuando nuevos datos físicos obligaron a los geólogos a empezar a trabajar con escalas temporales que se extendían hasta miles de millones de años.

El estudio de las controversias sobre la edad de la tierra nos brinda un buen ejemplo de cómo se ha desarrollado la historia de la ciencia. Del cuestionamiento de los mitos establecidos por los propios científicos (y a veces por sus adversarios) han surgido nuevas ideas. La vieja historiografía se basaba en una tendencia a fabricar héroes y villanos conforme a un cálculo superficial del grado en que sus teorías se acercaban a lo que actualmente aceptan los científicos. Y cuando aparentemente se identificaba ciencia «mala», se recurría a fuerzas externas —como las creencias religiosas— para que explicaran por qué los implicados se desviaban del camino verdadero de la objetividad científica. Se exageraba mucho la influencia de los héroes, lo que daba la impresión de que eran capaces de provocar una revolución repentina que estableciera el paradigma teórico moderno. Ahora vemos que el conjunto del proceso fue mucho más prolongado y que la aparición de la visión moderna de la historia de la tierra requirió la síntesis de distintas perspectivas metodológicas y teóricas en otro tiempo consideradas incompatibles.

El paleontólogo Stephen Jay Gould captó de manera elocuente la necesidad de replantear las diferencias conceptuales entre uniformitarianos y catastrofistas. En *La flecha del tiempo* (1987) pone de manifiesto cómo el punto de vista aparentemente moderno de Lyell se basaba en un «estado estacionario» del pasado en que la tierra no tenía principio ni final. Según este criterio, la idea moderna del tiempo geológico estaría más estrechamente relacionada con la de los catastrofistas, pues para éstos la tierra era un planeta que tenía un principio y ha-

bía experimentado una secuencia de episodios que habían desembocado en lo que hoy conocemos. En el caso de Lyell, el simple hecho de que en su teoría hubiera más tiempo no garantizaba el acierto del resto de su geología. Los catastrofistas que se oponían a sus argumentos quizá tuvieran buenas razones para ello, aunque esto no excluye la posibilidad de que algunas de esas razones pudieran proceder de ámbitos ajenos a la ciencia (para otros análisis de la historia de la geología, véase Greene [1982], Hallam [1983], Laudan [1987], Oldroyd [1996], Porter [1977] y Schneer [1969]).

Teorías de la tierra del siglo XVII

Una consecuencia de la denominada revolución científica (véase cap. 2) fue que, en las décadas intermedias del siglo XVII, la tierra se convirtió en objeto de estudio, y sus orígenes en un asunto sujeto a la especulación teórica. Algunas de las ideas resultantes suenan estrafalarias para los criterios modernos, pero ayudaron a identificar cuestiones y problemas que determinarían la posterior historia de la geología. Una característica de estas primeras teorías que hoy nos parecen especialmente extrañas es el hecho de que casi todas habían tomado forma en un marco conceptual definido por la escala temporal bíblica. El siglo XVII fue el período en que los teólogos y eruditos protestantes establecieron la cronología de la «tierra joven» basándose en una interpretación literal del Génesis. (Paradójicamente, los Padres de la Iglesia que sentaron las bases del pensamiento cristiano en los primeros siglos no tomaban la historia de la Creación en sentido literal.) A mediados del siglo XVII fue James Ussher, arzobispo de Armagh, quien publicó el cálculo posteriormente ridiculizado de que la tierra había sido creada en el año 4004 a.C. Su técnica establecía la fecha de la creación de Adán retrocediendo temporalmente a través de los patriarcas hebreos. Si se tomaban los siete días de la Creación al pie de la letra, sólo era cuestión de añadirlos a la época de los citados patriarcas para tener la fecha de la creación de la tierra y del propio universo. La erudición de Ussher gozó de gran respeto en su época, y los primeros naturalistas que estudiaron la estructura de la tierra no veían ninguna ra-

zón para ponerla en entredicho. Así pues, sus «teorías de la tierra» estaban formuladas de tal manera que cualquier cambio que postularan podía encajar en esa corta escala temporal (véase cap. 15, «Ciencia y religión»).

Algunas de esas primeras teorías surgieron de los esfuerzos por situar el origen de la tierra en las nuevas cosmologías propuestas por Descartes y Newton (para más detalles, véase Greene [1959], Rappaport [1997] y Rossi [1984]). El *Telluris theoria sacra orbis nostri: originem & mutationes generales, quas aut jam subiit, aut olim subiturus est complectens* (1691) de Thomas Burnet seguía el ejemplo de Descartes en la descripción de la tierra como una estrella muerta y explicaba el Diluvio universal como la consecuencia de un enorme hundimiento de la superficie originariamente lisa (fig. 5.1). En *New Theory of the Earth* [Nueva teoría de la tierra] (1696), William Whiston se valía de la teoría de Newton para explicar que el Diluvio se había debido a agua depositada a raíz de una casi colisión con un cometa. Ambos secundaban la escala temporal bíblica, aunque Burnet —cuya teoría recibió críticas por partir del texto literal del Génesis— aconsejaba que no se ligara la veracidad del documento sagrado demasiado estrechamente a una sola teoría. Burnet era consciente de que había fuerzas de erosión que podían desgastar cadenas montañosas, pero en su opinión la existencia ininterrumpida de montañas demostraba que se habían formado bastante recientemente como fragmentos de la corteza original.

Lo nuevo de esas teorías era su disposición a explicar hechos de profunda importancia espiritual, por ejemplo el Diluvio universal, como una consecuencia de sucesos estrictamente físicos. A largo plazo, más preocupantes fueron las pruebas acumuladas por naturalistas que comenzaron a estudiar la estructura de las rocas y los fósiles que contenían. Tras debatirlo, resultó ampliamente aceptado que los fósiles eran restos de criaturas en otro tiempo vivas que habían acabado petrificadas en las rocas (Rudwick, 1976). El anatomista Nicholas Steno puso de manifiesto que los dientes de un tiburón fósil eran casi indistinguibles de los de un tiburón vivo que había diseccionado. Robert Hooke reveló que la madera fósil era semejante a su equivalente moderno incluso al microscopio. Tanto Steno como Hooke hicieron

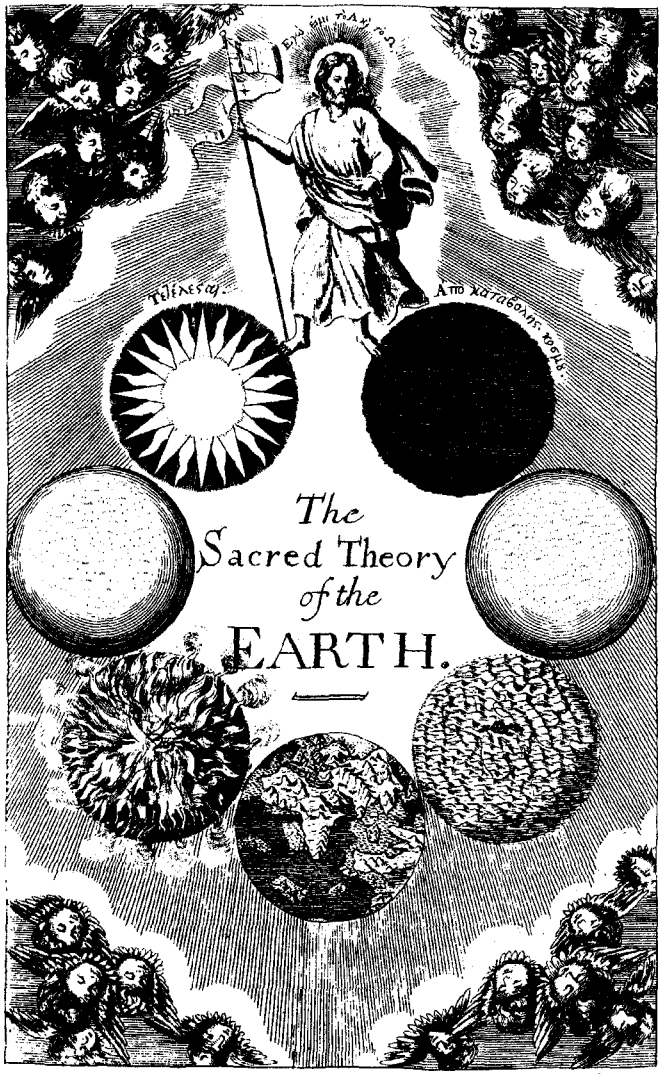


FIGURA 5.1. Frontispicio de *Telluris theoria sacra...* (1691) de Thomas Burnet. Cristo está en la parte superior, con un pie en el principio y otro en el final de la secuencia de episodios que constituyen la historia de la tierra. Tras empezar como una estrella muerta (arriba a la derecha), la tierra adquiere una corteza lisa, que luego se rompe en el Diluvio de Noé —se aprecia un arca diminuta—, que dará lugar a la superficie irregular de los continentes actuales. A la larga, el planeta se volverá a encender para convertirse de nuevo en una estrella.

notar que los fósiles se hallaban en capas o estratos de roca que tenían todo el aspecto de haber permanecido bajo el agua aunque ahora estuvieran al descubierto en tierra seca.

Una posible explicación de esto, expuesta por el coleccionista de fósiles John Woodward en su *Essay toward a Natural History of the Earth* [Ensayo sobre una historia natural de la tierra] (1695), era que todas las rocas sedimentarias se depositaron a partir de sedimentos creados cuando el Diluvio universal cubrió toda la superficie (es la teoría defendida aún por los creacionistas de la tierra joven). Sin embargo, Steno y Hooke ya eran conscientes de que esta perspectiva fallaba un poco. La imagen de estratos retorcidos y con fallas daba la clara impresión de que éstos, tras haber sido depositados, habían sufrido una transformación espectacular; de hecho, parecía haberse producido una secuencia completa de acontecimientos en virtud de los cuales se había formado la actual estructura de la superficie de la tierra. Según Hooke, debido a diversos terremotos habían subido nuevas áreas de superficie terrestre desde el fondo del mar. De todas formas, al no estar dispuesto a poner en entredicho la escala temporal corta propuesta por los teólogos, dio por sentado que esos sucesos habían sido catastróficos. He aquí los orígenes de la leyenda según la cual se concibió una posición «catastrofista» para acortar la escala temporal recurriendo a la violencia y no a procesos graduales como los observados actualmente. Aun así, Hooke tenía tanto interés en la leyenda del hundimiento de la Atlántida como en el Diluvio bíblico. También señaló que algunos fósiles parecían representar criaturas ya no existentes en la actualidad, lo que planteaba la inquietante posibilidad de que las especies creadas por Dios se hubieran extinguido a lo largo del tiempo (fig. 5.2).

Buffon y el abismo oscuro del tiempo

Las preocupantes repercusiones de esas observaciones se articularon más activamente durante la Ilustración del siglo XVIII. En ese momento, los filósofos, sobre todo en Francia, creían que la razón humana podía aspirar a conocer la naturaleza del universo físico y el lugar de

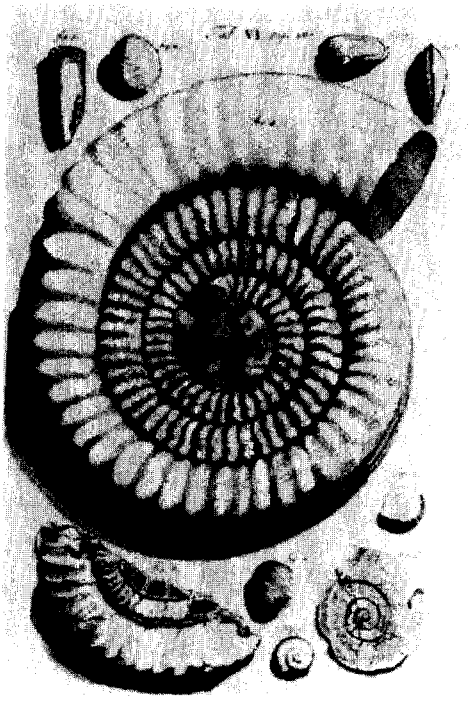


FIGURA 5.2. Amonites de «Lectures and Discourses of Earthquakes» de Robert Hooke, en *The Posthumous Works de Robert Hooke* (Londres, 1705), lámina 6. En la lámina también se aprecian otras conchas fósiles comunes, pero en el texto Hooke señala que ninguna es exactamente como los amonites existentes en la actualidad en los mares, lo que sugiere la posibilidad de que estas criaturas se hayan extinguido.

la humanidad en el mismo. No soportaban a la Iglesia, que para ellos era un agente de conservadurismo social, y se mostraban dispuestos a aprovechar cualquier vía ofrecida por la ciencia para desacreditar las enseñanzas de aquélla. El potencial desafío a la Creación del Génesis planteado por las ciencias de la tierra no pasó inadvertido. Ya en los primeros años del nuevo siglo, Benoît de Maillet escribió su *Telliamed*, un relato de la historia de la tierra que daba por sabido que habían sido precisas inmensas cantidades de tiempo para formar las rocas que observamos. No se hacía mención alguna al Diluvio universal;

en vez de ello, De Maillet optó por la cada vez más popular teoría del retroceso de los océanos, más adelante denominada «neptunismo» por el dios romano del mar. Suponía que, en otro tiempo, todo el planeta había estado cubierto por un vasto mar, cuya profundidad se fue reduciendo gradualmente, lo que dejó al descubierto tierra seca y las rocas sedimentarias con fósiles que podemos ver en la actualidad. Lejos de ser un intento de preservar la credibilidad del Diluvio de Noé, *Telliamed* empujaba el océano hacia el lejano pasado y no se refería a ninguna otra inundación reciente. Aunque no la publicó en vida (sólo circuló en forma de manuscrito), De Maillet juzgó prudente fingir que su teoría no bíblica le había sido sugerida por un sabio egipcio cuyo nombre casualmente era igual que el suyo pero leído al revés.

El ataque más famoso contra la escala temporal bíblica corrió a cargo del destacado naturalista de la Ilustración Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (véase Roger, 1997). La *Natural History* [Historia natural] de Buffon, cuyos tres primeros tomos aparecieron en 1749, con el tiempo se amplió hasta convertirse en la descripción del mundo vivo más exhaustiva de que se disponía entonces. Como seguidor de Newton, Buffon quería explicar los orígenes del mundo de su época de una manera exclusivamente materialista. Sus primeros volúmenes incluían una teoría global de la tierra desde sus comienzos hasta el momento presente. Según Buffon, la mejor forma de explicar las órbitas de los planetas era dando por supuesto que derivaban de glóbulos de material fundido desprendido del sol por un golpe de refilón de un cometa. Después cada planeta, incluida la tierra, se fue enfriando poco a poco, y Buffon realizó observaciones sobre lo deprisa que se enfrían los cuerpos grandes tras sacarlos de un horno para calcular aproximadamente cuánto tiempo pudo tardar la tierra en enfriarse hasta alcanzar su temperatura actual. El resultado fue 70.000 años, una cifra que hoy parece insignificante, pero que amplió muchísimo la magnitud de la vieja escala temporal. En su fuero interno, creía que era mucho más, e incluso aseguraba sentir miedo cuando miraba en el «abismo oscuro del tiempo» (Rossi, 1984).

Buffon fue censurado por las autoridades eclesiásticas y obligado a publicar una retractación por su ataque al Génesis. Sin embargo, como era superintendente de los Royal Gardens (el actual Jardin des Plantes)

de París, se encontraba relativamente a salvo de ser perseguido, y en 1778 escribió una versión revisada de su teoría, en forma de volumen suplementario de la *Natural History*, con el título individual de *The Epochs of Nature* [Las eras de la naturaleza]. Empezaba igualmente con su teoría de los orígenes planetarios, pero ahora establecía una secuencia definitiva de los acontecimientos que conducían desde el estado fundido inicial de la tierra hasta el presente. La única concesión a la tradición era que había siete eras, que podían identificarse vagamente con los siete «días» de la Creación del Génesis. La teoría cosmológica de Buffon procuró a su historia una «dirección» obvia definida por el enfriamiento de la tierra. Al principio demasiado caliente para albergar vida, con el tiempo nuestro planeta se enfrió lo suficiente para permitir la aparición de especies adaptadas a temperaturas altas. Aquéllas fueron muriendo mientras proseguía el enfriamiento para ser sustituidas por los antepasados de las especies actuales, los cuales se vieron obligados a emigrar al ecuador a medida que en la tierra bajaba la temperatura —Buffon se refería a los fósiles de «elefantes» (que ahora llamamos mamuts) como prueba de que las criaturas tropicales habían vivido antes en Siberia.

No obstante, en la teoría había incorporada otra «dirección». Como De Maillet, Buffon no podía seguir los pasos de Hooke y suponer que los terremotos habían hecho subir la superficie de la tierra: daba por sentado que, una vez la tierra se hubo solidificado, quedó totalmente rígida. La única manera de explicar que hubiera rocas sedimentarias en terreno seco era recurriendo a la teoría del retroceso de los océanos (aunque, para Buffon, el mar antiguo al principio estaba hirviendo). Sin embargo, en cuanto apareció la tierra seca, ésta recibió el ataque del viento, la lluvia, las heladas y otros agentes de la erosión que fueron desgastando la superficie. Los detritos fueron arrastrados por los ríos hasta el mar, donde los sedimentos se acumularon para formar rocas más jóvenes encima de las depositadas cuando toda la tierra había estado cubierta de agua. En cuanto a esto, Buffon previó las técnicas más importantes utilizadas por los geólogos de finales del siglo XVIII. No obstante, hizo pocos progresos en la identificación de la secuencia de las formaciones rocosas, y su teoría quedó insertada en la vieja tradición según la cual las teorías de la tierra establecían los orígenes de ésta a partir de la especulación cosmológica.

Estratigrafía y restos fósiles

El estudio empírico de las rocas, los minerales y los fósiles no ha estado motivado sólo por la curiosidad. En una época en que se había utilizado la filosofía de Francis Bacon para defender la idea de que la ciencia nos permitiría controlar la naturaleza si comprendíamos su funcionamiento, el estudio de la superficie de la tierra presentaba evidentes beneficios potenciales para la industria minera. Si podíamos saber qué rocas ofrecían mejores perspectivas para obtener de ellas minerales útiles, las ventajas económicas serían enormes. A finales del siglo XVIII, este pragmático enfoque del estudio de la tierra ya se había consolidado en Alemania, donde muchos de los pequeños estados independientes conseguían importantes ingresos de la minería. Se crearon escuelas de minas donde se enseñaban las habilidades y técnicas necesarias para localizar y extraer minerales, y ahí es donde empezaron a ser evidentes las repercusiones prácticas de un conocimiento detallado de la corteza terrestre. De ese estudio práctico de los minerales surgió una metodología para identificar la secuencia según la cual se habían depositado las sucesivas rocas en el curso de la historia de la tierra. Era la ciencia de la estratigrafía, basada en el principio de la superposición, es decir, el supuesto de que las rocas más nuevas acababan siempre encima de rocas ya existentes. El supuesto era necesariamente histórico, pues la identificación de la posición de una roca en la secuencia de capas equivalía a establecer el período de la historia en que quedó depositada. De los primeros esfuerzos por definir la secuencia de formaciones (y, por tanto, la secuencia de los períodos geológicos) derivó el perfil moderno de la historia de la tierra.

En su primera versión, estos estudios se relacionaron con el nombre de Abraham Gottlob Werner, que dio clases en la escuela de minas de Friburgo. Aunque publicó poco, Werner atrajo a estudiantes de todo el mundo y ejerció así una enorme influencia. Se concentró en identificar la naturaleza mineral de las rocas, dando también por sentado que cada clase de roca había quedado depositada en un período concreto de la historia de la tierra. Se sentía con razones para presuponer eso, pues aceptaba la teoría neptunista: a medida que el gran océano se fue se-

cando, las sustancias químicas del mismo precipitaron con arreglo a una secuencia determinada. A la larga, la erosión de la superficie terrestre se sumaría a la secuencia regular de las rocas sedimentarias.

Pese a que a finales del siglo XVIII se aceptó ampliamente su teoría, pronto fue refutada por pruebas de que los mismos tipos de rocas podían haberse depositado en períodos diferentes. Científicos posteriores ridiculizaron a Werner y manifestaron su asombro ante el hecho de que alguien pudiera ser engañado por una teoría tan claramente falsa. Dado que algunos de los seguidores de Werner intentaron vincular la teoría a una reaparición de las aguas que pudiera ser identificada con la inundación bíblica, se dijo que el neptunismo era ciencia mala avalada por los que tenían interés en defender la religión contra el materialismo. Desde luego es cierto que algunos neptunistas, entre ellos Richard Kirwan y Jean-André Deluc, pretendían ligar la teoría con el Diluvio. Se trataba de pensadores conservadores que, en el período posterior a la Revolución Francesa, querían asegurarse de que la Nueva Ciencia no respaldara ningún ataque contra la Iglesia como baluarte del orden social. Pero esas actitudes se limitaban sobre todo a Gran Bretaña. El mismo Werner no mostraba ningún interés por la historia del Génesis, ni tampoco sus seguidores continentales. Seguían la teoría porque ofrecía la posibilidad de disponer de un principio ordenador mediante el cual pudiera entenderse la compleja secuencia de las formaciones rocosas. Si simplificaban excesivamente en su preocupación por obtener orden del caos aparente, concibieron no obstante el programa básico en virtud del cual la geología avanzaría, esto es, el programa para identificar las formaciones de rocas por el orden en que se depositaron. Y puesto que la secuencia era larga, no había duda de que en la escala temporal bíblica se había comprimido.

A principios del siglo XIX, estaba cada vez más claro que la teoría neptunista no se sostenía. El célebre viajero Alexander von Humboldt vio con sus propios ojos el inmenso poder de los volcanes y los movimientos de la tierra cuando estudió la cordillera de los Andes en Sudamérica. Humboldt y muchos otros abandonaron el neptunismo, pero siguieron considerándose seguidores de Werner al entender que su tarea fundamental era identificar las sucesivas formaciones rocosas. Fue Humboldt quien dio nombre a la formación jurásica por unas

rocas características halladas en el Jura, montañas situadas en la frontera franco-suiza. Los movimientos terrestres sustituyeron al retroceso de los océanos como explicación de cómo las rocas sedimentarias se habían elevado para formar tierra seca.

Ahora se admitía que, habida cuenta de que podían formarse rocas similares en distintos períodos de la historia de la tierra, la mejor manera de identificar la secuencia era a través de los fósiles incrustados en los estratos. Los fósiles de cada período eran característicos, con independencia del tipo de roca en el que estuvieran metidos. La estratigrafía estaba firmemente ligada al establecimiento de una serie de períodos geológicos, cada uno de los cuales se suponía que tenía su propia población de animales y plantas, totalmente diferentes de los existentes en la actualidad (fig. 5.3). En Inglaterra, quien sentó las bases de la estratigrafía basada en los fósiles fue el constructor de canales William Smith, mientras en Francia fueron el paleontólogo Georges Cuvier y el geólogo Alexandre Brongniart. Los historiadores de la geología todavía discuten la importancia relativa de sus aportaciones: el mapa geológico de Smith de Inglaterra y Gales, de 1815, fue un trabajo pionero, pero en cierto modo fue marginado por la élite científica de la época. Cuvier, integrante del elenco de figuras consagradas de la ciencia francesa, destacó en la creación de anatomía comparada y la reconstrucción de fósiles de vertebrados. Estudió la estructura de distintas especies de animales con el fin de descubrir los principios subyacentes en los que se basaban los diferentes tipos de organizaciones, y se valió de sus conocimientos para armar huesos a menudo fragmentarios extraídos de rocas de toda Europa. Fue Cuvier quien estableció la realidad de la extinción más allá de toda duda fundada —nadie podía creer que los mamuts y los mastodontes que describía estuvieran vivos aún en alguna parte remota del mundo—. A partir de ese momento, los científicos podían dar por hecho que cada formación nueva tendría fósiles particulares propios, y que muchas de las especies anteriores se habían extinguido o habían sido sustituidas por otras. Sin embargo, fue el trabajo de Brongniart con los invertebrados fósiles lo que resultó ser una útil guía para establecer la secuencia de las rocas, como se comprueba en su estudio en colaboración, publicado en 1811, sobre las formaciones que constituyeron la cuenca de París.

cando, las sustancias químicas del mismo precipitaron con arreglo a una secuencia determinada. A la larga, la erosión de la superficie terrestre se sumaría a la secuencia regular de las rocas sedimentarias.

Pese a que a finales del siglo XVIII se aceptó ampliamente su teoría, pronto fue refutada por pruebas de que los mismos tipos de rocas podían haberse depositado en períodos diferentes. Científicos posteriores ridiculizaron a Werner y manifestaron su asombro ante el hecho de que alguien pudiera ser engañado por una teoría tan claramente falsa. Dado que algunos de los seguidores de Werner intentaron vincular la teoría a una reaparición de las aguas que pudiera ser identificada con la inundación bíblica, se dijo que el neptunismo era ciencia mala avalada por los que tenían interés en defender la religión contra el materialismo. Desde luego es cierto que algunos neptunistas, entre ellos Richard Kirwan y Jean-André Deluc, pretendían ligar la teoría con el Diluvio. Se trataba de pensadores conservadores que, en el período posterior a la Revolución Francesa, querían asegurarse de que la Nueva Ciencia no respaldara ningún ataque contra la Iglesia como baluarte del orden social. Pero esas actitudes se limitaban sobre todo a Gran Bretaña. El mismo Werner no mostraba ningún interés por la historia del Génesis, ni tampoco sus seguidores continentales. Seguían la teoría porque ofrecía la posibilidad de disponer de un principio ordenador mediante el cual pudiera entenderse la compleja secuencia de las formaciones rocosas. Si simplificaban excesivamente en su preocupación por obtener orden del caos aparente, concibieron no obstante el programa básico en virtud del cual la geología avanzaría, esto es, el programa para identificar las formaciones de rocas por el orden en que se depositaron. Y puesto que la secuencia era larga, no había duda de que en la escala temporal bíblica se había comprimido.

A principios del siglo XIX, estaba cada vez más claro que la teoría neptunista no se sostenía. El célebre viajero Alexander von Humboldt vio con sus propios ojos el inmenso poder de los volcanes y los movimientos de la tierra cuando estudió la cordillera de los Andes en Sudamérica. Humboldt y muchos otros abandonaron el neptunismo, pero siguieron considerándose seguidores de Werner al entender que su tarea fundamental era identificar las sucesivas formaciones rocosas. Fue Humboldt quien dio nombre a la formación jurásica por unas

rocas características halladas en el Jura, montañas situadas en la frontera franco-suiza. Los movimientos terrestres sustituyeron al retroceso de los océanos como explicación de cómo las rocas sedimentarias se habían elevado para formar tierra seca.

Ahora se admitía que, habida cuenta de que podían formarse rocas similares en distintos períodos de la historia de la tierra, la mejor manera de identificar la secuencia era a través de los fósiles incrustados en los estratos. Los fósiles de cada período eran característicos, con independencia del tipo de roca en el que estuvieran metidos. La estratigrafía estaba firmemente ligada al establecimiento de una serie de períodos geológicos, cada uno de los cuales se suponía que tenía su propia población de animales y plantas, totalmente diferentes de los existentes en la actualidad (fig. 5.3). En Inglaterra, quien sentó las bases de la estratigrafía basada en los fósiles fue el constructor de canales William Smith, mientras en Francia fueron el paleontólogo Georges Cuvier y el geólogo Alexandre Brongniart. Los historiadores de la geología todavía discuten la importancia relativa de sus aportaciones: el mapa geológico de Smith de Inglaterra y Gales, de 1815, fue un trabajo pionero, pero en cierto modo fue marginado por la élite científica de la época. Cuvier, integrante del elenco de figuras consagradas de la ciencia francesa, destacó en la creación de anatomía comparada y la reconstrucción de fósiles de vertebrados. Estudió la estructura de distintas especies de animales con el fin de descubrir los principios subyacentes en los que se basaban los diferentes tipos de organizaciones, y se valió de sus conocimientos para armar huesos a menudo fragmentarios extraídos de rocas de toda Europa. Fue Cuvier quien estableció la realidad de la extinción más allá de toda duda fundada —nadie podía creer que los mamuts y los mastodontes que describía estuvieran vivos aún en alguna parte remota del mundo—. A partir de ese momento, los científicos podían dar por hecho que cada formación nueva tendría fósiles particulares propios, y que muchas de las especies anteriores se habían extinguido o habían sido sustituidas por otras. Sin embargo, fue el trabajo de Brongniart con los invertebrados fósiles lo que resultó ser una útil guía para establecer la secuencia de las rocas, como se comprueba en su estudio en colaboración, publicado en 1811, sobre las formaciones que constituyeron la cuenca de París.

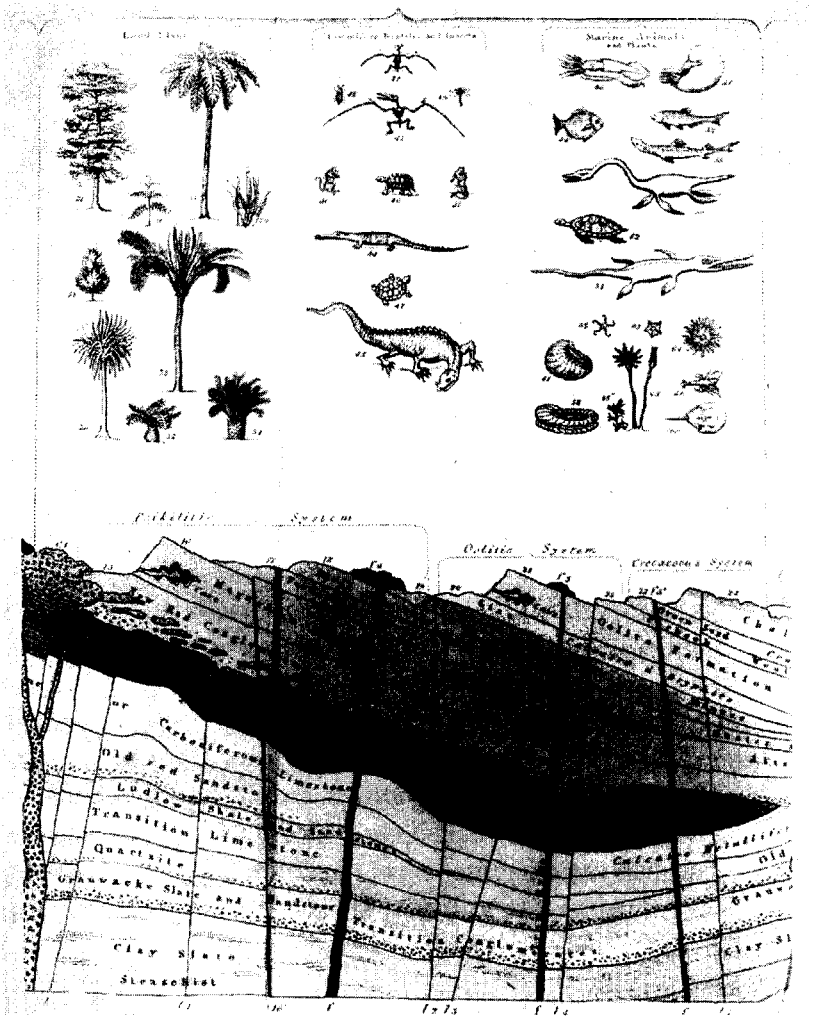


FIGURA 5.3. Parte de una hipotética sección transversal de la corteza terrestre en *Geology and Mineralogy Considered with Reference to Natural Theology* (Londres, 1837), de William Buckland, vol. 2, lámina 1. El corte transversal muestra lechos de rocas sedimentarias deformadas por posteriores movimientos de la tierra y con vetas de roca ígnea (volcánica) que penetran desde abajo. En la parte superior se aprecian criaturas encontradas habitualmente como fósiles en las rocas secundarias (Era Mesozoica), entre ellas un dinosaurio que se parece extraordinariamente a un dragón. Compárese con la figura 5.5.

A lo largo de las dos décadas siguientes, los geólogos extendieron la secuencia de las formaciones hasta las rocas más viejas con fósiles incrustados (fig. 5.4). Fue en Gran Bretaña donde se descifraron algunas de las formaciones más antiguas, y por tanto más alteradas. Mientras trabajaban en Gales, Adam Sedgwick y Roderick Impey Murchison dieron nombre a los sistemas cámbrico y silúrico, respectivamente (es significativo que Darwin adquiriera su formación geológica básica en un viaje de estudios con Sedgwick). En 1841, John Phillips bautizó las tres grandes eras de la historia de la vida: Paleozoico, Mesozoico y Cenozoico (correspondientes a la vida antigua, intermedia y nueva). El Mesozoico ya se empezaba a conocer como la «época de los reptiles» gracias al descubrimiento de los dinosaurios y otras especies de reptiles extinguidas (fig. 5.5), aunque fueron nuevamente los fósiles invertebrados los que constituyeron la base de la clasificación técnica. Definir las líneas divisorias entre los sistemas distaba de ser sencillo y precisó muchas negociaciones entre los expertos. Sedgwick y Murchison se pelearon por la frontera entre el cámbrico y el silúrico, mientras el superpuesto devónico originaba también mucha controversia (sobre estos debates, véase Rudwick [1985] y Secord [1986]). De todas formas, en la década de 1830 nadie podía pasar por alto el hecho de que la corteza terrestre se componía de una inmensa serie de depósitos, cada uno de los cuales representaba una época entera de tiempo geológico. Hasta entonces nadie se había arriesgado a calcular aproximadamente cuál era el período de tiempo en cuestión, pero, desde la perspectiva de la historia humana, sin duda era larguísimo.

Catastrofismo y uniformitarianismo

Cuvier reparó en que las fronteras entre formaciones sucesivas parecían bruscas, por lo que la transición desde una población de fósiles a la siguiente tal vez habría sido más o menos instantánea. En su *Discourse on the Revolutions of the Surface of the Globe* [Discurso sobre las revoluciones en la superficie del globo], publicado por primera vez en 1812 como introducción a su estudio de los vertebrados fósiles, atribuyó la extinción repentina de las especies a movimientos terrestres

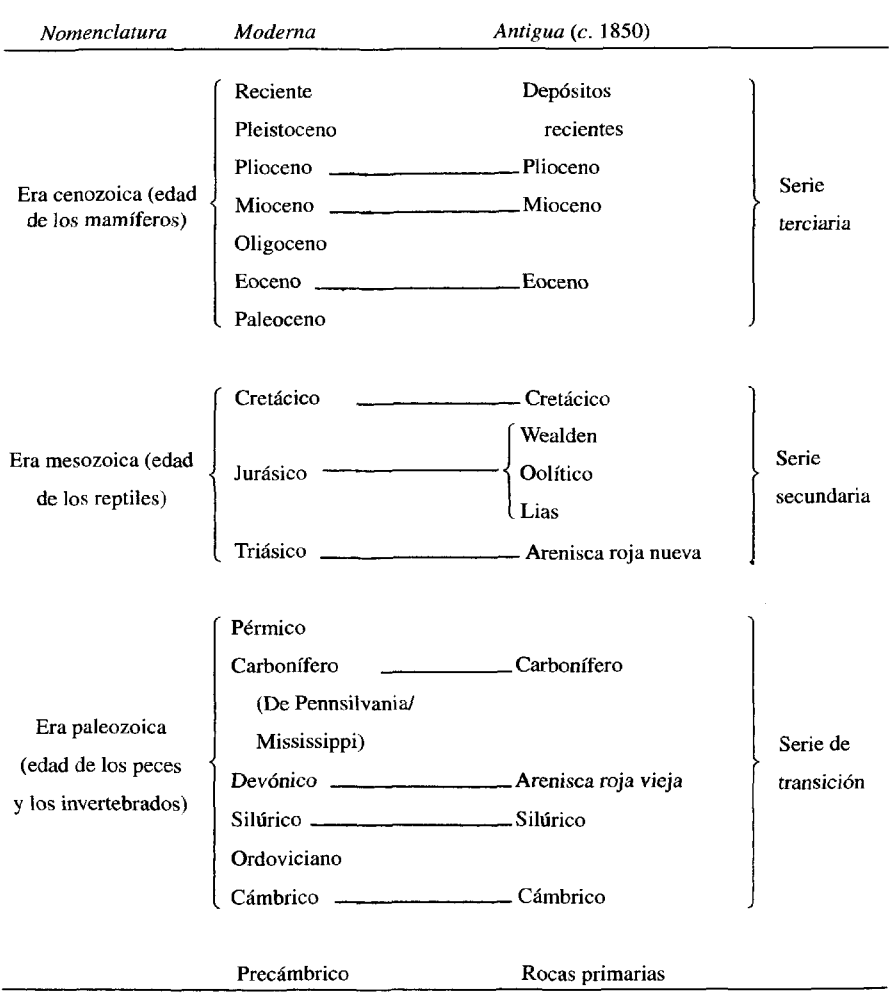


FIGURA 5.4. Secuencia de formaciones geológicas establecida en el siglo XIX (derecha) y sus equivalentes modernos. La secuencia de formaciones corresponde a la sucesión de períodos geológicos de la historia de la tierra. Nunca se observa la secuencia completa en cualquier ubicación, sino que se crea usando fósiles y otras pistas para identificar rocas de la misma época en zonas distintas.

FIGURA 5.5. Reconstrucción a tamaño natural del dinosaurio carnívoro *Megalosaurus*, originariamente descrito por William Buckland. En la década de 1850, Richard Owen, que acuñó el nombre de «dinosaurio», ayudó a crear este modelo y otros que aún se pueden contemplar en el Crystal Palace de Sydenham, al sur de Londres. El dinosaurio se representa como un lagarto gigante que anda a cuatro patas, si bien descubrimientos posteriores de fósiles más completos demostraron que en realidad el *Megalosaurus* caminaba apoyado en sus patas traseras.

catastróficos y maremotos. Parecía haber muchas pruebas a favor de una transformación espectacular del paisaje en el pasado geológico reciente. El norte de Europa estaba plagado de enormes montículos de limo de derrubio y grava junto con grandes cantos rodados «erráticos». No se apreciaba ninguna causa visible que explicara por qué ese material había sido transportado a través de la superficie de la tierra, por lo que resultaba lógico pensar en una gran inundación. Cuvier no hizo ningún esfuerzo por identificar esa última catástrofe con el Diluvio universal, pero sus seguidores británicos no tuvieron tantos escrú-

pulos. William Buckland, lector de geología en la sumamente conservadora Universidad de Oxford, intentó liberar a su ciencia de la acusación de colaboración con los contrarios a la religión revelando que proporcionaba pruebas de que el Diluvio de Noé había sido un hecho real. En su *Reliquiae diluvianae* [Vestigios del Diluvio, sólo el título estaba en latín] de 1823 describía una cueva de Kirkdale, en Yorkshire, que había estado llena de barro y en la que se habían encontrado enterrados los huesos de unas hienas y sus presas (fig. 5.6). ¿Cómo podía haberse llenado así una cueva de las montañas sino mediante un Diluvio universal? Y al parecer el suceso fue acompañado de un importante cambio climático, pues ya nunca más hubo hienas en Europa. Para Buckland, esto evidenciaba una catástrofe geológica que cuadraría con lo recogido en el Génesis.

Las historias más antiguas de la geología describen el «catastrofismo» como un desastre para el desarrollo de la ciencia. Se dieron por supuestos sucesos de lo más improbables, acaso de naturaleza milagrosa, para que la teoría concordara con un modelo preconcebido definido en el Génesis. Al recurrir a acontecimientos violentos como agentes de transformación, se eludía la necesidad de ampliar la edad de la tierra mucho más allá de las estimaciones tradicionales. Según este modelo, el catastrofismo es un ejemplo clásico de lo que no es verdadera ciencia y que se lleva a cabo cuando fuerzas externas como la religión se inmiscuyen en la objetividad científica. El modelo rival uniformitariano de Hutton y Lyell (que examinaremos más adelante) ponía de manifiesto que la verdadera vía progresiva pasaba por el estudio de las causas observables y la idea de que hicieron falta inmensas cantidades de tiempo para que aquéllas transformaran la tierra.

El modelo uniformitariano de la historia de la geología ha sido modificado a fondo, cuando no rechazado de plano. Se trata de una visión de la historia de la ciencia esbozada inicialmente por el propio Lyell —quien, en este asunto, no era precisamente un erudito objetivo—. Lyell insistía en que tanto el neptunismo como el catastrofismo eran teorías poco convincentes respaldadas tan sólo por razones no científicas (es decir, religiosas). Ciertos estudios modernos revelan lo retorcido de esta condena. Hemos visto que geólogos catastrofistas como Cuvier, Humboldt, Sedgwick o Murchison desempeñaron pape-

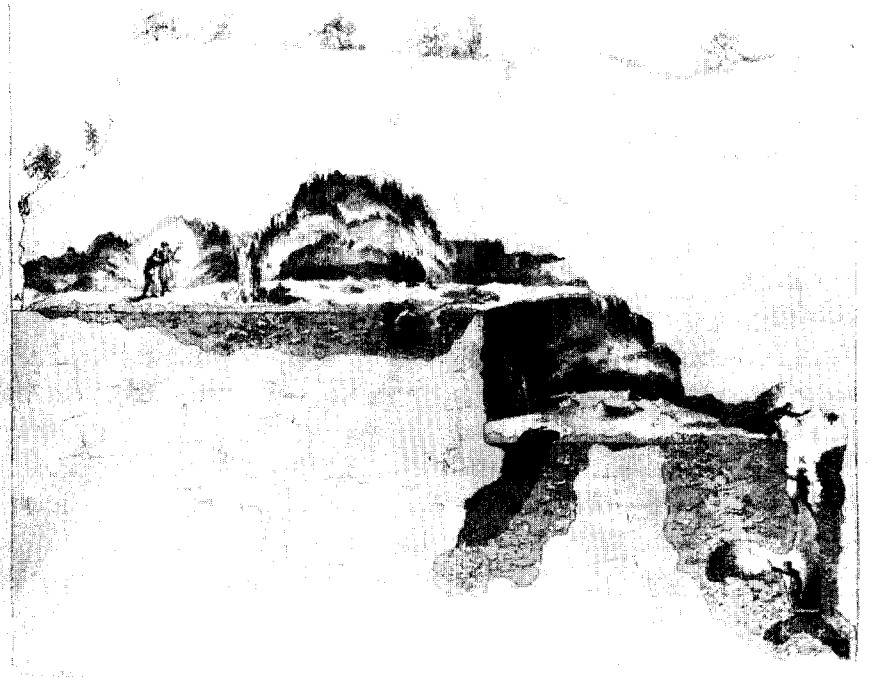


FIGURA 5.6. Sección transversal de una cueva, similar a la de Kirkdale (Yorkshire) realizada por William Buckland en *Reliquiae diluvianae* (Londres, 1824), lámina 27. La cueva está parcialmente llena de barro endurecido que contiene restos de animales que ya no existían en Europa. Según Buckland; la única explicación de que cuevas como aquélla, muy por encima del nivel del mar, pudieran haberse llenado de barro era una inundación general. Actualmente se cree que el material procedía de lagos formados cuando ciertos valles quedaron cerrados por los glaciares durante la edad del hielo.

les clave en el establecimiento de la secuencia estratigráfica todavía vigente. La mayoría de los neptunistas y catastrofistas no tenían interés alguno en vincular sus teorías a la historia del Diluvio, salvo unos cuantos autores conservadores del mundo anglófono que seguían esa línea. Cuvier se tomó la molestia de insistir en que la última catástrofe no había sido universal, como daba a entender el Génesis, y a la larga incluso Buckland cedió en este punto. Para todos ellos, la catástro-

fe más reciente era sólo la última de una inmensa secuencia de transformaciones violentas, separadas por períodos de condiciones relativamente normales. Todas las épocas anteriores se hallaban completamente fuera de la historia bíblica de la Creación. Había pruebas claras de que había sucedido algo anómalo en el pasado geológico reciente, y los uniformitarianos se esforzaban por buscar una explicación a los depósitos de barro estudiados por Buckland y fenómenos conexos. No fue hasta la década de 1840 cuando se sugirió que ese material podía haber sido transportado por glaciares en un «período glaciar», cuando buena parte del norte de Europa había quedado enterrada en el hielo, teoría que tardó aún varias décadas en obtener aceptación general (Hallam, 1983).

Había otro factor gracias al cual el catastrofismo resultaba convincente y que, dicho sea de paso, hizo que los geólogos se mostraran reticentes a aceptar un período frío en el pasado. Lyell hizo todo lo que pudo para dar a entender que los catastrofistas se valían de causas sobrenaturales (milagros) para explicar sus hipotéticos cataclismos. Sin embargo, éstos no tenían intención alguna de recurrir a nada que no fueran causas naturales —para ellos simplemente había pruebas de que en otro tiempo se habían producido terremotos a una escala mucho mayor que cualquier otra cosa observada en los últimos miles de años de historia humana documentada—. De hecho, los catastrofistas se basaban en la suposición de que la historia de la tierra es muchísimo más extensa que la historia humana para sostener que lo poco que hemos observado no es necesariamente típico del conjunto. Su teoría también tenía una base física bien fundada. En el momento, todo el mundo aceptaba ya que el centro de la tierra era muy caliente. Eso explica el origen de la roca fundida expulsada por los volcanes, y el concepto de depósito de roca fundida o al menos muy caliente, bajo presiones enormes, en niveles profundos de la tierra también parecía explicar la inestabilidad de la corteza sólida desvelada por los terremotos. No obstante, si el centro de la tierra es caliente, tanto el sentido común como los estudios de los físicos sobre el comportamiento de los cuerpos calientes sugieren que debe enfriarse. El calor será conducido a la superficie (o llevado arriba por lava fundida) e irradiado al espacio. Así pues, en los inicios del

siglo XIX se asistió a una revigorización de la teoría del enfriamiento de la tierra de Buffon.

Las repercusiones de la teoría del enfriamiento de la tierra en el catastrofismo fueron exploradas por geólogos como Léonce Elie de Beaumont. Si el calor central de la tierra disminuye, entonces cabría esperar que descendiera también la actividad volcánica a lo largo del tiempo geológico. Hay algo más significativo: la actividad de los terremotos se reduciría a medida que la corteza se hiciera más gruesa y se ralentizara la velocidad de enfriamiento. Una analogía propuesta por Constant Prévost comparaba la tierra con el arrugamiento de una manzana: la piel se arruga porque el área superficial de la manzana permanece constante mientras su volumen se reduce por evaporación. Un tierra que se enfría también disminuiría de volumen, con lo que la aparición de montañas se debería a que la piel de la tierra se frunce de manera similar. Pero, como señalaba Elie de Beaumont, la corteza terrestre es rígida, por lo que lo lógico sería que el arrugamiento se produjera en episodios súbitos catastróficos, cuando las presiones acumuladas debajo provocan que al final la corteza ceda. Habida cuenta de que en el pasado el planeta estaba más caliente, era razonable suponer que los episodios de formación de las montañas incluyeron movimientos terrestres de un grado muy superior a cualquier cosa observada en el mundo moderno. Por tanto, la teoría del enfriamiento de la tierra brindaba al catastrofismo un mecanismo físico verosímil para complementar las pruebas que tenían los geólogos sobre las discontinuidades del pasado.

La alternativa uniformitariana a este modelo ha sido aclamada como la primera piedra de la geología moderna, pues adopta un precepto metodológico basado en la afirmación de que la verdadera ciencia funciona sólo con aquellas causas que puede realmente observar. De hecho, los catastrofistas se mostraron muy satisfechos con ese método del «realismo», pues se suponía que sus cataclismos eran iguales que los terremotos de épocas recientes, sólo que de un grado mayor. Pero para los uniformitarianos, una geología verdaderamente científica sólo puede emplear causas observables que surtan efecto con una intensidad observable. Cualquier otra cosa abre la vía a especulaciones disparatadas e incluso a postular razones sobrenaturales. Ésta fue

la metodología promovida por James Hutton y articulada en detalle por Charles Lyell en la década de 1830. Parece muy moderna porque nuestras teorías geológicas actuales se ocupan poco de las catástrofes (si bien hoy se acepta comúnmente que ciertos impactos de asteroides han interrumpido los cambios continuos producidos por procesos internos ligados a la deriva continental). La perspectiva uniformitariana también parece actual en su apelación a períodos de tiempo larguísimos. Dado que todos los cambios acaecidos en el pasado, entre ellos la elevación de cadenas montañosas y la excavación de valles, hay que explicarlos mediante la erosión y movimientos terrestres a escala moderna, hacen falta ingentes cantidades de tiempo para que esos agentes de actuación lenta produzcan los efectos observados. Sería totalmente erróneo acusar a los catastrofistas de optar por una tierra joven de acuerdo con lo propuesto por el arzobispo Ussher, pero no hay duda de que las exigencias de los uniformitarianos de una ampliación de la escala temporal fueron mucho más allá de cualquier otra cosa antes imaginada.

De todas formas, el método uniformitariano no estaba exento de problemas. En su afán por descartar la especulación, los uniformitarianos se vieron obligados a decidirse por lo que Gould (1987) denominaba un modelo «cíclico» de la historia de la tierra. No puede haber ninguna flecha del tiempo definida por el enfriamiento o por el retroceso de los océanos: en períodos geológicos del pasado sólo se ha observado un ciclo eterno de episodios semejantes a los de la actualidad. Cae fuera del ámbito científico proponer un período en que las cosas fueran radicalmente distintas, no digamos ya un proceso en virtud del cual el propio planeta alcanzara su forma presente. Hay limitaciones que en la actualidad ningún geólogo podría aceptar, así que es equivocada la pretensión de que el uniformitarianismo constituya la única base de nuestra ciencia moderna. La geología actual se inspira tanto en el modelo uniformitariano como en el «direccionalista» de los catastrofistas. En cuanto reparamos en esto, nos damos cuenta de que ninguno de los bandos del debate debería definirse como integrado por científicos «puros» que se fundamentan en principios objetivos. Es importante saber qué impulsó a Hutton y Lyell a sugerir una teoría del estado estacionario de la tierra, como lo es también saber por qué

algunos catastrofistas se vieron inducidos a aceptar las ideas bíblicas sobre el Diluvio universal.

El primer esfuerzo para poner este programa en práctica corrió a cargo del geólogo escocés James Hutton (Dean, 1992), quien en un artículo publicado en 1788, y nuevamente en los dos volúmenes de su *Theory of the Earth* [Teoría de la tierra] de 1795, adoptó el wernerianismo promovido por Robert Jameson en su Edimburgo natal. Hutton rechazaba la teoría del retroceso de los océanos al señalar (como había hecho Hooke un siglo antes) que los movimientos de la tierra podían explicar cómo los sedimentos depositados en el lecho marino podían ascender hasta la tierra seca. Recurrió a ciertos estudios según los cuales se empezaba a sugerir que los volcanes obtenían su lava de reservas de roca fundida en niveles profundos. La idea de que el calor central de la tierra era responsable de la mayor parte de la actividad geológica llegó a conocerse como «vulcanismo» por el dios romano del fuego. Hutton vinculó esta teoría a su creencia de que la corteza terrestre era inestable —a su juicio, el calor central originaba no sólo los volcanes sino también los movimientos de la tierra y la formación de montañas—. También sostenía que muchas de las denominadas rocas primarias, entre ellas el granito, eran de origen ígneo: habían cristalizado a partir de un estado fundido, no de una solución acuosa. Cuando se le pidió que explicara por qué esas rocas tenían un aspecto tan distinto de las lavas expulsadas por los volcanes modernos, mostró cómo la roca fundida podía introducirse entre los estratos a niveles muy profundos, donde se enfriaba muy despacio. Esto daba tiempo a que se formaran los cristales observados en rocas como el granito. Para Hutton, pudo producirse granito en distintos momentos de la historia de la tierra —no era forzosamente la roca más antigua, como habían afirmado los wernerianos.

Lo que diferenciaba la teoría de Hutton de cualquier otra forma de vulcanismo era su insistencia en que todos los procesos responsables de la formación de las rocas se produjeron al mismo ritmo, como observamos en la actualidad. Aunque por dentro la tierra estaba caliente, no se enfriaba, por lo que no disminuía la intensidad de los movimientos terrestres. Hutton también hizo un gran esfuerzo por poner de manifiesto cómo los agentes comunes de la erosión —viento, lluvia,

torrentes, etcétera— pudieron esculpir los valles en las cadenas montañosas. No hacía falta proponer maremotos violentos, siempre y cuando se previeran las inmensas cantidades de tiempo necesarias para que un torrente se abriera camino a través de las rocas. Los detritos de esa erosión eran arrastrados al lecho marino, donde se depositaban en forma de sedimentos, se transformaban otra vez en roca y al final ascendían para generar más tierra seca. Estábamos ante un ciclo perfecto, en el que la elevación de tierra nueva compensaba exactamente la destrucción de la superficie vieja por la erosión. Los wernerianos conservadores acusaron a Hutton de ir contra la religión porque en su teoría no tenía cabida ningún diluvio y se exigían enormes cantidades de tiempo. Pero lo realmente importante era que, para los conservadores, allí no tenía cabida la Creación: la tierra de Hutton era eterna, una máquina del movimiento perpetuo que no se paraba nunca. A este respecto escribió que «no encontramos vestigios de un inicio... ni perspectivas de un final» (Hutton, 1795, 1:200). Sin embargo, de hecho lo que impulsó a Hutton a elaborar una teoría así fueron sus creencias religiosas, deístas más que cristianas. Su dios era el obrero perfecto diseñador de una máquina que podía funcionar eternamente sin su superintendencia. La finalidad del conjunto del sistema era conservar la tierra como hábitat de los seres vivos, pues sin la reconstrucción perpetua de la superficie terrestre, todo el suelo esencial para la vida a la larga sería arrastrado al mar.

La teoría de Hutton generó controversia en Edimburgo, pero en otros sitios despertó poca atención; fue John Playfair quien más la divulgó en sus *Illustrations of the Huttonian Theory* [Ilustraciones de la teoría huttoniana], en 1802. Al menos en Gran Bretaña, su trabajo tuvo mucho que ver en la conversión de los geólogos del neptunismo al vulcanismo —aunque la que sacó provecho fue la versión de este último basada en la teoría del enfriamiento de la tierra—. Los geólogos continentales tenían sus propias razones para pasarse al catastrofismo. Con el tiempo, el modelo uniformitariano se reactivó en los *Elementos de geología* (1830-1831), de Charles Lyell, como base para un ataque explícito al catastrofismo (Wilson, [1972], pero véase también la introducción de Rudwick a la reimpresión moderna de los *Elementos...*). Fueron los capítulos históricos introductorios de los *Elemen-*

tos... los que crearon la imagen negativa tanto del neptunismo como del catastrofismo aceptadas por científicos posteriores. El ataque de Lyell fue explícitamente metodológico, y en él acusaba a los catastrofistas de traicionar la ciencia al optar por la especulación disparatada antes que por la observación minuciosa. Su libro tuvo cierta repercusión, pues aportó datos de cuánto cambio se está produciendo realmente debido a la erosión, los terremotos y los volcanes actuales (fig. 5.7). Lyell había estudiado el monte Etna de Sicilia y demostrado cómo ese inmenso volcán se había formado a partir de una larguísima serie de erupciones, de las cuales sólo las últimas habían sido presenciadas por seres humanos. Para los patrones humanos el volcán era antiguo y, sin embargo, se levantaba sobre las rocas sedimentarias más jóvenes. Lyell rechazó, las supuestas pruebas de las catástrofes del pasado calificándolas de ilusorias: siempre era posible imaginar una secuencia larga de cambios ordinarios que, con el tiempo suficiente, pudieron producir ese efecto. Las transiciones aparentemente repentinas desde un estrato a otro se explicaban por el hecho de haber estado sin representación en el registro sedimentario durante períodos prolongadísimos. Lyell hizo su propia contribución a la estratigrafía al dar nombre a las formaciones del Eoceno, el Mioceno y el Plioceno, si bien puso de manifiesto que las poblaciones de fósiles no cambiaban totalmente de una a otra. Siempre había algunas especies que sobrevivían, lo que restaba verosimilitud a las extinciones catastróficas.

Aunque aceptaba la secuencia convencional de las formaciones geológicas, Lyell proporcionó un nuevo impulso al modelo cíclico o del estado estacionario de Hutton, dando por sentado que incluso los estratos más antiguos que vemos se formaron en condiciones esencialmente similares a las de hoy. El resto geológico conocido es sólo la última parte de una secuencia interminable, de la que las fases más tempranas han sido destruidas o alteradas de tal manera que resultan irreconocibles. Para la ciencia es absurdo buscar pruebas de una fase «primitiva» de la historia de la tierra que se remonte a la formación estrictamente hipotética del planeta. Para mantener su teoría del estado estacionario, Lyell arremetió contra las pruebas que respaldaban el enfriamiento de la tierra sosteniendo que, cuando los continentes se

FIGURA 5.7. Templo romano de Serapis en Puzzuoli, en las afueras de Nápoles, que aparece en el frontispicio de *Elementos de geología* (Londres, 1830-1833), de Charles Lyell, vol. 1. Las bandas oscuras de las columnas se han formado por la acción de criaturas marinas, lo que demuestra que los movimientos terrestres sumergieron el templo en el mar y lo elevaron de nuevo dejando las columnas intactas. Según Lyell, si movimientos terrestres no catastróficos pudieron tener ese efecto en los dos mil años transcurridos desde la época romana, en un espacio de tiempo más largo seguramente hicieron que se alzaran cadenas montañosas e incluso continentes enteros.

crearon y destruyeron, se produjo sólo una fluctuación en el clima. También insistía en que el desarrollo aparentemente progresivo de la vida era una ilusión —con el tiempo hallaríamos fósiles de mamíferos incluso en las rocas más antiguas—. Vemos aquí cómo las posturas de Lyell fueron más allá de lo que los geólogos pueden aceptar en la actualidad. De hecho, su metodología llegó a ser un corsé que le confinó a una visión ahistórica de la tierra. Su posición podría relacionarse hasta cierto punto con sus creencias religiosas y políticas. En el aspecto político, Lyell era un liberal, y le contrariaba el modo en que conservadores como Buckland se valían del catastrofismo para defender el cristianismo, y por lo tanto la Iglesia, como pilares de los privilegios aristocráticos. Sus creencias religiosas, mantenidas con tal vehemencia que jamás pudo aceptar la perspectiva de Darwin sobre los orígenes humanos, se parecían más a las de Hutton: una forma de deísmo en el que un Creador sabio y benevolente ha diseñado un universo que puede funcionar eternamente sin renovación.

Lyell fue un escritor popular y además tuvo mucha influencia a la hora de convencer al gran público de que la tierra era antiquísima. Su huella en la geología es más discutible. Su principal discípulo fue Charles Darwin, que en su viaje a bordo del *Beagle* comprobó que los Andes aún ascendían debido a los terremotos. Darwin aplicó el método uniformitariano donde Lyell no: al mundo orgánico y al proceso en virtud del cual las especies cambian con el paso del tiempo (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Pero ni siquiera él seguiría a Lyell en su rechazo del desarrollo progresivo de la vida. La mayoría de los geólogos reconocían el poder de las causas modernas y reducían la importancia de las catástrofes postuladas en el pasado lejano. No obstante, seguían creyendo que había episodios de formación de montañas en los que los movimientos terrestres eran mucho más intensos que en la actualidad. Éstos constituyen los «signos de puntuación» naturales que nos permiten definir los períodos geológicos (para Lyell, eran meros intervalos en el registro que usamos por conveniencia). Lo más importante es que la mayoría de los geólogos continuaban apoyando la teoría del enfriamiento de la tierra al considerarla una base esencial para explicar el arrugamiento de la corteza y la violencia de cuando menos algunos episodios pasados. También tendían a limitar la edad

de la tierra a unos cien millones de años, un período enorme según todo criterio humano pero muy inferior al propuesto por Lyell y Darwin y también al que actualmente aceptamos.

La física y la edad de la tierra

Este último punto nos conduce a una controversia final cuya importancia a menudo se ha exagerado. La teoría del estado estacionario de Lyell encerraba una contradicción de fatales consecuencias: daba por sentado que el centro de la tierra era caliente, pero negaba que el planeta se enfriara en el curso de un tiempo geológico casi interminable. Esta cuestión fue apenas apuntada en las controversias de la década de 1830, pero llegó a ser decisiva cuando los físicos comenzaron a perfeccionar sus ideas sobre la energía y a crear la ciencia de la termodinámica (véase cap. 4, «La conservación de la energía»). En la década de 1860, el físico William Thomson, más adelante lord Kelvin, empezó a atacar a Lyell e implícitamente a Darwin (Burchfield, 1975). En la cosmovisión de Kelvin, Dios había creado sólo energía, y a medida que ésta se agotaba lentamente, el universo inevitablemente iba dejando de funcionar. El enfriamiento de los cuerpos calientes era la manifestación más evidente de este proceso irreversible, y para Kelvin resultaba inconcebible que la tierra fuera tratada como una excepción. Una tierra caliente ha de enfriarse, de modo que Lyell se había equivocado y los catastrofistas estaban en lo cierto: en el pasado, cuando el interior de la tierra era más caliente, los procesos geológicos debían de transcurrir con mayor rapidez. Luego Kelvin efectuó algunos cálculos para sugerir cuánto tiempo habría tardado una tierra inicialmente fundida en enfriarse hasta alcanzar el estado actual. La respuesta fue de unos cientos de millones de años a lo sumo, mucho menos de lo que Lyell y Darwin postulaban.

Con frecuencia se ha dado por supuesto que ese ataque a cargo de una ciencia tan importante como la física supuso un duro golpe para los geólogos de la época. Sin embargo, esta hipótesis se basa en la creencia errónea de que todos los geólogos seguían el uniformitarianismo de Lyell. El ataque de Kelvin tuvo sin duda importantes reper-

cusiones para Lyell así como para Darwin y los evolucionistas. Pero, en realidad, la mayoría de los geólogos estaban totalmente de acuerdo con la escala temporal de Kelvin; de hecho, habían hecho cálculos aproximados por su cuenta basándose en el ritmo de sedimentación y en la acumulación de sal en los mares, lo cual reducía la edad de la tierra a cien millones de años. Sólo cuando Kelvin rebajó su estimación a veinticinco millones de años empezaron los geólogos a quejarse de que a los físicos se les habían subido los humos a la cabeza y que seguramente se habían equivocado en algo. Era simple y llanamente imposible que la intrincada historia de la tierra revelada por las rocas encajara en un período de tiempo tan corto.

Los físicos se habían equivocado en algo, desde luego, lo que se hizo evidente a finales de siglo. En 1896 se descubrió la radiactividad, y sus repercusiones enseguida comenzaron a invalidar la visión del mundo de Kelvin (véase cap 11, «La física del siglo xx»). En 1903, Pierre Curie observó que los elementos radiactivos emitían calor, y tres años después lord Rayleigh señaló que, como esos elementos están distribuidos por toda la tierra en cantidades pequeñas pero significativas, en el interior se generaría una cantidad sustancial de calor, lo cual sería más que suficiente para compensar el enfriamiento pronosticado por Kelvin. Además, el ritmo de descomposición radiactiva de algunos elementos naturales es tan lento que esa fuente de calor podría durar miles de millones de años. En cierto sentido, esto sirvió a Lyell para reivindicarse, pues ahora las pruebas del calentamiento radiactivo venían a exigir a los geólogos que ampliaran enormemente su escala temporal y volvían innecesarias las catástrofes. De hecho, la nueva física provocó una crisis en las ciencias de la tierra al debilitar la idea de que la formación de montañas se debió al arrugamiento de la corteza de una tierra que se encogía gradualmente. Esto a la larga daría lugar a la teoría de la deriva continental y a la moderna tectónica de placas (véase cap. 10, «La deriva continental»).

La radiactividad también proporcionó algo de lo que los geólogos siempre habían carecido: un sistema para medir tiempo geológico en términos absolutos (en contraposición a la secuenciación relativa de las formaciones). Dado que se conocen los productos de desintegración de cada elemento radiactivo, es posible comparar la proporción

del elemento original y su producto de descomposición en un mineral y —conociendo la vida media (medida del ritmo de desintegración progresiva)— calcular la edad de este último. El primer método utilizó la descomposición de radio en plomo, aunque llegaron a ser más conocidos otros como el de potasio-argón. En tan sólo unos años, pioneros de la datación radiactiva como Arthur Holmes calcularon que la edad de la tierra era de varios miles de millones de años (Lewis, 2000). A la larga, se llegó al consenso de que dicha edad es de unos 4,5 mil millones de años, cifra que se ha mantenido pese a las numerosas mejoras efectuadas durante el siglo XX y ya en el XXI.

Conclusiones

Los geólogos han acabado acostumbrados a manejar períodos de tiempo abrumadores. Los actuales creacionistas de la tierra joven rechazan las últimas cifras y la datación radiactiva junto con todo el aparato de las ciencias modernas de la tierra. Para ellos, como para los naturalistas de finales del siglo XVII, la tierra sólo tiene unos miles de años y todas las rocas con fósiles incrustados quedaron depositadas bajo las aguas tras el Diluvio universal. Nada podría indicar más llamativamente el grado de revolución conceptual incluido en el empeño de los científicos por dotar a la tierra de una historia. El alcance total de esa revolución sólo fue visible con la aparición de la datación radiactiva poco después de 1900, si bien en la década de 1830 Lyell había realizado un gran esfuerzo por ampliar la escala temporal a ese orden de magnitud. En otro sentido, no obstante, vemos que el principal salto de la imaginación se había producido ya antes de que Lyell publicara. Los geólogos neptunistas y catastrofistas que en las décadas próximas a 1800 crearon la estratigrafía moderna ya habían aceptado la secuencia de períodos geológicos que se extendía hasta una antigüedad que superaba en mucho la historia humana. No habrían anunciado la edad de cien millones de años admitida por sus posteriores seguidores, pero seguramente eran conscientes de que se requería algo de ese orden de magnitud. En este sentido, el concepto moderno de tiempo geológico ya había tomado forma, aunque harían falta los esfuerzos de Lyell y de

los físicos atómicos para completar la ampliación final de la escala temporal hasta la cifra hoy aceptada.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Burchfield, Joe D., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, Science History Publications, Nueva York, 1974.

Dean, Dennis, R., *James Hutton and the History of Geology*, Cornell University Press, Ithaca, 1992.

Gillispie, Charles Coulson, *Genesis and Geology: A Study of the Relations of Scientific Thought, Natural Geology and Social Opinion in Great Britain, 1790-1850*, 1951; reedición de Harper, Nueva York, 1959.

Gould, Stephen Jay, *Time's Arrow, Time's Cycle: Myths and Metaphor in the Discovery of Geological Time*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1987 (hay trad. cast.: *La flecha del tiempo*, Alianza Editorial, Madrid, 1992).

Greene, John C., *The Death of Adam: Evolution and Its Impact on Western Thought*, Iowa State University Press, Ames, 1959.

Greene, Mott T., *Geology in Nineteenth Century: Changing Views of a Changing World*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1982.

Hallam, Anthony, *Great Geological Controversies*, Oxford University Press, Oxford, 1983 (hay trad. cast.: *Grandes controversias geológicas*, RBA, Barcelona, 1994).

Hutton, James, *Theory of the Earth, with Proofs and Illustrations*, 1795; reedición de Weldon & Wesley, Codicote, Herts, 1960.

Laudan, Rachel, *From Mineralogy to Geology: The Foundation of a Science, 1650-1830*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.

Lewis, Cherry, *The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000.

Lyell, Charles, *Principles of Geology: Being an Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface by Reference to Causes now in Operation*, 1830-1833, 3 vols. Introducción de Martin J. S. Rudwick, reedición de University of Chicago Press, Chicago, 1990-1991.

Oldroyd, David, *Thinking about the Earth: A History of Geological Ideas*, Athlone, Londres, 1996.

Porter, Roy, *The Making of Geology: The Earth Sciences in Britain, 1660-1815*, Cambridge University Press, Cambridge, 1977.

Rappaport, Rhoda, *When Geologists Were Historians, 1665-1750*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1997.

Roger, Jacques, *Buffon: A Life in Natural History*, traducido por S. L. Bonnefoi, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1997.

Rossi, Paolo, *The Dark Abyss of Time: The History of the Earth and the History of Nations from Hooke to Vico*, University of Chicago Press, Chicago, 1984.

Rudwick, Martin J. S., *The Meaning of Fossils: Episodes in the History of Paleontology*, Science History Publications, Nueva York, 1976.

—, *The Great Devonian Controversy: The Shaping of Scientific Knowledge among Gentlemanly Specialists*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.

Schneer, Cecil J. (ed.), *Toward a History of Geology*, MIT Press, Cambridge, MA, 1969.

Secord, James A., *Controversy in Victorian Geology: The Cambrian-Silurian Debate*, Princeton University press, Princeton, Nueva York, 1986.

Wilson, Leonard G., *Charles Lyell: The Years to 1841: The Revolution in Geology*, Yale University Press, New Haven, CT, 1972.

— 6 —

La revolución darwiniana

La popularidad del término «revolución darwiniana» (Himmelfarb, 1959; Ruse, 1979) sugiere que estamos ante una teoría científica de importantes consecuencias. Si se aceptaba la teoría naturalista de Darwin sobre la evolución, entonces había que rechazar o renegociar un sinnúmero de creencias y valores esenciales a la cultura cristiana. Los seres vivos, incluida la especie humana, ya no podían considerarse una creación divina. A lo sumo, cabría suponer que Dios desempeñaba algún papel indirecto en el proceso de la evolución, pero incluso eso era difícil de imaginar si aquélla se valía de un mecanismo tan complejo como la selección natural. Igual de grave era que se veía amenazado el estatus del alma humana. Si sólo somos animales mejorados, cuesta creer que tenemos un alma inmortal si los animales inferiores no la tienen. Y abandonar el concepto de la dimensión espiritual de la existencia humana socavaría las nociones tradicionales de moralidad y amenazaría la estabilidad del orden social.

¿Qué pruebas tan convincentes empujaron a científicos como Darwin a dar un paso tan audaz? Según el modelo de historia preferido por estudiosos como Gavin de Beer (1963), es posible ver cómo Darwin se encaminó hacia su teoría debido a una acumulación de informaciones nuevas procedentes de ámbitos tan diversos como los restos fósiles o el estudio de la cría de animales. Si la teoría tenía repercusiones problemáticas, habría que afrontarlas sin más si se quería vivir en el mundo real. Sin embargo, incluso en la actualidad no faltan crí-

ticos para quienes la teoría darwiniana no es ciencia verdadera, de modo que a Darwin y sus seguidores seguramente les inspiró algo más que el deseo de estudiar la naturaleza. Para los creacionistas modernos, el darwinismo es el agente de la filosofía materialista que quiere destruir los valores y creencias tradicionales y sumir el mundo en la anarquía. Sostienen asimismo que los materialistas manipulan pruebas científicas discutibles para respaldar una teoría cuyo verdadero objetivo es mucho más ambicioso y peligroso.

No obstante, para debilitar la credibilidad científica del darwinismo se ha usado también otra línea de argumentación. Desde Marx y Engels, los críticos socialistas han observado la analogía entre la «lucha por la existencia» de Darwin y la economía competitiva del mercado libre en la que los individuos luchan por ganarse la vida. ¿Es una coincidencia, dicen los críticos, que una teoría así se formulara en el apogeo del capitalismo victoriano? Darwin se limitó a proyectar la ideología de su clase social en la naturaleza para que él y sus seguidores pudieran afirmar que una sociedad competitiva era «totalmente natural». Éste es un argumento muy distinto que pone en entredicho las credenciales científicas de la teoría. De cualquier modo, los observadores cautos acaso reflexionen sobre el hecho de que los creacionistas que condenan el materialismo darwiniano se cuentan entre los partidarios más fervorosos del sistema de la libre empresa —así pues, ¿será que también ellos son inconscientemente darwinistas sociales?

Estas percepciones contrapuestas del darwinismo moderno aparecen reflejadas en la copiosísima literatura histórica sobre los orígenes de la teoría. La descripción de Darwin como un científico valiente a cargo de De Beer va seguida de las de otros científicos-historiadores como Michael Ghiselin (1969) y Ernst Mayr (1982). Los valores de aquellos a quienes desagradan las consecuencias del darwinismo aparecen en los retratos mucho menos halagadores creados por Jacques Barzum (1958) y Gertrude Himmelfarb (1959). La plasmación sociológica del darwinismo se explora en los escritos del historiador marxista Robert Young (1985) y en una biografía de Darwin realizada por Adrian Desmond y James Moore (1991). Otros historiadores han intentado equilibrar las presiones en conflicto. Pocos negarían ahora que Darwin se vio influido —tal vez creativamente— por la ideología

de su época, pero existe la creencia generalizada de que no podemos entender sus aportaciones a menos que analicemos esas ideas creativas a través de su trabajo científico (para visiones de conjunto, véase Bowler [1983*b*, 1990]; Eiseley [1958]; y Greene [1959]). La labor de los historiadores se complica debido a la abundantísima documentación sobre la actividad de Darwin, que está preparándose para su publicación (p. ej., Darwin, 1984—, 1987).

La tendencia de seguidores y críticos a centrarse en el trabajo del propio Darwin tal vez haya distorsionado nuestra imagen de la revolución darwiniana. Es muy fácil dar por supuesto que probablemente hubo una transición repentina desde un creacionismo más o menos estable a un darwinismo rabiosamente materialista que ha permanecido inmutable (si no incontestado) hasta hoy. Esta percepción se alimenta de una peculiar combinación en los logros de Darwin: éste convirtió al mundo al evolucionismo y descubrió también lo que la mayoría de los biólogos modernos consideran la explicación correcta de cómo funciona la evolución: la selección natural. Hay una tentación evidente de creer que Darwin seguramente tuvo éxito porque sus contemporáneos comprendieron que había dado con el mecanismo correcto. Según este modelo, sólo hacía falta «ordenar» un poco la teoría para generar el darwinismo moderno. No obstante, un creciente número de estudios sugieren que los colegas científicos de Darwin no aceptaron la selección natural. A principios del siglo XX, surgieron mecanismos de la evolución rivales. Hemos de entender la aparición del darwinismo moderno como un proceso mucho más prolongado que requirió transformaciones importantes mucho después de que se admitiera la idea básica de la evolución (Bowler, 1988).

Estas cuestiones aparecen en la labor de los historiadores que están creando un modelo más complejo para entender cómo la primera generación de darwinianos logró dominar la comunidad científica. Darwin no fue el primero en provocar una discusión generalizada sobre el evolucionismo. Mucho antes de publicar en 1859 *El origen de las especies*, varios escritores radicales ya promovían la teoría como fundamento de una filosofía política que exigía progreso social. Al socavar las creencias tradicionales defendidas por la Iglesia, la evolución planteó la posibilidad de que la propia naturaleza se cimentara en una ley

de progreso —que por tanto haría inevitable el progreso humano—. Esas ideas apenas tuvieron repercusión en la élite científica, pero sí allanaron el terreno para la aceptación de la teoría de Darwin y quizá determinaron la presunción popular de que aquélla también era la base de una filosofía de progreso universal. Si es así, muchas de las consecuencias filosóficas, teológicas e ideológicas normalmente atribuidas al darwinismo acaso sean un reflejo de este movimiento cultural más amplio.

Al mismo tiempo, hemos de analizar más atentamente por qué los científicos tomaron a Darwin más en serio que a los escritores anteriores. Sin duda, para ellos el libro era una iniciativa nueva que transformaría muchas áreas de la ciencia, sobre todo la morfología (estudio comparado de estructuras animales) y la paleontología. Y aunque la mayoría de ellos no aceptaban la selección natural como principal mecanismo de la evolución, creían que era una teoría convincente y científicamente verificable que trascendía las conjeturas más tempranas. Se ha dicho que algunos científicos profesionales jóvenes, como T. H. Huxley (que llegó a ser conocido como el «bulldog de Darwin»), se sintieron atraídos por la teoría porque ésta les era útil en su campaña para persuadir a la gente de que, en una economía moderna, la ciencia superaba a la Iglesia como fuente de conocimientos. Todo ello da a entender que el impacto del darwinismo ha de evaluarse en función tanto de las ventajas científicas (que eran lo bastante reales incluso para los que albergaban dudas sobre la teoría detallada de la selección) como de su apelación a los valores y los prejuicios de los potenciales partidarios de dentro y fuera de la ciencia.

Diseño en el mundo natural

La cosmovisión aún aceptada por los creacionistas modernos no se remonta a los inicios del cristianismo. Como señalamos en el capítulo 5, «La edad de la tierra», en el siglo XVII fue ampliamente aceptada una interpretación literal de la Creación del Génesis. Si la tierra sólo tenía unos cuantos miles de años de edad, era inconcebible cualquier proceso gradual de desarrollo. La única explicación del origen de las

plantas, los animales y los seres humanos era que Dios creó de forma directa sus antepasados originarios. A los naturalistas de la época ciertamente les satisfacía explotar esa idea para así justificar la exploración científica del mundo natural. Al fin y al cabo, eran críticos que prevenían contra el materialismo de la nueva ciencia promovida por Galileo, Descartes y Newton. Si había que considerar el mundo entero como una máquina gigantesca, la única manera de preservar un papel para el Creador era recalcando que la máquina necesitaba un Diseñador sensato e inteligente. Aunque no creyeran en el Jardín del Edén, los naturalistas del siglo XVII podían recurrir a una «teología natural» en la cual el estudio de los seres vivos pondría al descubierto la obra de Dios. El «razonamiento basado en el diseño» pretendía convencer a los escépticos de que la mejor explicación de la existencia de estructuras complejas como los seres vivos era un Dios que, en la analogía utilizada por William Paley, las creó igual que un relojero diseña un reloj (véase cap. 15, «Ciencia y religión»).

Un destacado defensor de esta idea fue el naturalista inglés John Ray, cuyo *Wisdom of God Manifested in the Works of Creation* [Sabiduría de Dios manifestada en la obra de la Creación] apareció en 1691 (Greene, 1959). Ray se valió de la estructura del cuerpo humano, en especial el ojo y la mano, para sostener que existen complejos mecanismos diseñados de manera exquisita cuyo fin es facilitarnos los instrumentos necesarios para dirigir nuestra vida. De todas formas, no creía que el mundo hubiera sido creado sólo en beneficio nuestro. Cada especie animal tiene sus propias estructuras concebidas para permitir a los individuos ganarse el sustento y disfrutar de su vida en un entorno determinado. Así pues, el razonamiento basado en el diseño se centraba en la adaptación de la estructura a la función. Dios no sólo es sensato sino también benevolente, pues da a cada especie exactamente lo que necesita para vivir en el lugar donde la ha creado. El razonamiento presupone una creación estática, en la que las especies y sus entornos permanecen igual que cuando fueron creados. Se ha dicho a menudo que Darwin dio la vuelta al argumento cuando puso de manifiesto que la adaptación es un proceso en el que las especies se acomodan a medios cambiantes.

La idea de Ray de un mundo diseñado no careció de aplicaciones

en el mundo científico de la época. Por un lado estimuló el estudio minucioso de especies y su relación con el entorno. Pero también constituyó la base de los primeros esfuerzos por establecer una taxonomía biológica, un sistema para clasificar animales y plantas que permitiera entender la apabullante diversidad de especies. Cada especie individual tiene sus propias adaptaciones particulares, pero entre las especies hay relaciones que seguramente conllevan algún patrón racional en la Creación de Dios. Tanto el león como el tigre son «gatos grandes» —apreciamos la relación entre ellos amén de un parecido más lejano con el gato doméstico—. Si podemos ordenar y relacionar estos y otros grados de semejanza, quizá seamos capaces de ver el plan completo de la Creación expuesto en nuestros libros de texto y museos. También gozarán de enormes ventajas los científicos que deban referirse de manera inequívoca a alguna de las numerosísimas especies vivas, problema que se agravó cuando los naturalistas europeos se las vieron ante el inmenso conjunto de especies nuevas descubiertas en tierras remotas.

Ray realizó contribuciones importantes para establecer ese sistema, pero fue el naturalista sueco Carl von Linné, más conocido por Linneo, la forma latinizada de su nombre, quien sentó las bases del sistema moderno de taxonomía biológica (Farber, 2000). Su *Systema naturae sistens regna tria naturae...* (1735) con el tiempo se fue ampliando hasta llenar varios volúmenes donde se intentaba clasificar todas las especies de animales y plantas conforme a un método racional. Linneo también elaboró el sistema de denominación de las especies que aún usamos en la actualidad: la nomenclatura binómica. Las especies más afines están ligadas a un género y cada una recibe dos nombres latinos, siempre en cursiva: el primero es el género; el segundo, la especie individual. De este modo, el león es *Panthera leo*; el tigre, *Panthera tigris*. Luego, el género *Panthera* de los grandes gatos se incluye en la familia de los félidos (los gatos), que a su vez pertenece al orden de los carnívoros (los que comen carne) de la clase de los mamíferos. Aunque han cambiado muchas cosas en el modo de evaluar las relaciones y los detalles de algunos agrupamientos, los científicos todavía clasifican las especies así. La teoría de la evolución de Darwin explica el agrupamiento de especies a partir de un antepasado común: en el ramificado «árbol de la vida», cuanto más recientemente comparten dos especies un ascendiente común, más estrechamente em-

parentadas están. No obstante, vale la pena recordar que, cuando Linneo creó el sistema, creía que éste representaba el plan divino de la Creación —las relaciones existían sólo en la mente de Dios—. Pensaba asimismo que la mayoría de las especies habían sido creadas exactamente con las mismas características que tienen en la actualidad.

El patrón de relaciones que Ray y Linneo pretendían representar constaba de grupos ubicados en grupos mayores, razón por la cual concuerda con el modelo de evolución ramificada de Darwin. El sistema restaba valor a una visión mucho más vieja del orden natural conocida como «cadena del ser», basada en la noción lógica de que unos animales son superiores o más avanzados que otros. La mayoría de nosotros creemos que los seres humanos son superiores a los demás animales, y solemos considerar a los mamíferos superiores a los peces, y también a los peces respecto a los invertebrados. Desde los antiguos griegos, esta jerarquía natural se ha visualizado como una cadena lineal con las especies como eslabones, que se extendía desde los seres humanos hasta la forma de vida más inferior. También había una jerarquía espiritual que iba a través de los ángeles hasta Dios, de tal modo que los seres humanos ocupaban la frontera crucial entre las esferas animal y espiritual. La cadena del ser todavía fue explotada por poetas del siglo XVIII como Alexander Pope (véase Lovejov, 1936), pero Linneo y los naturalistas ya habían demostrado que, como sistema práctico de clasificación, no funcionaba. De cualquier modo, la idea más amplia de jerarquía animal estaba demasiado arraigada para abandonarla, así que la teoría de la evolución sería moldeada por una suposición generalizada de que la historia de la vida debe representar el ascenso de ésta hacia formas superiores (Ruse, 1996). El árbol de la vida conservaba el tronco principal, equivalente a la cadena del ser, pero con una gran cantidad de ramas secundarias (véase fig. 6.5, más adelante).

¿Precursores de Darwin?

Los naturalistas para quienes el universo era una creación divina consideraban —habida cuenta de la detallada naturaleza de su trabajo— que ésta estaba llena de imprecisiones, las cuales aumentarían a medi-

da que las ciencias de la vida se hicieran más sofisticadas. Pero a mediados del siglo XVIII surgió un movimiento que fue cobrando importancia que rechazaba la idea global de diseño y buscaba explicaciones más materialistas de cómo habían llegado las cosas a su estado actual. Algunas de las teorías resultantes sí incluían un elemento de transformismo, lo que hoy denominaríamos evolución, y los naturalistas que las formulaban han sido aclamados en ocasiones como los «precursores de Darwin» (Glass, Temkin y Strau, 1959). Ciertos historiadores posteriores mostraron su recelo ante esa búsqueda de precursores de la teoría moderna, pues no tiene en cuenta el contexto tan diferente en el que se articularon dichas ideas tempranas. Es fácil hallar pasajes aislados que den la impresión de que algunos pensadores del siglo XVIII se encontraban próximos al darwinismo, pero una lectura más cuidadosa nos indica que por lo general estaban pensando en algo totalmente ajeno a la teoría moderna. Existen muchas maneras de imaginar cómo ha cambiado el universo a lo largo del tiempo, y el darwinismo sólo es una de ellas. En realidad, los supuestos precursores exploraban modelos muy diferentes de cómo pudieron aparecer nuevas formas de vida. Aunque debemos ser conscientes de que la disposición a cuestionar la idea de Creación estática fue una tendencia creciente, retorcer esas ideas tempranas para encajarlas en nuestras teorías modernas sólo puede acabar por tergiversarlas hasta volverlas irreconocibles.

Las motivaciones que hay tras muchas de esas conjeturas radican en la filosofía de la Ilustración, que ensalzaba la capacidad de la razón humana para comprender el mundo y rechazaba las religiones tradicionales calificándolas de supersticiones. Se acusaba a la Iglesia de ser un obstáculo para la reforma social, de modo que minar la credibilidad de la Creación del Génesis tenía una finalidad no sólo intelectual sino también ideológica. Algunos de los filósofos de la Ilustración fueron ateos y materialistas declarados: buscaban una explicación del origen de la vida que no dependiera de lo sobrenatural (Roger, 1998). Para Denis Diderot, el mundo era una serie interminable de transformaciones materiales que formaban y reformaban estructuras físicas sin ningún plan o propósito preconcebido. Diderot puso en entredicho el supuesto de que las especies fueran constantes e hizo hincapié en el carácter no planeado del cambio natural al conjeturar que a veces na-

cían monstruosidades con nuevos rasgos que por casualidad permitían a la criatura sobrevivir y dar origen a una nueva especie. Sin embargo, los materialistas como Diderot no elaboraron ninguna teoría detallada del transformismo porque también pensaban que la naturaleza inorgánica podía producir incluso seres vivos complejos directamente mediante un proceso conocido como «generación espontánea».

Esta opción también puede rastrearse en el pensamiento del naturalista más influyente de la Ilustración, Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (Roger, 1997), el cual defendió la nueva escala temporal de la historia de la tierra en la que se basaban esas especulaciones acerca del origen de la vida (sobre avances en geología y paleontología, véase cap. 5, «La edad de la tierra»). Buffon formuló una teoría según la cual la tierra no sólo es muy vieja sino que en el pasado lejano también estaba más caliente y, por tanto, tenía más energía. Su obra en varios volúmenes *Natural History* [Historia Natural], que empezó a publicar en 1749, también brindaba una perspectiva general de todas las especies animales conocidas e incluía especulaciones (no del todo coherentes) sobre su origen. Buffon ridiculizaba la búsqueda de Linneo del plan divino de la Creación, aunque también aceptaba la realidad de las especies. De cualquier modo, cada vez se fue convenciendo más de que las especies eran muy flexibles para poder adaptarse a las nuevas condiciones con que se encontraban en un mundo que se hallaba en constante cambio. En un capítulo de 1766 titulado «Sobre la degeneración de los animales», sostenía que todas las especies que constituyen un género moderno descienden de un único antepasado —así, el león y el tigre no son verdaderas especies, sino sólo variedades de una sola especie de gato grande—. Sin embargo, las formas ancestrales no habrían evolucionado a partir de otra cosa, y en el resto de los escritos de Buffon queda claro que, a su juicio, aquéllas aparecieron originariamente por generación espontánea. En su volumen adicional *Las épocas de la naturaleza* (1778) sugería dos episodios de generación espontánea en el transcurso de la historia de la tierra, uno para producir criaturas adaptadas a las condiciones tempranas, muy calientes, y otro para generar los antepasados de las formas modernas. Desde luego era una alternativa audaz al Génesis, pero sólo suponía una transmutación muy limitada.

A finales de siglo hubo dos pensadores cuyas ideas incluían un elemento más sustancial de lo que podríamos llamar la evolución. Uno de ellos, el médico y poeta inglés Erasmus Darwin, ha suscitado mucho interés porque fue su nieto, Charles Darwin, quien formuló la teoría moderna de la evolución. En sus poemas (que gozaron de bastante popularidad en su época) y en un capítulo de su *Zoonomia* (1794-1796), Erasmus respaldó la idea de un desarrollo gradual de la vida a lo largo del tiempo. Pero mucha más influencia tuvo la teoría paralela planteada por el naturalista francés J. B. Lamarck (Burkhardt, 1977; Jordanova, 1984), quien estudió los animales invertebrados en el Museo de Historia Natural creado en París por el gobierno revolucionario e hizo importantes aportaciones a su taxonomía. Hacia 1800, Lamarck abandonó su compromiso con la idea de la estabilidad de las especies y elaboró la teoría que publicó en su *Filosofía zoológica* (1809). Aceptaba la generación espontánea, recurriendo a la electricidad como fuerza capaz de dar vida a la materia inerte, pero presuponía que sólo podían producirse de ese modo las formas de vida más simples. Los animales superiores habían evolucionado a lo largo del tiempo gracias a una tendencia progresiva que volvía cada generación ligeramente más compleja que la de sus padres. Lamarck creía que, en teoría, esa progresión generaría una escala lineal de organización animal —de hecho, una cadena del ser con los humanos como productos finales y superiores—. Obsérvese, no obstante, que este modelo «escalera» de la evolución no incluía ramificación, pues había muchas líneas paralelas que ascendían partiendo de distintos episodios de generación espontánea. Lamarck negaba la posibilidad de extinción y la realidad de las especies. En su opinión, la escala era absolutamente continua, sin huecos que separaran las diferentes especies (los huecos que vemos se deben a que no se disponía de información; los eslabones que faltan están por ahí, en alguna parte).

Es éste un modelo de evolución bastante distinto de lo aceptado en la actualidad. Lamarck era un naturalista experto y sabía que, en realidad, no podemos acomodar las diversas formas de vida en un modelo lineal. Suponía que había un segundo proceso evolutivo en marcha que alteraba la cadena y originaba una disposición irregular. Se le recuerda por ese segundo proceso porque los biólogos lo tomaron muy en se-

rio hasta la aparición de la genética moderna. Lamarck sabía que las especies se adaptaban a su medio, pero no podía atribuir esto a un designio de Dios. En vez de ello, imaginaba que las especies estaban adaptadas a los cambios del entorno en virtud de un proceso denominado «herencia de características adquiridas» o «herencia del uso». Un rasgo adquirido es aquel desarrollado por el organismo después del nacimiento a consecuencia de ejercitar el cuerpo de una manera poco común. Los abultados músculos del levantador de pesas son una característica adquirida porque si no fuera por el ejercicio serían mucho más pequeños. Lamarck (y muchos otros) creía que esos rasgos adquiridos tenían una ligera tendencia a ser heredados, por lo que los hijos del levantador de pesas nacerían con unos músculos un poco más desarrollados debido a los esfuerzos del padre. Este proceso daría lugar a una adaptación evolutiva si se adoptaba el nuevo hábito determinante del ejercicio para hacer frente a un cambio en el entorno. En el ejemplo clásico, el largo cuello de la jirafa resulta de generaciones en que sus antepasados lo estiraban para comer las hojas de los árboles.

La teoría de Lamarck fue el último producto de la época especulativa de la Ilustración; y los historiadores de la ciencia tradicionalmente han creído que una nueva generación de naturalistas conservadores de la época napoleónica la había rechazado por absurda. Desde luego algunos miembros de la élite científica se opusieron a ella, pero como veremos en la próxima sección, aún había radicales dispuestos a utilizar la idea de la evolución para poner en tela de juicio las creencias tradicionales. Para estos radicales, en la teoría de Lamarck se hallaban elementos que concordaban bien con sus continuas demandas de reforma social.

Interpretación de los restos fósiles

La élite científica del siglo XIX ansiaba distanciarse del materialismo de la Ilustración. En Gran Bretaña, esto significó un renacimiento de la teología natural. En el continente hubo menos apelaciones explícitas a la religión, pero algunos enfoques nuevos de las ciencias de la vida tendían a reforzar la creencia en la estabilidad de las especies y en algunos casos presentaban el mundo vivo como un patrón ordena-

do que expresaba cierto principio racional en el centro de la naturaleza. Sin embargo, había un factor nuevo que todas esas perspectivas teóricas debían tener en cuenta: la historia de la vida revelada por los restos fósiles (para un bosquejo de las repercusiones provocadas por el estudio de los restos fósiles, véase cap. 5). Por conservador que fuera su punto de vista, los naturalistas tenían que considerar las especies modernas como la última fase de un proceso histórico. Debían transformar las viejas tradiciones para incorporar ese elemento de cambio sin respaldar la transmutación como agente en virtud del cual aparecían especies nuevas. Hubo un tiempo en que parecía fácil para los historiadores de la ciencia rechazar esos esfuerzos calificándolos de meros apaños que intentaban desesperadamente retrasar la aparición del evolucionismo darwiniano. Pero según ciertos estudios modernos, en algunos casos esas teorías tempranas produjeron importantes resultados que ayudaron a crear la cosmovisión a la que también contribuyó Darwin. En trabajos recientes se confirma asimismo la cuestión señalada antes: los radicales no desaparecieron, y en cierto modo las filosofías antievolutivas del *establishment* científico se elaboraron para combatir la amenaza que aquéllos suponían.

El trabajo de Georges Cuvier y sus discípulos sobre fósiles vertebrados estableció que el orden de la naturaleza de su época era simplemente el último de una larga serie. Para reconstruir los restos fosilizados de animales extintos, Cuvier recurrió a sus conocimientos en anatomía comparada (véase cap. 7, «La nueva biología»). Puso de manifiesto que la tierra había pasado por diversas eras geológicas, cada una de las cuales con su propia población particular de animales y plantas. ¿Cómo se iba a aceptar esa idea sin ceder terreno ante Lamarck y los evolucionistas? Cuvier estaba convencido de que las catástrofes geológicas habían exterminado las poblaciones de continentes enteros, lo que dejó sitio para que una población totalmente nueva ocupara el área después de que todo se hubiera calmado. Hizo lo posible por ridiculizar la teoría de Lamarck alegando que la estructura de cada especie está tan minuciosamente equilibrada que cualquier alteración significativa volvería el organismo inviable. Pero no recurrió al diseño, y eludió la necesidad de postular creaciones sucesivas para explicar la aparición de especies nuevas, sugiriendo, en cambio, que és-

tas inmigraron desde zonas no afectadas por la catástrofe. Para sus seguidores británicos, no obstante, la idea de las creaciones sucesivas era irresistible. La historia del Génesis habría sido modificada para incluir una serie de creaciones milagrosas en el transcurso de la historia de la tierra (Gillispie, 1951). Aquéllos alababan la *Natural Theology* [Teología natural] (1802) de William Paley, que volvía a plantear el «razonamiento basado en el diseño» mediante la analogía del reloj y el relojero, y se consideraban a sí mismos modificadores de esa idea tradicional en vista de los nuevos conocimientos derivados de los restos fósiles. William Buckland hizo su aportación a una serie conocida como los *Bridgewater Treatises* [Tratados de Bridgewater] —cuyo cometido era promover la teología natural—, valiéndose de su volumen para demostrar cómo todas las especies que constituían cada población sucesiva estaban adaptadas a las condiciones reinantes. Al presumir que la tierra se estaba enfriando poco a poco para que el entorno cambiara paso a paso hasta llegar a ser el que tenemos en la actualidad, explicaba por qué hacía falta que las creaciones de Dios desaparecieran periódicamente a fin de dejar sitio a poblaciones nuevas que se asemejaban más a las criaturas que hoy conocemos.

En Alemania, un desafío más innovador al materialismo estaba relacionado con el movimiento romántico en las artes y el idealismo en filosofía. Los idealistas creían que el mundo material es una ilusión creada por las impresiones sensoriales en nuestra mente, y como el mundo es algo ordenado, las leyes de la naturaleza han de representar algún principio ordenador de la realidad primordial que sea la fuente de esas impresiones. Tanto si a este principio ordenador lo llamamos Dios como si aludimos a él con un término más abstracto como el «Absoluto», la consecuencia es que la aparente complejidad de la naturaleza oculta un patrón subyacente más profundo. Inspirados en esas creencias, un grupo de *naturphilosophen* (filósofos de la naturaleza) intentaron explicar que los agrupamientos ordenados entre las especies revelados por la taxonomía conformaban precisamente un patrón así. Este punto de vista fue importado a Gran Bretaña por Richard Owen, que hizo un uso creativo del mismo en su concepto del arquetipo definidor de la forma básica de cada grupo taxonómico importante (Rupke, 1993). El arquetipo de los vertebrados de Owen, propuesto

en 1848, concretaba la esencia de lo que sería un animal con columna vertebral. Era un modelo idealizado del vertebrado más simple que se pudiera imaginar —todas las especies de vertebrados eran modificaciones adaptativas más o menos complejas de la forma arquetípica (fig. 6.1)—. Este enfoque idealista permitió a Owen definir el importante concepto de homología: el hecho de que la misma combinación de huesos puedan ser modificados para diferentes fines en especies adaptadas a entornos distintos (fig. 6.2). De todas formas, el arquetipo no restaba importancia a la idea de progreso: los peces primitivos eran las modificaciones más sencillas; los seres humanos, las más complejas. Para Owen, esto proponía una forma mejor del razonamiento basado en el diseño porque daba a entender que, bajo la abrumadora variedad de especies diferentes descritas en los *Bridgewater Treatises*, había un principio ordenador que sólo podía surgir de la mente del Creador. Owen entendió que las sucesivas expresiones del arquetipo constituían un patrón progresivo que se extendía a lo largo del tiempo, algo que a veces le acercaba peligrosamente al transformismo, aunque él siempre insistía en que cada especie era una unidad bien diferenciada en el plan divino. La teoría de la evolución ramificada de Darwin recurría a un modelo similar de desarrollo, aunque para él el ar-

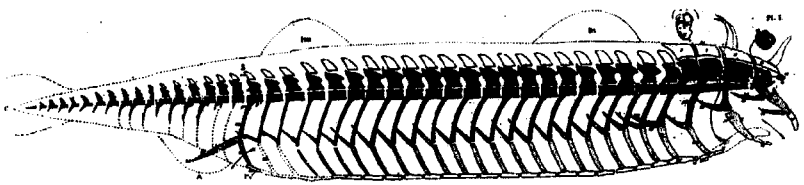


FIGURA 6.1. Arquetipo de los vertebrados de *On the Archetype and Homologies of the Vertebrate Skeleton* (1848), de Richard Owen. Aquí apreciamos una representación idealizada del animal con columna vertebral más sencillo imaginable, sin ninguna de las especializaciones de las verdaderas especies. No corresponde a un animal real, aunque más adelante los evolucionistas tratarían de identificar la forma más simple y primitiva de los vertebrados a partir de la cual se había desarrollado el filo completo mediante evolución divergente.

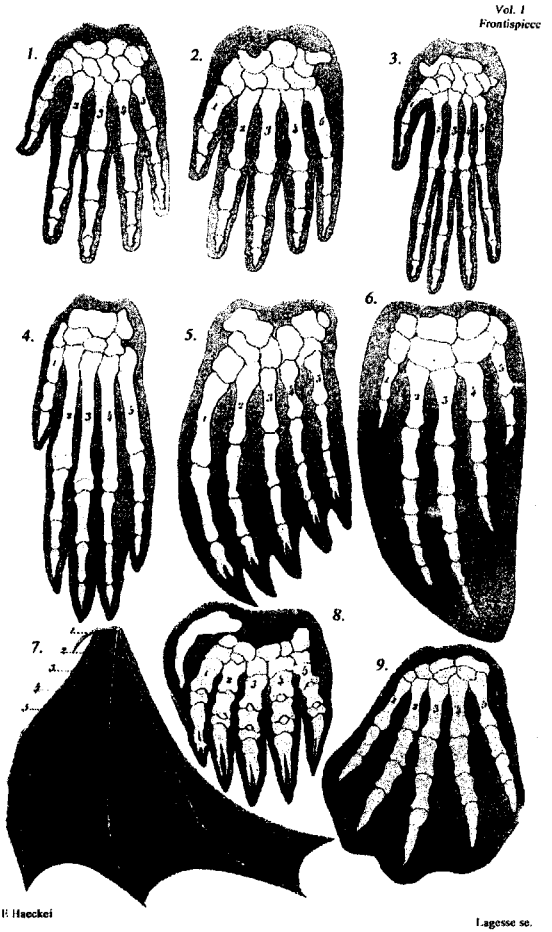


FIGURA 6.2. Homologías de la «mano» de los mamíferos como aparecen en *History of Creation* de Ernst Haeckel (Nueva York, 1876), vol. 2, lámina 4. Los mismos huesos observados en la mano humana (1, arriba a la izquierda) están adaptados a diversos fines en los miembros delanteros del gorila (2), el orangután (3) y el perro (4); para nadar en la foca (5) y la marsopa (6); para volar en el murciélago (7); para cavar en el topo (8); y nuevamente para nadar en un mamífero primitivo, el ornitorrinco (9). Richard Owen describió la modificación de la misma estructura básica para distintos propósitos en diferentes animales como forma de ilustrar los fundamentos racionales del plan de la Creación, si bien para Haeckel esto demostraba que todos los mamíferos descendían de un antepasado común.

quetipo era sustituido por el antepasado común a partir del cual divergían los diversos miembros del grupo en el transcurso de la evolución.

Otros idealistas, entre ellos el naturalista suizo Louis Agassiz —que acabó siendo uno de los padres fundadores de la biología americana—, se centraron en el desarrollo del embrión humano como ejemplo de cómo se desplegaba el modelo de la Creación (Lurie, 1960). Al parecer, el embrión se desarrollaba a partir de una sustancia uniforme simple del óvulo fertilizado, que poco a poco adquiría las estructuras más complejas que necesitaba para convertirse en adulto. Por entonces se creía comúnmente que las estructuras nuevas se añadían de una manera que recordaba la jerarquía taxonómica: el embrión humano atravesaba fases en las que se parecía a un pez, a un reptil y a un simple mamífero, antes de incorporar los rasgos finales que lo definían como ser humano. Pero ésta era también la secuencia plasmada en el ascenso de la vida revelado en los restos fósiles, y para Agassiz ese paralelismo debía de ser el modo como Dios nos dice que nosotros, los seres humanos, somos el objetivo de su creación. Aquí un elemento de la vieja cadena del ser se deslizó sigilosamente de nuevo en el pensamiento de los naturalistas, aunque Agassiz era muy consciente de que del tronco principal saldrían muchas ramificaciones. Al igual que Owen, también hizo lo posible por rechazar una interpretación evolutiva de su modelo. Cada especie era un elemento diferenciado del plan divino y había sido creada de manera sobrenatural en el momento adecuado.

Estos modelos de la historia de la vida fueron clave para la mayoría de los argumentos que precedieron a la publicación de *El origen de las especies*. No obstante, estudios posteriores han puesto de manifiesto que la cosa no acaba ahí. Se estaban discutiendo alternativas más radicales, a veces en el seno de la comunidad científica pero también entre legos interesados. En Francia, Cuvier fue cuestionado por Étienne Geoffroy Saint-Hilaire, que proponía una interpretación materialista del concepto de arquetipo (Appel, 1987): preveía una forma de transmutación basada en saltos, o transiciones repentinas, en virtud de las cuales una especie podía transformarse en otra instantáneamente gracias a la aparición de «monstruosidades» capaces de sobrevivir y reproducirse. En Gran Bretaña, las ideas de Geoffroy Saint-Hilaire, junto con las de Lamarck, fueron apoyadas por radicales que querían

desprestigiar la perspectiva tradicional como parte de su plan para reformar la profesión médica (Desmond, 1989). El anatomista lamarckiano Robert Grant fue desacreditado por Owen después de trasladarse a Londres en la década de 1830. Aunque se les impidió ejercer una influencia importante en la comunidad científica, esos transformistas mantuvieron viva la idea y hasta cierto punto obligaron a la élite científica a liberalizar sus opiniones para defenderlas en un contexto que cada vez más daba por sentada la idea del desarrollo progresivo.

Quizá la acción más importante de esta campaña se debió al editor de Edimburgo Robert Chambers, que en 1844 publicó los anónimos *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la Creación] (Secord, 2000). Chambers quería vender la idea de la evolución progresiva a las clases medias porque así les ofrecía una ideología en la que sus exigencias reformistas parecerían formar parte del propio desarrollo de la naturaleza. El progreso social sería una mera continuación de la historia de la vida en la tierra. Pero para ello tenía que soslayar la imagen del lamarckismo como idea peligrosamente radical. Su táctica consistió en sostener que el desarrollo progresivo de la vida era fundamental para los planes de Dios pero se fraguaba no mediante una sucesión de milagros sino gracias a leyes incorporadas a la naturaleza por el Creador. La ley normal de reproducción (lo semejante produce lo semejante) se veía de vez en cuando alterada por la intervención de una ley superior que hacía saltar el embrión un estadio más arriba en la jerarquía de la organización. Aquí la ley del paralelismo entre el desarrollo embrionario y la historia de la vida en la tierra se convertía en una ley de evolución por saltos repentinos progresivos. Chambers tampoco titubeó a la hora de extender la ley a la especie humana: nosotros éramos tan sólo los animales superiores y nuestra mayor capacidad mental era el resultado del agrandamiento del cerebro a través de sucesivos saltos súbitos. Recurrió a la ciencia de la frenología según la cual distintas partes del cerebro eran responsables de diferentes funciones mentales —si la evolución añadía partes nuevas, aparecerían funciones mentales nuevas.

El *establishment* conservador condenó los *Vestiges...* calificándolos de materialismo peligroso que socavaría los valores morales y la estructura de la sociedad. Fuera de la comunidad científica el libro fue

muy leído, y al parecer muchos estaban dispuestos a tomarse en serio la filosofía básica del «progreso por ley» (véase cap. 16, «Ciencia popular»). Así, el libro preparó el mundo para las ideas más radicales de Darwin y determinó el modo como se leería *El origen de las especies*. No había ninguna tendencia progresiva incorporada en la teoría de Darwin, aunque éste no dudaba de que a largo plazo la selección natural generaría progreso. Pero la gente asumió de inmediato que la evolución significaba efectivamente progreso, y éste era el legado de los *Vestiges...* Incluso algunos miembros de las capas altas de la sociedad empezaron a admitir que la finalidad de Dios quizá se descifraba mejor con leyes preconcebidas que con milagros. En su análisis del impacto de los *Vestiges...*, James Secord (2000) sugiere que el libro debería considerarse como un punto de partida del debate público sobre la evolución que fue resuelto gracias a la controversia suscitada por *El origen...* de Darwin.

El impacto de los *Vestiges...* en los científicos fue menos concluyente, por lo que la cuestión siguió en el aire. Es interesante hacer notar la reacción de algunos más jóvenes y radicales como Thomas Henry Huxley, que pronto se convirtió en un destacado defensor de Darwin (Desmond, 1994; Di Gregorio, 1984). Huxley condenó los *Vestiges...* en una crítica que más adelante llegó a reconocer que había sido injustamente virulenta. Ello se debió en parte a que la ciencia de Chambers era algo chapucera. Éste había pasado por alto las dificultades reales de los restos fósiles, los cuales no respaldaban el modelo lineal de progreso. Pero lo más importante es que la teoría de Chambers no le parecía lo bastante radical a Huxley, que era un científico profesional deseoso de echar abajo la imagen del clérigo-naturalista y cuyo objetivo era encontrar una teoría que eliminara todo rastro del razonamiento basado en el diseño. El libro de Chambers inducía al lector a creer que la única explicación del progreso era la voluntad de Dios. Si Huxley iba a aceptar la evolución, ésta tendría que basarse en un mecanismo accionado únicamente por efectos perceptibles, no por tendencias misteriosas diseñadas por Dios. Por suerte para él, Darwin pronto publicó una teoría que satisfaría plenamente ese requisito.

Desarrollo de la teoría de Darwin

Darwin había concebido su teoría a finales de la década de 1830, pero no la había publicado, y sólo gradualmente permitió a unas cuantas personas cercanas a él saber qué estaba haciendo. Por tanto, para la mayoría de los científicos la publicación en 1859 de *El origen de las especies* fue un acontecimiento inesperado. Se trataba de una iniciativa nueva e importante sobre la causa de la evolución, respaldada por abundantes pruebas y percepciones acumuladas por Darwin durante veinte años. Como indicamos en la introducción de este capítulo, los historiadores de la ciencia discrepan radicalmente respecto a cómo interpretar el proceso en el que Darwin dio forma a sus ideas. Según algunos, trabajó como un científico puro, y si comprendió mejor algunas cosas a partir de debates sociales, ello no debilita la credibilidad de su teoría (De Beer, 1963). Otros subrayan el paralelismo entre la selección natural y la ideología competitiva del capitalismo victoriano y consideran que Darwin proyectó los valores sociales de su clase en la naturaleza (Desmond y Moore, 1991; Young, 1985). Muchos historiadores intentan mantener el equilibrio entre estas dos posturas, admitiendo la inspiración procurada por las teorías sociales pero reconociendo también que sólo podemos explicar el carácter excepcional del pensamiento de Darwin si tomamos nota de cómo aplicó sus ideas a un conjunto concreto de cuestiones científicas (Bowler, 1990; Browne, 1995; Kohn, 1985).

Darwin nació en 1809, en el seno de una próspera familia de clase media. Fue enviado a Edimburgo para adquirir formación médica, y allí conoció y trabajó con el anatomista lamarckiano Robert Grant (aunque posteriormente afirmó que el evolucionismo de Grant le había parecido poco convincente). Abandonó la medicina y fue a Cambridge a estudiar letras antes de convertirse en clérigo anglicano, carrera ideal para un aficionado a la naturaleza. Por tanto, toda la formación científica obtenida en Cambridge estaba excluida del programa de estudios, si bien dejó admirados a los profesores de botánica y geología, John Stevens Henslow y Adam Sedgwick, respectivamente. Después, Henslow le ayudó a aprovechar la oportunidad que

cambiaría su vida, y que le supuso ser aceptado como caballero-naturalista en el barco científico *Beagle*, con destino a Sudamérica. El viaje duró cinco años (1831-1836), y mientras el barco trazaba mapas de las aguas costeras, Darwin pudo desplazarse en numerosas ocasiones a las tierras del interior, donde hizo descubrimientos en geología e historia natural que le reportarían fama como científico y le proporcionarían las ideas que hicieron de él un evolucionista.

Gracias a Sedgwick, Darwin se había formado como catastrofista, es decir, entendía que las discontinuidades de los restos geológicos evidenciaban enormes cataclismos en el pasado. Pero se hizo con el primer tomo de *Elementos de geología*, de Charles Lyell, y gracias a éste y a sus propias observaciones pronto se volvió uniformitariano (véase cap. 5, «La edad de la tierra»). Vio cómo los Andes aún se elevaban a causa de los terremotos, y comprobó que toda la cordillera había ido ascendiendo poco a poco en el transcurso de un larguísimo período de tiempo, no debido a una sola catástrofe. A partir de entonces, Darwin juzgó necesario explicar la distribución y las adaptaciones de los animales y las plantas en términos lyellianos: la situación actual había de ser el resultado de cambios lentos producidos por causas naturales. En Cambridge había leído la *Natural Theology* de Paley y había quedado impresionado por la afirmación de que la adaptación era una señal del diseño de Dios. De todas formas, el razonamiento de Paley no era válido en un mundo de cambio gradual. Como reconocía el propio Lyell, si la geología está modificando continuamente el entorno al elevar y destruir montañas, las especies debían o bien emigrar en busca de condiciones en las que sobrevivir o bien extinguirse de manera gradual. Lyell seguía convencido de que las especies eran fijas, lo que dejaba en manos de Darwin plantear la posibilidad de que fueran transformadas por un proceso que las adaptara a los cambios en el entorno.

En Sudamérica, Darwin comprobó que las especies competían entre sí para ocupar territorio, lucha cuyo resultado acaso se veía influido por cambios en el entorno. No obstante, las observaciones más decisivas se produjeron cuando el *Beagle* hizo escala en las islas Galápagos, un conjunto de islas volcánicas situadas a ochocientos kilómetros de la costa del Pacífico. Aunque casi pasó por alto el hecho, Darwin tuvo tiempo de reparar en que los animales diferían de una isla a otra. Las

tortugas gigantes de cada isla tenían el caparazón considerablemente distinto, asimismo las aves, sobre todo los sinsontes y los pinzones, eran de una enorme variedad. Los pinzones mostraban un abanico de formas, con picos totalmente diferentes adaptados a diversas maneras de buscar alimento (fig. 6.3). Darwin no advirtió la importancia de la cuestión hasta justo antes de marcharse, pero en el camino de regreso reflexionó sobre sus implicaciones, y cuando el ornitólogo John Gould le explicó que los diversos pinzones han de ser considerados especies diferentes, se enfrentó a un dilema. No podía aceptar que Dios hubiera creado de manera independiente varias especies distintas para que cada una ocupara una de aquellas islas diminutas. Era más

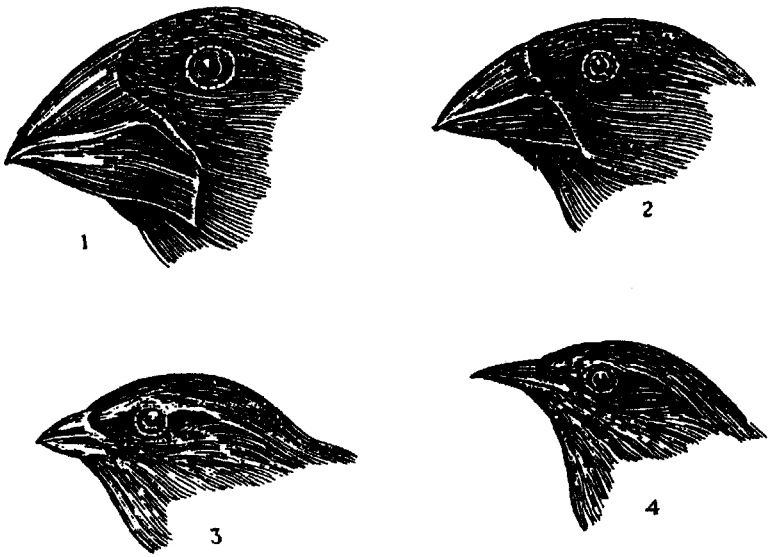


FIGURA 6.3. Cabezas de cuatro pinzones de tierra de las Galápagos, de *El viaje del Beagle* (reimpresión, Londres, 1981), de Darwin, cap. 17. La variación en las estructuras del pico pone de manifiesto la adaptación a diferentes maneras de obtener alimento, como partir semillas o atrapar insectos. Darwin fue informado de que esas formas debían clasificarse como especies distintas, pero estaba convencido de que habían evolucionado a partir de un antepasado común que se había adaptado a diferentes modos de vida en las diversas islas Galápagos.

razonable creer que las pequeñas poblaciones procedentes de Sudamérica habían sido capaces de establecerse en cada isla, donde habían cambiado para adaptarse al nuevo entorno. La transmutación, que denominamos evolución, podía crear no sólo nuevas variedades, sino también nuevas especies; y si podía crear especies, ¿por qué no también —con tiempo suficiente— nuevos géneros, familias e incluso clases?

Insatisfecho con las explicaciones dadas por Lamarck y otros precursores (aunque no negaba un papel limitado para la herencia de rasgos adquiridos), Darwin se propuso descubrir un mecanismo verosímil. Sus ideas estaban constreñidas por el principio lyelliano de que el mecanismo ha de basarse en una combinación de procesos observables. La evolución es esencialmente un proceso adaptativo y no puede predeterminarse, pues el efecto ramificador advertido en las Galápagos daba a entender que cuando una población está dividida por barreras geográficas, cada grupo es capaz de adaptarse a su manera. No existe una escalera automática del progreso —si bien Darwin admitía que, a largo plazo, unas ramas del árbol de la vida habían progresado hasta niveles de organización más elevados que otras—. Evidentemente, muchas ramas han acabado extinguidas mientras otras se han multiplicado mediante subdivisión.

En su búsqueda de pistas, Darwin recurrió a un ámbito en el que se podía observar realmente el cambio en los animales: la producción de variedades artificiales por criadores humanos. La vía de descubrimientos revelada por sus cuadernos de notas (reimpresos como Darwin, 1987) es compleja, pero al final los criadores le enseñaron ciertos principios importantes. Todas las poblaciones exhiben diferencias individuales: ningún organismo es idéntico a otro (igual que ningún ser humano es idéntico a otro). Y en esta variación no parece haber ningún patrón ni propósito obvio (como no parece haber propósito obvio en, por ejemplo, en las diferencias de color en el cabello de los seres humanos). ¿Cómo utilizan los criadores esta variación aleatoria para crear una nueva variedad de perros o palomas? Al final Darwin comprendió que la respuesta era la selección: escogían los pocos individuos que variaban en la dirección deseada y criaban sólo a partir de ellos. El resto lo rechazaban y probablemente lo sacrificaban.

¿Existía un equivalente natural de esa selección artificial, un proceso que eligiera sólo las variantes mejor adaptadas para producir la generación siguiente? Darwin cayó en la cuenta de que podía haber una forma natural de selección cuando leyó el *Ensayo sobre el principio de la población*, del clérigo Thomas Malthus. Esta obra de economía política pretendía desafiar el optimismo de la Ilustración demostrando que el progreso humano era imposible. Todos los esfuerzos de reforma social estaban condenados al fracaso porque la pobreza no era consecuencia de la desigualdad social —sino que era natural porque la capacidad reproductora de cualquier población siempre es superior a las provisiones de alimentos—. Por lo tanto, en cada generación muchos han de morirse de hambre. Y cuando escribía sobre las tribus salvajes de Asia central (no sobre su propia sociedad, curiosamente), Malthus sostenía que debía haber una «lucha por la existencia» para determinar quién viviría y quién moriría. Darwin captó esa idea y reparó en que la variabilidad de la población ofrecería a algunos individuos una ventaja en la lucha. Los mejor adaptados a cualquier cambio en el entorno tendrían mayores probabilidades de sobrevivir y reproducirse, los peor adaptados se morirían de hambre, y el resultado sería que la generación siguiente surgiría mayoritariamente de padres mejor adaptados. Repetido a lo largo de innumerables generaciones, este proceso de selección natural modificaría órganos y hábitos y, al final, produciría especies nuevas. Se suele destacar la influencia de Malthus cuando se afirma que la selección natural refleja los valores del capitalismo de la libre empresa. Caben pocas dudas acerca de que Darwin imaginó efectivamente las especies en términos individuales, como población y no como tipo. Sin embargo, aplicó esta idea de una única manera determinada por sus observaciones científicas —Malthus no había considerado su principio como una fuente de cambio, y sólo después de que Darwin hubiera publicado sus hallazgos empezó la gente a pensar seriamente en la lucha como fuerza impulsora del progreso.

En un ensayo que escribió en 1844 para perfilar su teoría (dispuesto a que se publicara sólo si le sobrevenía la muerte), Darwin describía el efecto como sigue, valiéndose del ejemplo de una población de perros obligados a perseguir presas más rápidas (liebres en vez de conejos):

> Dejemos que la organización de un animal canino se vuelva levemente flexible, un animal que se alimenta principalmente de conejos, pero a veces de liebres; dejemos que estos mismos cambios hagan disminuir muy lentamente el número de conejos y aumentar el de liebres; el efecto será que el perro o el zorro se verán empujados a intentar atrapar más liebres, cuyo número tenderá a reducirse; en cuanto a la organización, no obstante, al ser levemente flexible, los individuos con las formas más ligeras, los miembros más largos y la mejor visión (aunque quizá con menos astucia u olfato) se verán algo favorecidos, aunque la diferencia sea muy pequeña, y tenderán a vivir más tiempo y a sobrevivir durante la época del año en que escasee más la comida; también tendrán más crías, que propenderán a heredar esas pequeñas peculiaridades. Los menos veloces serán implacablemente destruidos. No tengo ningún motivo para dudar de que, en mil generaciones, esas causas originarán un efecto acusado, y adaptarán la forma del zorro para atrapar liebres en vez de conejos, y se podrán mejorar los galgos mediante selección y cría cuidadosa. (Darwin y Wallace, 1958, 120)

Durante los siguientes veinte años, ésta fue la teoría que exploró Darwin en todas sus ramificaciones. Siguió trabajando con criadores de animales. Se carteó con un sinnúmero de naturalistas, a los que sondeó respecto a cuestiones detalladas sin revelar su verdadero propósito. Emprendió un estudio a gran escala sobre los percebes, a la sazón un grupo poco conocido, que le ayudó a entender cómo podía establecerse una correspondencia entre la evolución ramificada y la jerarquía taxonómica. Este estudio también le hizo ver que, en numerosas ramas del árbol de la vida, la evolución adaptativa había dado lugar a parasitismo y degeneración. Quizá inevitablemente, habida cuenta de su origen en el principio de Malthus, no era ésta una teoría de progreso inevitable —mejor adaptado a un entorno determinado no significa «más apto» en un sentido absoluto—. De cualquier modo, al final Darwin sí creyó que se habían producido animales superiores, y en última instancia la propia especie humana. La lucha tendía a poner en marcha la mejora, al menos algunas veces, punto de vista que a la larga se incorporaría al «darwinismo social». No obstante, Darwin procuró no vincular su teoría al modelo lineal de progreso. No había ninguna línea principal de evolución, y las tendencias más adaptativas

no tenían nada que ver con la preponderancia de la vida. Darwin también admitió que la imperfección de los registros fósiles dificultaría la reconstrucción detallada de la evolución, aunque el perfil general de dichos registros encajara en una teoría de la evolución adaptativa, ramificada, en la que cada rama estuviera especializada para un estilo distinto de vida (fig. 6.4).

A mediados de la década de 1850, Darwin había permitido a algunos colegas suyos, como Lyell y los botánicos Joseph Hooker y Asa Gray, conocer los detalles de su teoría y había empezado a escribir. En 1858 le interrumpió la llegada de un artículo escrito en el Lejano Oriente por otro naturalista, Alfred Russel Wallace, en el que se esbozaba una teoría parecida a la suya. Los historiadores han discrepado muchísimo sobre la importancia del descubrimiento de Wallace. Algunos aceptaron la reacción inicial de Darwin de manera superficial y trataron a Wallace como codescubridor de la teoría, dando a entender que los acontecimientos posteriores estaban planeados para privarle de todo crédito a éste. Otros examinaron con mayor atención el artículo de Wallace de 1858 y señalaron que había diferencias significativas que al parecer Darwin había pasado por alto. Wallace no tenía ningún interés en la selección artificial, y es muy posible que su documento tuviera la pretensión de describir una forma de selección natural que interviniera entre variedades de subespecies, no entre los individuos de la misma población (para una perspectiva general, véase Kottler, 1985). Quizá no era ni mucho menos un caso de descubrimientos independientes, sino el de dos naturalistas con parecida, aunque no idéntica, formación que exploraban aspectos diferentes del mismo problema. Al margen de cuáles fueran las diferencias y las semejanzas, Darwin vio suficientes analogías con su propio trabajo para temer la pérdida de la primacía de que había gozado durante veinte años. Lyell y Hooker se encargaron de la publicación de dos fragmentos de los escritos de Darwin junto con el artículo de Wallace (reimpreso en Darwin y Wallace, 1958). Nadie prestó demasiada atención, pero entonces Darwin se apresuró a completar la explicación de su teoría, que se publicó a finales de 1859 con el título de *El origen de las especies*.

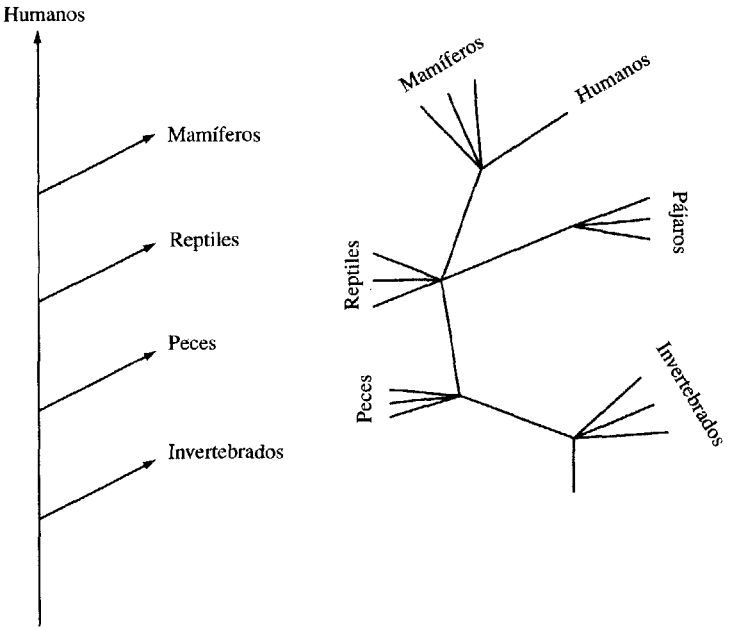


FIGURA 6.4. Diagrama que ilustra la diferencia entre un modelo lineal de evolución (izquierda) y un modelo ramificado (derecha). El modelo lineal considera que la evolución es un avance progresivo a lo largo de una jerarquía lineal hacia la especie humana. Así, las formas «inferiores» de vida aparecen como los peldaños más bajos de una escalera que la vida ha subido para cumplir su objetivo en la humanidad. Este modelo es fácilmente compatible con la teoría de la recapitulación, en la que el embrión humano atraviesa etapas que corresponden a los animales inferiores. En el modelo ramificado se hace hincapié en la adaptación y la divergencia, no en el progreso. Cada clase se divide en un conjunto de adaptaciones diferentes, y las clases posteriores derivan de una rama individual de la clase anterior. Hay que definir el progreso en función de la distancia respecto al antepasado común más simple, pero existen muchas líneas distintas de progreso y ninguna forma viva puede ser tratada como fase en el desarrollo de otra. Este diagrama se centra en los vertebrados, pero obsérvese que, de hecho, los invertebrados forman un conjunto de filos totalmente equivalentes a los vertebrados en cuanto a la diversidad.

Recepción de la teoría de Darwin

El origen... suscitó un renovado debate sobre la evolución. Darwin era un científico eminente, y la selección natural una iniciativa nueva e importante respaldada por abundantes pruebas. El debate adquirió un tinte emotivo porque la teoría parecía acabar con cualquier esperanza de entender la evolución como el despliegue de un plan divino. En esas circunstancias, tanto los científicos como los legos en la materia se vieron obligados a evaluar la teoría en varios niveles: sin duda la valoración de las pruebas estaría influida por sus creencias en el sentido más general. Los debates se enconaron en cuanto a la verosimilitud tanto de la evolución en general como de la selección natural en particular. Darwin disponía de nuevas e importantes líneas de razonamiento, pero también existían razones técnicas contrarias a su teoría. Algunas se centraban en el ámbito de la herencia, donde sus ideas no previeron la genética moderna, con lo que fue vulnerable a argumentos que hoy no resultarían convincentes. En esta situación, había pocas esperanzas de celebrar un debate claro que terminara categóricamente con la aceptación o el rechazo de la nueva teoría. Nadie iba a convertirse sólo mediante explicaciones científicas, y en cierta medida el resultado dependería de la política de la comunidad científica y de la posibilidad de un cambio general en la opinión pública. Al final, tras unos años de incertidumbre se acabó aceptando mayoritariamente la idea general de la evolución, pero la selección natural siguió siendo una cuestión controvertida.

A ciertos científicos radicales más jóvenes, como T. H. Huxley, la teoría de Darwin les ofreció oportunidades inmensas (Desmond [1997]; sobre el debate, véase Hull [1973]). Como profesionales, deseaban desprestigiar la teología natural, que a su juicio supeditaba la ciencia a la religión (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»). Desde luego la teoría de Darwin lo hacía, y, en consecuencia, encajaba en la filosofía que Huxley denominaba «naturalismo científico» —aunque para sus adversarios era algo mejor que el materialismo—. El mundo entero, incluida la mente humana, iba a ser explicado a partir del funcionamiento de la ley natural. Ahí Huxley pudo hacer causa

común con el filósofo Herbert Spencer, que presentaba la evolución como el principio subyacente tanto a la naturaleza como a la sociedad. Spencer dio la bienvenida al individualismo de la teoría de Darwin, pues concordaba con su idea de que el progreso general de la naturaleza derivaba de innumerables acciones de los individuos, en busca cada uno de su propio bienestar. Esto marca el camino de las aplicaciones sociales de la teoría de Darwin (véase cap. 18, «Biología e ideología»), aunque es importante entender que la selección natural no era el único modelo disponible de la evolución. Spencer apoyó la teoría de Lamarck de la herencia de rasgos adquiridos porque se avenía mejor con su ideología de la autosuperación. Huxley no aceptaba la selección natural como único mecanismo de la evolución; prefería pensar que la variación estaba orientada hacia unas cuantas direcciones sistemáticas, no sometida al azar como suponía Darwin.

Incluso dentro de la comunidad científica había muchos que rechazaban la filosofía naturalista, a menudo porque profesaban creencias religiosas profundas. Fuera de la ciencia, los problemas religiosos y morales influyeron en la reacción de muchas personas ante la teoría (véase cap. 15, «Ciencia y religión»). Un estudio realizado por Alvar Ellegard (1958) sobre el tratamiento de la noticia en la prensa popular revela que las publicaciones más conservadoras se resistían a aceptar la evolución: sus autores temían que la teoría socavara tanto la providencia divina como el estatus espiritual del alma humana. La confrontación de Huxley con el persuasivo obispo «Zalamero Sam» Wilberforce en la reunión de 1860 de la Asociación Británica se ha convertido en un símbolo del enfrentamiento entre evolucionismo y religión conservadora, aunque actualmente sabemos que Huxley no tuvo tanto éxito como da a entender el relato popular de ese episodio (véase fig. 15.3, p. 449). A la larga, no obstante, los conservadores aceptaron a regañadientes la idea básica de la evolución. Pero necesitaban ver el proceso como expresión de la voluntad de Dios, por lo que se siguieron mostrando hostiles al modelo de ensayo/error de la selección natural. De todas formas, hubo que esperar a la década de 1920 para que resurgiera una oposición creacionista organizada.

Había argumentos científicos que podían utilizarse, naturalmente. Darwin propició buena parte de los problemas con que se encontraban

con frecuencia los naturalistas a la hora de decidir si una forma determinada era una especie diferenciada o simplemente una variedad de otra. Puso asimismo de manifiesto cómo se podía explicar la distribución geográfica mucho más fácilmente en función de la evolución ramificada que como actos arbitrarios de la Creación. En esto, los botánicos Joseph Hooker y Asa Gray respaldaban a Darwin, al tiempo que A. R. Wallace emprendió un importante estudio sobre la distribución animal del que en 1876 se publicó una notable síntesis. En cualquier caso, cada vez empezó a hacerse más hincapié en una esfera que Darwin habían intentado eludir: la reconstrucción detallada de la historia de la vida de la tierra mediante datos anatómicos y de fósiles. Según Darwin, los restos fósiles eran tan incompletos que resultaba imposible recomponer con detalle la ascendencia de ninguna especie conocida. Pero esto lo dejaba a merced de los críticos que insistían en que, a menos que se hallaran los «eslabones perdidos», la evolución seguiría siendo poco convincente. En la década de 1870, se descubrieron importantes fósiles que parecían acordes con las predicciones de los evolucionistas. En Alemania, los restos del *Archaeopteryx* procuraron pruebas inequívocas de una forma intermedia entre reptiles y aves. De América llegaron fósiles de caballos que revelaban una especialización que desembocaba en el caballo moderno y que para Huxley constituía «una prueba palpable de la evolución» (sobre estos avances, véase Bowler [1996]).

Cuando no había fósiles, algunos entusiastas evolucionistas como el alemán Ernst Haeckel se valieron de pruebas anatómicas y embriológicas para reconstruir las conexiones entre las ramas principales del árbol de la vida. Haeckel era un destacado defensor de la teoría de la recapitulación, que se basaba en la vieja ley del paralelismo al dar por supuesto que el desarrollo del embrión ofrecía un modelo condensado de toda la ascendencia evolutiva del organismo. Él y sus partidarios (Huxley se incluía a sí mismo en el grupo) propusieron genealogías hipotéticas para explicar el origen de todas las clases de vertebrados, e incluso de los vertebrados mismos. Michael Ruse (1996) rechazó este movimiento y lo calificó de ciencia inferior basada en un entusiasmo excesivo por la idea de evolución progresiva. Desde luego es verdad que esos evolucionistas ignoraban algunas de las más impor-

tantes lecciones que habrían podido aprender de Darwin. Al utilizar el embrión como modelo de la evolución, subrayaban el desarrollo progresivo de la vida de tal modo que la especie humana aparecía como su objetivo deseado. La versión de Haeckel del árbol de la vida tenía un tronco principal que conducía hasta los seres humanos, de modo que todo lo demás quedaba desechado en forma de ramas secundarias —un modelo lineal que recuerda la vieja cadena del ser (fig. 6.5)—; no estaba muy interesado en explorar las presiones adaptativas que tal vez ocasionaron los cambios que postulaba. También es verdad que ese proyecto de crear una morfología evolutiva (la ciencia de las formas animales) se vio paralizado al surgir hipótesis contrarias, siendo bastante improbable que los datos fósiles determinaran cuál era la correcta (véase cap. 7, «La nueva biología»). Sin embargo, rechazar toda la generación de la biología evolutiva calificándola de pérdida de tiempo significa no entender que en su momento se percibía como la aplicación más apasionante de la teoría. Por supuesto confirma que la evolución fue bien recibida porque parecía respaldar la idea de progreso, si bien los debates suscitados plantearon cuestiones fundamentales que se están resolviendo sólo a medida que las técnicas de la biología molecular (por no hablar de la abundancia de descubrimientos fósiles recientes) van influyendo en ellas.

Haeckel se llamaba a sí mismo darwiniano, pero combinaba la teoría de la selección con una dosis generosa de «herencia del uso» lamarckiana y un compromiso con la idea de progreso que debía mucho a la *naturphilosophie* de la generación anterior. De hecho, la teoría de la selección había recibido numerosas críticas de muchos científicos a quienes resultaba difícil creer que un proceso basado en la variación aleatoria pudiera llegar a tener un resultado buscado de antemano (Gayon, 1998; Vorzimmer, 1970). Richard Owen aceptó la evolución, pero insistió en que su curso estaba predeterminado por un plan divino (Rupke, 1993). En *Genesis of Species* [Génesis de las especies] (1871), el anatomista St. George Jackson Mivart explicaba resumidamente numerosas objeciones, algunas de las cuales aún son utilizadas por los creacionistas modernos. ¿Cómo, se preguntaba, puede la selección natural forzar una transición a través de la fase intermedia en que una estructura ha perdido su vieja función pero aún no es efectiva

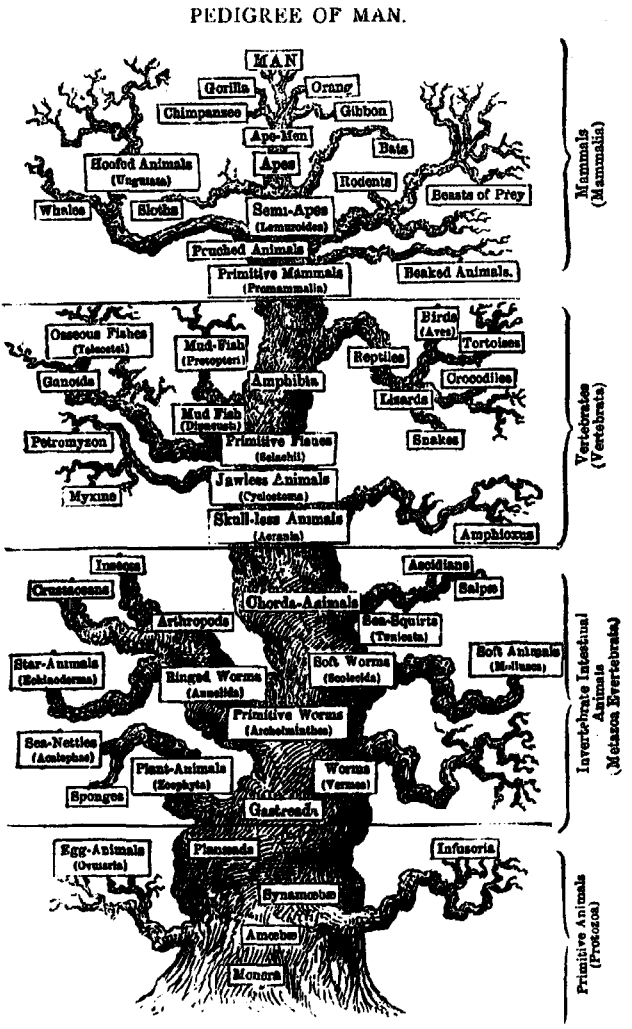


FIGURA 6.5. El árbol de la vida de *History of Creation* (Nueva York, 1876), vol. 2, frente a p. 188, de Ernst Haeckel. Obsérvese cómo Haeckel combina los modelos lineal y ramificado de la evolución (fig. 6.3) proporcionando deliberadamente a su árbol un tronco principal con la humanidad en lo alto. De este modo conserva algo del énfasis que puso Darwin en la divergencia y la adaptación, aunque lo superpone a una ascensión lineal al considerar a todas las criaturas que no están en la «línea principal» como ramas secundarias que inician su proceso de estancamiento.

en la nueva, por ejemplo, cuando un miembro ya no funciona como pata pero todavía no es un ala propiamente dicha? Algunos naturalistas compartían la idea de Mivart de que muchas estructuras no cumplen una función adaptativa en absoluto, lo que indicaba la existencia de tendencias determinadas de antemano no controladas por la selección natural. También estaba el problema del tiempo geológico (véase cap. 5, «La edad de la tierra»), que a finales de la década de 1860, William Thomson lo estaba limitando a un punto en que, a juicio de muchos, la selección natural sería demasiado lenta para haber producido el ascenso de la vida hasta los seres humanos.

Igual de seria era una objeción planteada por el ingeniero Fleeming Jenkin basada en el modelo de Darwin sobre la herencia y la variación. Como la mayoría de sus contemporáneos, Darwin no tenía ni idea de las unidades genéticas diferenciadas que postularía Gregor Mendel —creía que los hijos simplemente combinaban diferencias entre los padres (aunque es evidente que esto no es verdad en lo referente al sexo)—. Según Jenkin, si aparecía un nuevo rasgo beneficioso en un único individuo favorecido, los descendientes tendrían sólo la mitad de la ventaja, la generación siguiente sólo una cuarta parte, etcétera. En el espacio de unas cuantas generaciones, el nuevo rasgo beneficioso se habría diluido hasta la insignificancia y la selección ya no podría actuar sobre él. Darwin no tenía una verdadera respuesta para eso; fue Wallace quien señaló que los rasgos favorables no aparecen en individuos únicos. Si pensamos en la población de las jirafas ancestrales cuando empezaron a alimentarse de los árboles, podemos imaginar un abanico de diferencias en cuanto a la longitud del cuello, con cifras significativas en ambos extremos. No habrían escaseado los individuos con el cuello más largo de lo normal que sacaran provecho de la acción de la selección.

En la década de 1880, Wallace era uno de los relativamente pocos biólogos que aún defendía la teoría darwiniana de la selección. La teoría en sí misma era segura, pero el darwinismo estaba siendo cada vez más atacado por los críticos que buscaban una alternativa. Era el período que más adelante Julian Huxley denominaría «eclipse del darwinismo» (Bowler, 1983*a*). Basándose en el trabajo de Mivart, muchos sostenían que la evolución funcionaba gracias a tendencias no

adaptativas incorporadas de algún modo a la naturaleza de la propia vida. Para los que aceptaban que la adaptación cumplía una función, la teoría lamarckiana era una alternativa más que un complemento del darwinismo. En América hubo un fuerte movimiento neolamarckiano encabezado por paleontólogos, como Edward Drinker Cope, quienes estaban seguros de que las tendencias casi lineales observadas en los restos fósiles sólo podían derivar de algún agente director, en este caso el nuevo hábito que empujaba a las especies hacia una estructura más especializada. Contemplada desde la perspectiva de finales del siglo XIX, la teoría de Darwin era un vestigio del pasado que había desempeñado sólo un papel efímero en el proceso de lograr que, en la década de 1860, los científicos reconsideraran la cuestión de la evolución.

Orígenes humanos

En *El origen de las especies* Darwin había evitado hablar de la raza humana, pues sabía que era un asunto especialmente delicado. De todas formas, ya habían comenzado las controversias sobre el grado de parentesco entre los seres humanos y los simios, y la cuestión se había convertido en un campo de batalla mucho antes de que en 1871 Darwin entrara en la refriega con *El origen del hombre*. Los pensadores religiosos mostraban su consternación ante una teoría que nos relacionaba con los animales y, por tanto, afectaba implícitamente a la credibilidad del alma inmortal: según la tradición, sólo los seres humanos estaban dotados de facultades mentales y morales superiores, por lo que, al sugerir que éramos únicamente animales mejorados, el evolucionismo amenazaba nuestro estatus exclusivo y podía incluso debilitar la estructura del orden social. Sin embargo, en el naturalismo científico apoyado por Darwin y Huxley era importante poner de manifiesto que en el mundo no había agentes sobrenaturales, por lo que incluso la mente humana resultaba de la actividad del cerebro, que a su vez había sido conformado por la evolución.

La propuesta de un linaje evolutivo para la humanidad recibió un fuerte impulso gracias a una revolución arqueológica que tuvo lugar a principios de la década de 1860. *Antiquity of Man* [La antigüedad

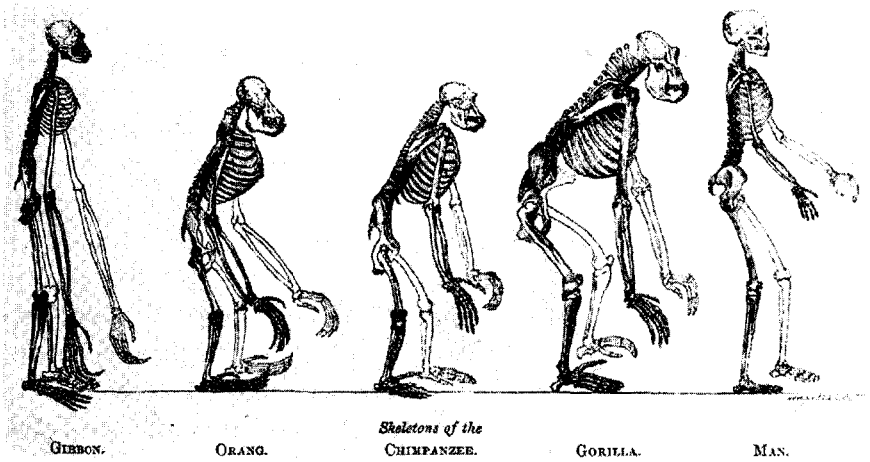


FIGURA 6.6. Comparación de los esqueletos de un ser humano (derecha) con los de un gorila, un chimpancé, un orangután y un gibón (al que a efectos prácticos, se ha doblado en tamaño), como aparece en el frontispicio de *Man's Place in Nature* (Londres, 1863) de T. H. Huxley. Éste afirmaba que el grado de semejanza implicaba que los seres humanos debieran ser clasificados como primates y, en consecuencia, tuvieran que compartir con los simios un antepasado común.

del hombre] (1863) de Lyell presentó pruebas de que en la tierra habían existido seres humanos de la Edad de Piedra durante decenas de miles de años antes de que surgiera la civilización. Sin embargo, el propio Lyell no aceptaba un vínculo evolutivo entre esos humanos primitivos y los simios. Aún no existían testimonios fósiles convincentes del eslabón perdido entre unos y otros, así que quienes quisieran abogar por una conexión evolutiva debían hacer hincapié en las semejanzas anatómicas entre los seres humanos y los grandes simios vivos. Huxley ya se había enzarzado en un debate con Richard Owen sobre el grado de similitud entre el cerebro humano y el de los simios. En 1863, en su *Man's Place in Nature* [El lugar del hombre en la naturaleza] (fig. 6.6) compendió sus argumentos a favor de un vínculo estrecho. Pero lo decisivo fue la comparación mental, no la física, y filósofos como Herbert Spencer comenzaron a crear una psicología

evolutiva gracias a la cual esperaban explicar cómo se habían añadido las facultades mentales superiores en el curso de la evolución (Richards, 1987).

El origen del hombre supuso la aportación de Darwin a esta iniciativa. Quería demostrar que el aparente abismo entre la mentalidad humana y la animal no era tan grande como se suponía (fig. 6.7). Al igual que muchos de sus contemporáneos, cada vez se mostró más inclinado a tratar las razas modernas que los victorianos consideraban «salvajes» como vestigios vivientes de etapas tempranas de la ascensión desde el simio ancestral; es decir, éstos equivalían a los antepasados de los europeos de la Edad de Piedra, pero con la particularidad de que sobrevivían en el presente y de hecho nos mostraban cómo pudo haber sido el «eslabón perdido» (véase cap. 18, «Biología e ideología»). Darwin también exageró las capacidades mentales de los animales: aún no había estudios científicos sobre la conducta animal, por lo que se valió de anécdotas de viajeros y guardianes de zoológicos que a menudo exponían interpretaciones antropomórficas de las acciones de los animales. Para Darwin, la conciencia humana era simplemente una expresión de los instintos sociales que la evolución había proporcionado a nuestros antepasados. Lejos de generar instintos de puro egoísmo, la selección natural (combinada con la herencia lamarckiana de hábitos aprendidos) podía favorecer instintos sociales en especies que normalmente vivían en grupos. Nuestros valores morales eran sólo racionalizaciones de instintos grabados en nuestros ascendientes simios.

Darwin comprendió que era importante explicar por qué los seres humanos alcanzaban un nivel de capacidades mentales superior al de sus parientes simios. Sugirió que quizá nuestros antepasados se pusieron de pie al abandonar los bosques y trasladarse a las llanuras del África central. Esto les dejó las manos libres para fabricar herramientas y, por tanto, favoreció la adquisición de más inteligencia. La mayoría de los psicólogos evolutivos del siglo XIX se limitaban a presuponer que la evolución añadía nuevas fases de actividad mental. En consecuencia, su trabajo amplió el modelo de desarrollo de la evolución defendido por Haeckel en el ámbito de la biología. El principal discípulo de Darwin en esa área, George John Romanes, escribió una

FIGURA 6.7. Caricatura de Darwin aparecida en 1881 en la revista *Punch*. La leyenda se refiere a la teoría darwiniana de que los seres humanos descienden de un «cuadrúpedo peludo», pero la imagen lo relaciona con un animal incluso inferior, la lombriz, tema del último libro de Darwin. Éste se sentía fascinado por la capacidad de los gusanos para regenerar el suelo e incluso transformar el paisaje en el curso de largos períodos de tiempo: Darwin seguía sintiéndose muy atraído por los mil y un detalles de la historia natural aunque estuviera ocupándose de la más general de las cuestiones teóricas.

serie de libros sobre las capacidades mentales de los animales y los seres humanos en los que trató de reconstruir la secuencia exacta en que se sumaron las nuevas facultades. Utilizó la teoría de la recapitulación para representar el desarrollo mental del niño humano como modelo de la evolución completa de la vida animal. Aunque a finales del siglo XIX los descubrimientos de fósiles pondrían en entredicho ese modelo lineal de la evolución (véase Bowler, 1986), éste influyó muchísimo en las ideas de dicho período. Finalmente lo puso patas arriba Sigmund Freud, que reconoció que a la mente racional quizá a menudo le resulte imposible controlar los instintos animales ocultos en el inconsciente (Sulloway, 1979).

El resurgimiento de Darwin

En las décadas próximas a 1900, la mayoría de los biólogos seguían siendo evolucionistas aunque creían que el darwinismo había muerto. De cualquier modo, nuevos avances en las ciencias de la vida cuestionaron los cimientos sobre los que se había levantado el evolucionismo de finales del siglo XIX. Para elevar su estatus de científicos profesionales, muchos biólogos recurrieron al trabajo experimental y empezaron a mirar por encima del hombro a los paleontólogos y anatomistas comparados que habían intentado reconstruir el ascenso de la vida en la tierra. Una consecuencia de este hecho fue un programa de investigación sobre la herencia y la variación que conduciría a la fundación de la genética moderna (véase cap. 8, «Genética»). Los genetistas rechazaban el efecto lamarckiano y las tendencias del desarrollo que habían sustentado la teoría de la recapitulación. Poco a poco fueron minando el apoyo al neolamarckismo, lo que, visto en retrospectiva, allanó el camino para que resurgiera la teoría darwiniana de la selección. Pero los primeros genetistas detestaban el darwinismo y el lamarckismo por igual. Creían que mutaciones genéticas importantes creaban especies nuevas sin necesidad de selección alguna. La fase final de la revolución darwiniana surgió de un complejo proceso de reconciliación en virtud del cual los genetistas se convencieron de que la selección era verdaderamente necesaria para explicar la acumulación

de genes favorables en una población. Resultó que después de todo, pese a que una generación de biólogos había vuelto la espalda a su teoría, Darwin tenía razón.

Los primeros pasos los dieron biólogos que acabaron convencidos de que la herencia determina estrictamente el carácter del organismo. Los efectos ambientales no pueden hacer nada para alterar las características que el niño hereda de sus padres. En Alemania, August Weismann daba por supuesto que el responsable de transmitir los rasgos de una generación a la siguiente era el «plasma de gérmenes». Afirmaba que éste estaba aislado del resto del cuerpo, con lo que el efecto lamarckiano era imposible. Weismann hacía hincapié en que la selección natural era la única manera en que la transmisión de rasgos *podía verse afectada por el entorno*. En Gran Bretaña, el estadístico Karl Pearson adoptó ideas similares e intentó detectar el efecto de la selección en la variación de poblaciones salvajes (fig. 6.8). Sus opiniones eran polémicas, y su respaldo a la teoría de la selección generó antagonismos que lo alejarían de los fundadores de la genética. Para él, la evolución era un proceso lento y gradual como suponía Darwin —si bien eso era precisamente lo que ponían en entredicho los biólogos que crearían la genética mendeliana.

La alternativa que exploraban varios de los biólogos implicados en el «redescubrimiento» de las largamente desatendidas leyes de la herencia de Gregor Mendel era la teoría de la evolución por saltos repentinos (Bowler, 1989). William Bateson, que posteriormente acuñó el término «genética» e hizo la primera traducción inglesa del artículo de Mendel, rechazó abiertamente el darwinismo durante la década de 1890. Según él, los estudios sobre variación en las especies revelaban que las distintas variedades habían tenido su origen en saltos repentinos, no en ningún cambio adaptativo gradual. El botánico holandés Hugo de Vries, uno de los primeros biólogos que mostró interés por el artículo de Mendel, propuso su «teoría de las mutaciones» basada en la aparición aparentemente súbita de nuevos tipos en la prímula de noche, *Oenothera lamarckiana*. Thomas Hunt Morgan, quien finalmente estableció el verdadero carácter de las mutaciones, comenzó siendo partidario de la teoría de De Vries y un declarado adversario del darwinismo. Lo que atrajo a todos esos biólogos hacia el mo-

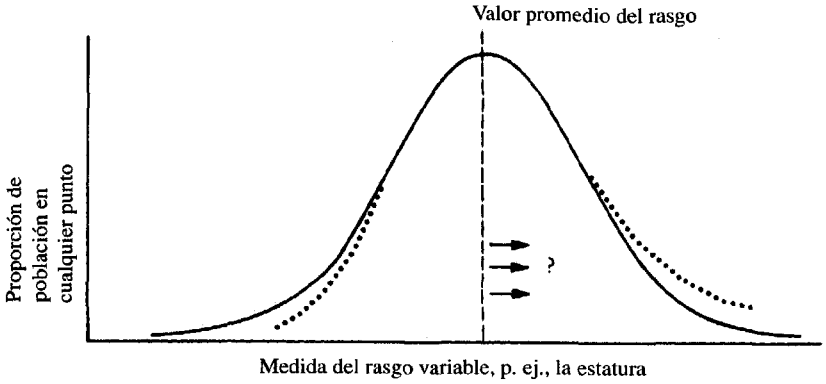


FIGURA 6.8. Diagrama que ilustra la distribución de un rasgo constantemente variable en una población y el efecto de la selección en dicha distribución. La *línea continua* es la curva «normal» en forma de campana que se obtendría, por ejemplo, para la variación en estatura en el seno de una población humana. La proporción de la población que ocupa cualquier punto de la escala (eje vertical) se representa gráficamente con respecto a la medida del rasgo (eje horizontal). La proporción máxima se agrupa en torno al valor promedio, con proporciones menores disminuyendo en cada extremo —la mayoría de las personas tienen aproximadamente la misma estatura media, y son una minoría las personas o muy altas o muy bajas—. Biométricos como Karl Pearson y W. F. R. Weldon midieron la variación de diferentes rasgos en poblaciones salvajes de cangrejos y caracoles y obtuvieron curvas como ésta. Pero en calidad de darwinistas, luego tenían que demostrar que, si la población estaba sometida a la selección, habría un cambio permanente en la distribución. Si en un determinado entorno los individuos más altos resultaban favorecidos y los más bajos tenían la desventaja correspondiente, esto generaría en la siguiente generación más individuos altos y menos bajos, tal como indican las *líneas de puntos*. Pero ¿el efecto de eso sería cambiar el valor promedio del conjunto de la población en la dirección favorecida indicada por las flechas? Al parecer, la medida ponía de manifiesto que se producía un efecto así, pero demasiado pequeño para convencer a muchos biólogos antidarwinianos.

delo de la herencia observado en las leyes de Mendel fue su preferencia por la idea de que se crean rasgos nuevos como unidades diferenciadas. Les parecía lógico aceptar una teoría en las que todos los rasgos hereditarios se consideran unidades específicas fijas transmitidas de una generación a la siguiente. El hecho de que Mendel ya hubiera descifrado las leyes que regulan la transmisión de esas unidades —que pronto recibieron el nombre de genes— fue saludado como una extraordinaria anticipación de las últimas ideas cuando De Vries y otros se encontraron con el trabajo de aquél en 1900, más de treinta años después de su publicación.

Como es lógico, los primeros mendelianos consideraban su teoría como una nueva alternativa al darwinismo, mientras Pearson rechazaba el modelo de la herencia de los genetistas calificándolo de incompatible con la escala continua de variación que estudió en muchas poblaciones salvajes. Los biólogos que repararon en que cada bando había estado analizando sólo un aspecto del problema tardaron veinte años en construir un puente entre las dos posturas. Entretanto, estudios de Morgan sobre mutaciones genéticas verdaderas revelaron que los saltos repentinos a gran escala de De Vries no reflejaban el modo como normalmente se producen los nuevos rasgos genéticos (de hecho, la prímula de noche es un híbrido, y las formas «nuevas» observadas por De Vries no eran auténticas mutaciones). Por lo general, los genes transmiten su rasgo sin cambiar de una generación a la siguiente, pero Morgan y su equipo pusieron de manifiesto que de vez en cuando algo altera el gen de tal modo que codifica un rasgo distinto. Las mutaciones grandes son perjudiciales y a menudo fatales, pero existen muchas de menor importancia que son transmitidas a las generaciones futuras a medida que sus portadores se reproducen tras mezclarse con otros miembros de la población. Hacia 1920, Morgan se había dado cuenta de que las mutaciones mantienen una provisión de variación genética en el seno de las especies, e incluso comenzó a admitir que un efecto similar a la selección natural determinaría qué mutaciones se difundirán entre la población. Si un gen mutado corresponde a un rasgo que es beneficioso en un entorno nuevo, los organismos que lo lleven se reproducirán más fácilmente y la siguiente generación contendrá más organismos con ese gen. A la inversa, un gen que confiera un rasgo noci-

vo será eliminado de forma gradual. Así pues, las mutaciones procuran la fuente primordial de la variación aleatoria defendida por Darwin.

También se cayó en la cuenta de que, como muchos rasgos pueden recibir la influencia de más de un gen, el modelo genético de variación no es incompatible con la escala continua de variación observada por darwinistas como Pearson. Surgió una nueva ciencia, la genética de poblaciones, para estudiar cómo mantienen los genes la variabilidad de las poblaciones y cómo la selección natural puede alterar la escala de variación (Provine, 1971). En Gran Bretaña, Ronald Aylmer Fisher publicó en 1930 *Genetical Theory of Natural Selection* [Teoría genética de la selección natural], donde afirmaba que toda la evolución tiene lugar a través de la acción lenta de la selección en poblaciones grandes. J. B. S. Haldane también hizo aportaciones a la teoría, pero se dio cuenta de que el proceso podía funcionar mucho más rápidamente de lo que Fisher suponía cuando los genes conferían ventajas adaptativas importantes. En América, Sewall Wright utilizó un modelo diferente derivado de la selección artificial para poner de relieve que la selección natural funciona mejor cuando la especie se divide en pequeñas subpoblaciones que sólo se cruzan muy de vez en cuando. Cuando en 1937, en *Genética y el origen de las especies*, de Theodosius Dobzhansky, se tradujeron las fórmulas matemáticas de Wright a términos que los naturalistas de campo pudieran entender, se abrió la vía para la aparición final del darwinismo como modelo dominante de la evolución.

Entonces naturalistas de campo como Ernst Mayr empezaron a contribuir al nuevo darwinismo; de hecho, desde aquel momento Mayr ha mantenido que él y sus colegas ya estaban acercándose a un modelo más selectivo antes de conocer la teoría genética (véase Mayr y Provine, 1980). En 1942, el naturalista británico Julian Huxley, nieto de Thomas Henry, publicó *Evolution: The Modern Synthesis* [Evolución: la síntesis moderna], y desde entonces la teoría se ha conocido como síntesis moderna o evolutiva. Las personas interesadas, así como una generación posterior de historiadores, discutían y aún discuten sobre qué se sintetizaba exactamente para elaborar la teoría. ¿Era una síntesis teórica que reunía la selección y la genética, o una reconciliación entre ámbitos antes hostiles de investigaciones biológicas que fue posible gracias a la eliminación de ideas rivales no darwinianas? ¿Por

qué la síntesis era más visible en las comunidades científicas angloamericanas que en ninguna otra parte? (¿Refleja esto el que incluso la genética se desarrollara de un modo menos determinista en Francia y Alemania que en Gran Bretaña y América?) Estas discusiones proseguirán, sin duda, alimentadas en parte por el hecho de que la síntesis ha tenido el notable éxito de mantener unido el evolucionismo desde entonces.

Conclusiones

La otrora popular noción de una revolución darwiniana tras la publicación de *El origen de las especies* ya no tiene fundamento. Los historiadores han revelado que los desafíos a la idea de la Creación divina empezaron mucho antes de que el libro de Darwin viera la luz y que incluso el concepto de un universo diseñado podía perfeccionarse para así dar cabida a la idea de desarrollo a través del tiempo. La noción básica de la evolución se debatió mucho tras la publicación de los *Vestiges...*, y se entendió que la teoría de Darwin era en parte una contribución a la visión del progreso de Chambers. La más materialista teoría de Darwin ofrecía nuevas oportunidades a los científicos, en especial a los dispuestos a secundar el naturalismo científico de Huxley, pero al final, para hacerse realidad, las repercusiones más radicales de la teoría de la selección tuvieron que esperar al siglo XX. La revolución darwiniana original resultó ser sólo una transición a una interpretación evolutiva de una cosmovisión ya existente basada en la fe en el progreso como producto de la divina providencia o de las leyes de la naturaleza. Para los biólogos modernos, lo más original de la obra de Darwin sólo sirvió para impactar a sus lectores y lograr así que aceptaran la idea general de evolución —al final no pudieron tomarse en serio la selección natural—. Hizo falta una segunda revolución asociada a la aparición de la genética mendeliana para acabar con la idea evolutiva del desarrollo que había trastocado las propuestas de Darwin y completar la transición al darwinismo moderno.

Naturalmente, en algunos aspectos la revolución todavía no ha terminado. Los partidarios de la síntesis moderna no disimulaban las di-

ficultades que causó su teoría a las creencias tradicionales, y en respuesta hubo un resurgimiento de la oposición fundamentalista que se había articulado por primera vez en la década de 1920. Un gran número de creyentes, sobre todo en América, se limitan a rechazar la teoría de plano y aún recurren a la Creación divina. Si la revolución darwiniana en la ciencia está concluida, a la revolución en las actitudes de la gente todavía le queda un largo camino por recorrer.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Appel, Toby A., *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades before Darwin*, Oxford University Press, Oxford, 1987.

Barzun, Jacques, *Darwin, Marx, Wagner: Critique of a Heritage*, Doubleday, Garden City, NY, 1958[2].

Bowler, Peter J., *The Eclipse of Darwinism. Anti-Darwinian Evolution Theories in the Decades around 1900*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1983a.

—, *Evolution: The History of an Idea*, University of California Press, Berkeley, 1983b[3] (2003).

—, *Theories of Human Evolution: A Century of Debate, 1844-1944*, Johns Hopkins University Press, Baltimore; Basil Blackwell, Oxford; 1986.

—, *The Non-Darwinian Revolution: Reinterpreting a Historial Myth*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1988.

—, *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*, Athlone, Londres; Johns Hopkins University Press, Baltimore; 1989.

—, *Charles Darwin: The Man and His Influence*, Basil Blackwell, Oxford, 1990; reedición de Cambridge University Press, Cambridge, 1996 (hay trad. cast.: *El hombre y su influencia*, Alianza Editorial, Madrid, 1995).

—, *Life's Splendid Drama: Evolutionary Biology and the Reconstruction of Life's Ancestry, 1860-1940*, University of Chicago Press, Chicago, 1996.

Browne, Janet, *Charles Darwin: Voyaging*, Jonanthan Cape, Londres, 1995.

Burkhardt, Richard, W., Jr., *The Spirit of System: Lamarck and Evolutionary Biology*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1977.

Darwin, Charles, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection; or The Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*, facsímil de

la 1ª ed. con introducción de Ernst Mayr, 1859; reed. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964 (hay trad. cast.: *El origen de las especies*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1997).

—, *The Correspondence of Charles Darwin*, Frederick Burkhardt y Sydney Smith, eds. Cambridge University Press, Cambridge, 1984—, 12 vols.

—, *Charles Darwin's Notebooks, 1836-1844*, Paul Barret *et al.*, eds. Cambridge University Press, Cambridge, 1987.

Darwin, Charles y Alfred Russel Wallace, *Evolution by Natural Selection*, Cambridge University Press, Cambridge, 1958 (hay trad. cast.: *Teoría de la evolución*, Península, Barcelona, 2001).

De Beer, Gavin, *Charles Darwin: Evolution by Natural Selection*, Nelson, Londres, 1963.

Desmond, Adrian, *The Politics of Evolution: Morphology, Medicine and Reform in Radical London*, University of Chicago Press, Chicago, 1989.

—, *Huxley: The Devil's Disciple*, Michael Joseph, Londres, 1994.

—, *Huxley: Evolution's High Priest*, Michael Joseph, Londres, 1997.

Desmond, Adrian y James R. Moore, *Darwin*, Michael Joseph, Londres, 1991.

Di Gregorio, Mario A., *T. H. Huxley's Place in Natural Science*, Yale University Press, New Haven, CT, 1984.

Eiseley, Loren, *Darwin's Century: Evolution and the Men Who Discovered It*, Doubleday, Nueva York, 1958.

Ellegård, Alvar, *Darwin and the General Reader: The Reception of Darwin's Theory of Evolution in the British Periodical Press, 1859-1871*, Acta Universitatis Gothenburgensis, Gotemburgo, 1958; reedición de University of Chicago Press, Chicago, 1990.

Farber, Paul Lawrence, *Finding Order in Nature: The Naturalist Tradition from Linnaeus to E.O. Wilson*, Johns Hopkins University, Baltimore, 2000.

Gayon, Jean, *Darwinism's Struggle for Survival and the Hypothesis of Natural Selection*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Ghiselin, Michael T., *The Triumph of the Darwinian Method*, University of California Press, Berkeley, 1969.

Gillispie, Charles C., *Genesis and Geology: A Study in the Relations of Scientific Thought, Natural Theology, and Social Opinion in Great Britain, 1790-1850*, 1951; reedición de Harper & Row, Nueva York, 1959.

Glass, Bentley, Owsei Temkin y William Straus, Jr. (eds.), *Forerunners of Darwin: 1745-1859*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1959.

Greene, John C., *The Death of Adam: Evolution and Its Impact on Western Thought*, Iowa State University Press, Ames, 1959.

Himmelfarb, Gertrude, *Darwin and the Darwinian Revolution*, Norton, Nueva York, 1959.

Hull, David L. (ed.), *Darwin and His Critics: The Reception of Darwin's Theory of Evolution by the Scientific Community*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1973.

Jordanova, Ludmilla, *Lamarck*, Oxford University Press, Oxford, 1984.

Kohn, David (ed.), *The Darwinian Heritage*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1985.

Kottler, Malcolm Jay, «Charles Darwin and Alfred Russel Wallace: Two Decades of Debate over Natural Selection», en *The Darwinian Heritage*, editado por David Kohn, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1985, pp. 367-432.

Lovejoy, Arthur O., *The Great Chain of Being: A Study in the History of an Idea*, 1936; reedición de Harper, Nueva York, 1960 (hay trad. cast.: *La gran cadena del ser*, Icaria, Barcelona, 1983).

Lurie, Edward, *Louis Agassiz: A Life in Science*, University of Chicago Press, Chicago, 1960.

Mayr, Ernst, *The Growth of Biological Truth: Diversity, Evolution and Inheritance*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1982.

Mayr, Ernst y William B. Provine (eds.), *The Evolutionary Synthesis: Perspectives on the Unification of Biology*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1980.

Provine, William B., *The Origins of Theoretical Population Genetics*, University of Chicago Press, Chicago, 1971.

Richards, Robert J., *Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.

Roger, Jacques, *Buffon: A Life in Natural History*, traducido por Lucille Bonnefoi, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1997.

—, *The Life Sciences in Eighteenth-Century French Thought*, traducido por Robert Ellich, Stanford University Press, Stanford, CA, 1998.

Rupke, Nicolaas A., *Richard Owen: Victorian Naturalist*, Yale University Press, New Haven, CT, 1993.

Ruse, Michael, *The Darwinian Revolution: Science Red in Tooth and Claw*, University of Chicago Press, Chicago, 1979, 1999[2].

—, *Monad to Man: The Concept of Progress in Evolutionary Biology*, Harvard University Press, Cambridge, MA.

Secord, James A., *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception and Secret Authorship of «Vestiges of the Natural History of Creation»*, University of Chicago Press, Chicago, 2000.

Sulloway, Frank, *Freud: Biologist of the Mind*, Burnett Books, Londres.
Vorzimmer, Peter J., *Charles Darwin: The Years of Controversy: The «Origin of Species» and Its Critics, 1859-1882*, Temple University Press, Filadelfia, 1970.
Young, Robert M., *Darwin's Metaphor: Nature's Place in Victorian Culture*, Cambridge University Press, Cambridge.

— 7 —

La nueva biología

Las ciencias biológicas comenzaron a adoptar su forma actual en el siglo XIX, y de hecho el uso generalizado del término «biología» empezó durante ese período (Coleman, 1971). Antes, se habían estudiado las ciencias de la vida a través de la historia natural y de la práctica médica en anatomía y fisiología (aunque las dos áreas estaban conectadas, por ejemplo, por el interés en ciertas plantas para obtener fármacos). No obstante, en el siglo XIX se llevó a cabo un decidido esfuerzo para transformar el estudio de los seres vivos en una ciencia que se pusiera al mismo nivel que las ciencias físicas. Ya no bastaba con coleccionar y clasificar la diversidad de especies del país y de todo el mundo. Los biólogos querían conocer la detallada estructura interna de las diferentes formas de vida, y estaban cada vez más interesados en cómo se habían creado esas estructuras, tanto en el embrión individual como en la evolución de la vida en la tierra. La historia natural fue sustituida por la embriología y la anatomía comparada, a veces unificadas como «morfología» (estudio de la forma y la estructura), ciencia que nació en el laboratorio o la sala de disecciones, donde se servía de microscopios y técnicas analíticas cada vez más complejas. En el proceso para crear una comunidad académica profesional dedicada a las ciencias de la vida, la vieja tradición de estudio de campo se vio marginada.

Ciertos estudios pormenorizados sobre la estructura de tejidos vivos iniciaron una importante transformación de las ideas de los biólo-

gos sobre la naturaleza de la vida al inaugurar el camino hacia la teoría de la célula. La idea de que todas las estructuras vivas se componen de células, especializadas en funciones concretas, abriría nuevas vías para el estudio de cómo obraban esas funciones en el plano químico. También cambiaría totalmente el estudio de la reproducción al revelar el modo en que el óvulo y el espermatozoide se unían para formar la base del embrión en desarrollo. No obstante, el modelo que siguieron por todas esas ciencias derivaba de la fisiología experimental en un grado creciente. Los médicos siempre habían tenido conocimientos de anatomía (estudio de la estructura del cuerpo) y habían manejado teorías sobre cómo funcionaban las distintas partes del cuerpo, estudio que, a lo largo del siglo XVIII, empezó a conocerse como «fisiología». Pero en el siglo XIX, la aplicación de métodos experimentales transformó la fisiología, lo que brindó un marco teórico completamente nuevo para entender el funcionamiento del cuerpo. Aún se esperaba que ese estudio fuera de utilidad en medicina, pues cuanto más se supiera sobre funciones normales, mejor se podría comprender por qué las cosas se estropeaban. Sin embargo, si los primeros fisiólogos habían trabajado en el marco de la educación médica, ahora el tema era una disciplina científica independiente, que tenía su sede en los departamentos científicos universitarios así como en las facultades de medicina (para un estudio anticuado, pero detallado en cuanto a los hechos, sobre muchos de los biólogos mencionados antes, véase Nordenskiöld [1946]).

Por lo general, esta transformación está ligada a la aplicación de métodos experimentales en las ciencias de la vida, entre ellos la vivisección: una serie de actuaciones llevadas a cabo en el cuerpo de animales vivos con fines científicos. En la medicina antigua se habían realizado algunos experimentos, y William Harvey había basado su teoría sobre la circulación de la sangre parcialmente en demostraciones con animales vivos. Pero en el siglo XIX, la vivisección se convirtió en el proceso normal para entender el funcionamiento del cuerpo. Si el anatomista utilizaba cadáveres para estudiar estructuras, la función sólo podía investigarse alterando de una manera controlada los procesos en marcha en el organismo vivo. Aunque se plantearon problemas morales que tuvieron un efecto considerable en el desarrollo

de la ciencia, los fisiólogos insistían en que causar un sufrimiento limitado a los animales era esencial para lograr el mayor provecho de comprender y acaso curar enfermedades humanas.

Así, el laboratorio pasaba a ser el lugar principal para llevar a cabo la fisiología científica, con la morfología conectada lo más estrechamente posible a ese nuevo modelo. La mayoría de los primeros avances en esa dirección se produjeron en Francia y Alemania. Cuando Thomas Henry Huxley y sus discípulos comenzaron a crear la disciplina moderna de la «biología» en Gran Bretaña durante la década de 1870 (apropiándose de un término aparecido a principios de siglo), intentaron distanciarla de la anticuada historia natural al unir la fisiología y la morfología como cimientos gemelos de una ciencia basada en el laboratorio (Caron, 1988). De cualquier modo, cada vez más era la fisiología la que determinaba lo que sería la nueva ciencia: la mera descripción de animales muertos no bastaba para saber cómo funcionaban realmente los organismos vivos. A finales de siglo, muchas esferas de las ciencias de la vida se vieron afectadas por una «revuelta contra la morfología» impulsada por el deseo de seguir a la fisiología hasta el terreno de los experimentos (Allen, 1975).

La aplicación de métodos experimentales originó nuevas teorías sobre la naturaleza de la vida y de los procesos vivos que en la actualidad damos por sentados. El descubrimiento de Harley de la circulación había transformado los conocimientos anatómicos de los médicos y debilitado la credibilidad de la tradición medieval de la fisiología. En cualquier caso, no desembocó en una sustitución inmediata de ciertos tratamientos médicos como las sangrías, que se basaban en la lógica del viejo sistema. Esto se debía en parte a que no había ningún sistema fisiológico nuevo que explicara lo que hacía el cuerpo durante la respiración y la absorción de los alimentos. Se dieron algunos pasos importantes para identificar las funciones realizadas por distintos tejidos vivos, pero se sabía poco acerca de cómo se llevaban a cabo dichas funciones. Determinados esfuerzos para crear una nueva ciencia de la fisiología se vieron obstaculizados por la falta de una química adecuada; no es casualidad que la fisiología moderna naciera en el siglo que siguió a la «revolución química» de Lavoisier y a los primeros avances en la creación de una química orgánica (la química de los

compuestos complejos de carbono, incluidos los que constituyen los cuerpos vivos). El propio Lavoisier comenzó postulando que el cuerpo «quemaba» sustancias químicas de los alimentos mediante el oxígeno —del aire— absorbido en la sangre, propuesta que, en el siglo XIX, sería la base de una serie completa de programas de investigación, entre ellos muchos de los que se han considerado piedras angulares de la biología moderna.

Además del impacto del experimentalismo, la mayoría de los estudios tradicionales sobre fisiología se centran en un importante debate teórico sobre la naturaleza de la vida. Hasta el siglo XVII, los médicos habían seguido las ideas de los filósofos antiguos, según los cuales el cuerpo físico estaba vivificado por un alma inmaterial o fuerza vital. La filosofía mecanicista estimuló el resurgimiento del materialismo: la afirmación de que el cuerpo vivo (y, por tanto, el cuerpo humano) es tan sólo una estructura material compleja accionada por fuerzas físicas (véase cap. 2, «La revolución científica»). El desarrollo de este enfoque materialista se vio entorpecido por la falta de una química apropiada, la cual podía realmente servir de enlace entre la conducta de átomos y moléculas y las funciones complejas de un cuerpo vivo. El progreso de la fisiología en el siglo XIX fue testigo de un avance continuo del materialismo, si bien algunos científicos eminentes se opusieron firmemente a la tendencia de reducir la vida a meros procesos físicos. La eliminación del «vitalismo» se presenta a menudo como un cambio conceptual clave en el surgimiento de las ciencias modernas de la vida, pero estudios sobre la historia de la fisiología más recientes adoptan un punto de vista menos simple. Los biólogos que se oponían al materialismo solían hacerlo por lo que les parecían razones muy legítimas, y algunos de ellos realizaron trabajos importantes precisamente porque aún se inspiraban en la creencia de que la vida era algo más que actividad material. A principios del siglo XX, eminentes fisiólogos como J. S. Haldane rechazaban un materialismo reduccionista simple, aunque casi nunca pretendían resucitar la vieja idea de una fuerza vital que afectara al mundo físico de una manera casi sobrenatural. Algunos biólogos reconocían la necesidad de considerar los procesos orgánicos como funciones de sistemas complejos que no podían ser explicados de forma convincente reduciéndolos al nivel molecular. Ésta es la filosofía del organicismo, u

holismo, la idea de que el todo es más que suma de las partes y exhibe funciones de orden superior incluso cuando el funcionamiento de cada parte está regulado únicamente por leyes físicas.

Este capítulo abordará desde una perspectiva selectiva algunos avances cruciales en el establecimiento de las ciencias modernas de la vida. Destacará brevemente el surgimiento de la morfología, vinculándolo a nuestros estudios de otras ciencias, incluido el evolucionismo. Después se centrará en la ampliación de conocimientos sobre tejidos orgánicos y la teoría de la célula. A continuación pasaremos a la fisiología y los esfuerzos por sacar a la luz las actividades de las funciones más esenciales de la «máquina animal», entre ellas la respiración y la nutrición. La importancia del método experimental y del nuevo materialismo en la definición del espíritu de la Nueva Ciencia constituirán temas que atravesarán todo el relato.

Estudio de la estructura

En el siglo XVIII se ampliaron enormemente los conocimientos de los naturalistas sobre especies exóticas y se prestó mucha atención al problema de cómo clasificar la diversidad de seres vivos, lo que quedó ilustrado en el trabajo de Linneo (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). A principios del siglo XIX, el proyecto de realizar la clasificación sobre bases más «científicas» llevó a Georges Cuvier y otros a insistir en que la verdadera índole de las especies, y por tanto su verdadero lugar en el plan de la naturaleza, sólo podía determinarse partiendo de su estructura interna (Coleman, 1964). La anatomía comparada se convirtió en la clave de una forma nueva y técnicamente más sofisticada de historia natural. Las investigaciones se realizaban cada vez menos sobre el terreno, donde se seguían buscando especies nuevas, y más en los laboratorios de los grandes museos o de los departamentos universitarios, donde se diseccionaban minuciosamente los especímenes enviados a la metrópoli (fig. 7.1). Cuvier y su gran rival Geoffroy Saint-Hilaire trabajaron en el Museo de Historia Natural de París, mientras Richard Owen, instalado en el museo del Royal College de Surgeons, se convertía en el más destacado experto británico en mor-

FIGURA 7.1. Galería de anatomía comparada de la Escuela de Medicina de París, creada en 1845. Al principio, esta galería fue un centro de investigación donde podían compararse detalles de distintas estructuras esqueléticas, pero también se utilizaron colecciones similares de diversos museos de historia natural para la exhibición pública de especímenes exóticos llegados de diferentes partes del mundo.

fología (Appel, 1987; Rupke, 1993). En el último tercio del siglo, no obstante, esta disciplina tuvo su sede cada vez más en los departamentos de zoología de las universidades, solapándose en ocasiones con la medicina (sobre la institucionalización de la morfología en Alemania, véase Nyhart [1995]). Se produjeron avances similares en botánica, donde la vieja tradición de la clasificación fue reemplazada por estudios detallados sobre la estructura y las funciones de las plantas.

Cuvier y sus contemporáneos revolucionaron la ciencia de la clasificación al arrebatársela a los que estudiaban la naturaleza en estado salvaje y trasladarla al mundo minuciosamente controlado del laboratorio o la sala de disecciones. La vieja tradición del trabajo de campo, todavía visible en los estudios de Darwin sobre el viaje del *Beagle*, estaba quedando marginada, con la consiguiente pérdida de interés por las cuestiones de cómo viven realmente los organismos en su hábitat

natural, interés que sólo se recuperaría con el desarrollo de la ecología a finales del siglo XIX. El propio Darwin pasó años diseccionando una inmensa colección de percebes, y alcanzó fama como biólogo tras publicar el primer estudio importante sobre ese grupo. Pero incluso en eso estaba desfasado: contó sólo con una simple lupa. En las décadas intermedias del siglo se llevaron a cabo trabajos similares con otros grupos mediante diversos microscopios, herramientas de disección y tintes químicos cada vez más perfeccionados, generalmente en laboratorios de museos y universidades construidos a tal fin.

La clasificación seguía siendo el principal objetivo del conocimiento de la estructura interna de los organismos, pero ahora formaba parte de la nueva ciencia de la morfología, el estudio de la forma. Cuvier había insistido en que, para conocer la estructura de un animal, hacía falta conocer la función ejecutada por los diversos órganos, aunque muy a menudo se ignoraba la función real que llevaban a cabo las estructuras en la vida del organismo. Críticos posteriores acusaron a los expertos en morfología de estar más interesados por los organismos muertos que por los vivos. Hubo un prolongado debate sobre la importancia relativa de la forma y la función, y muchos de los expertos siguieron a Geoffroy Saint-Hilaire en su insistencia en que había «leyes de la forma» que determinaban las diversas estructuras posibles independientemente de su verdadera función (Russell, 1916). Fue en el seno de esa tradición donde prosperaron ideas no adaptativas como alternativas a la selección natural durante el «eclipse del darwinismo», a finales de siglo (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Expertos en morfología como Ernst Haeckl dispensaron una buena acogida a la teoría de la evolución porque les permitía mantenerse firmes en la idea de que las relaciones que estaban desvelando entre distintas formas de vida eran reales, es decir, el producto de un descenso genealógico con arreglo a procesos naturales y no modelos en la mente del Creador. Pero se mostraban reacios a aceptar los detallados estudios del propio Darwin sobre cómo funcionaban los animales en estado salvaje, incluyendo el modo en que resultaban afectados por climas cambiantes o por la invasión de especies rivales. En vez de ello, se inclinaban más a considerar la evolución como el despliegue de patrones ordenados accionados por fuerzas biológicas internas (Bowler, 1996).

Para comprender cómo había evolucionado la vida, los expertos en morfología recurrieron al estudio de la embriología comparativa (fig. 7.2). En la terminología de Haeckel, se daba por supuesto que la ontogenia (desarrollo del organismo individual) condensaba la filogenia (historia evolutiva de las especies). De hecho, en el siglo XIX, la embriología había dado pasos importantes. La vieja teoría de la preformación, en virtud de la cual el embrión simplemente se agranda a partir de una miniatura previamente formada en el óvulo fertilizado,

FIGURA 7.2. Anton Dohrn trabajando con su microscopio, en 1889, en el Centro Zoológico que fundó en Nápoles (reproducido con autorización de los archivos Stazione Zoologica «Anton Dohrn»). En esa época, se practicaba rutinariamente el examen microscópico de criaturas «primitivas» y su desarrollo embrionario en un esfuerzo por reconstruir la historia de la vida en la tierra, y los centros biológicos marinos permitían a los biólogos estudiar especímenes vivos con el mejor material disponible, como el microscopio usado aquí por Dohrn. No obstante, es significativo que Dorhn se peleara con Haeckel sobre la estructura exacta del árbol de la vida y que las pruebas que ambos aportaran no pudieran resolver sus diferencias.

fue sustituida por un modelo sofisticado de epigénesis, en el que la muy sencilla forma del óvulo experimenta una compleja serie de transformaciones conforme a las cuales se van construyendo gradualmente las diversas estructuras del organismo. En 1828, Carl Ernst von Baer, que el año anterior había descubierto el genuino óvulo de los mamíferos, puso de manifiesto cómo los individuos pertenecientes a cada uno de los principales grupos de organismos vivos pasan por un proceso definido de diferenciación en el que se forman los órganos especializados que caracterizan al grupo. No hay una sola jerarquía de desarrollo: la historia del reino animal se ilustra mejor con un árbol ramificado, como proclamó Darwin en su teoría de la evolución. Sin embargo, es significativo que Haeckel alterara esta idea dándole al árbol un único tronco que creciera hasta la forma humana; pero, en cierto sentido, su síntesis de la embriología y el evolucionismo se basaba en los últimos avances en el estudio de las estructuras vivas a nivel microscópico. Haeckel fue capaz de detallar la ontogenia (y, por tanto, la filogenia) desde una célula individual, el óvulo fertilizado, a través de un complejo proceso de diferenciación en el que la célula se dividía y subdividía y al final formaba una cavidad corporal esférica como base a partir de la cual se desarrollaría el embrión (fig. 7.3). Esta atención en el óvulo fertilizado como fundamento del desarrollo sería el punto de partida de trabajos posteriores de August Weismann y otros sobre el proceso en el que los cromosomas del núcleo de la célula transmiten la información de la herencia de los padres a los hijos (véase cap. 8, «Genética»).

La idea de que la célula era la unidad fundamental de la vida, y de que, por tanto, todos los organismos se componen de células, había surgido al mismo tiempo que esos progresos en embriología. Microscopistas tempranos como Robert Hooke ya habían observado células en tejidos de plantas, pero su naturaleza y su función siguieron siendo un misterio hasta que los mejorados microscopios del siglo XIX permitieron un análisis más detallado de las estructuras de los tejidos. En 1847, los alemanes Jakob Mathias Schleiden, botánico, y Theodor Schwann, zoólogo, anunciaron su «teoría de la célula», según la cual las células eran las unidades básicas a partir de las cuales se formaban todos los tejidos vivos (fig. 7.4). No obstante, diferían en el modo en

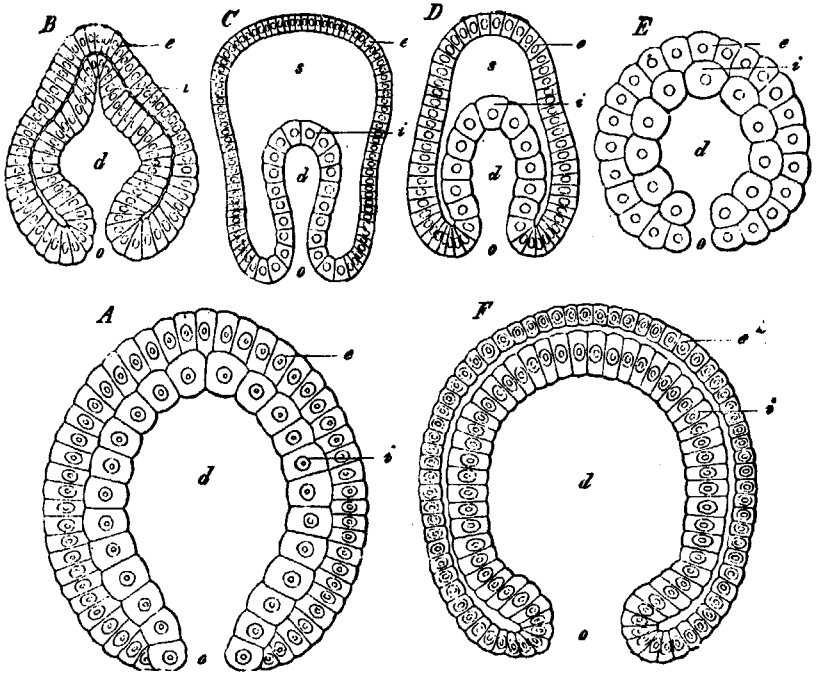


FIGURA 7.3. Representación de Haeckel de la muy temprana fase de «gástrula» en el desarrollo de diferentes organismos, de su *Evolution of man* (Londres, 1879), cap. 1, p. 193. Las dos figuras de abajo son (izquierda) un zoófito primitivo y (derecha) un ser humano. Obsérvese que se muestran las dos capas de células de las que se compone esta etapa embrionaria. Haeckel sostenía que la gástrula hueca constituía un antepasado común temprano de la totalidad del reino animal.

que se constituían: según Schleiden, las células nuevas aparecían dentro de las viejas por cristalización en torno a núcleos recién formados, mientras que para Schwann se configuraban a partir de material sin rasgos distintivos que rodeaba las células existentes. Así pues, en este punto la teoría podía interpretarse de muchas maneras, pero en 1855 otro alemán, el embriólogo Robert Remak, puso de manifiesto que, en las primeras fases del crecimiento, se forman células gracias a un proceso de división al parecer iniciado en el núcleo. En su *Die Cellular-*

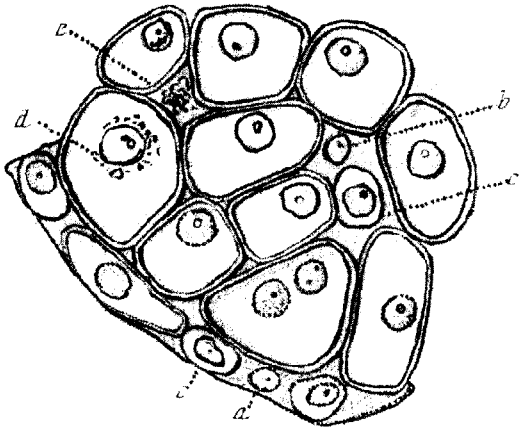


FIGURA 7.4. Estudio microscópico de la estructura de una planta en que se aprecian las células y sus núcleos, de *Microscopical Researches* de Theodor Schwann (Londres, 1847), frente a p. 27. Schwann puso de manifiesto que todos los tejidos, fueran de animales o de plantas, se componían de células, y sostenía asimismo que la célula era la unidad básica de la vida.

pathologie [Patología celular] de 1858, Rudolf Virchow anunció la versión final de la teoría de la célula: las células son las unidades fundamentales de toda la vida, y se forman células nuevas sólo por división de células existentes: «*Omnis cellula e cellula*». Para Virchow, esta última cuestión era un factor clave en la defensa de una filosofía vitalista en que los seres vivos eran accionados por fuerzas que de algún modo trascendían las del mundo físico. Sólo la vida podía generar vida, y las teorías sobre la generación espontánea de tejido vivo a partir de sustancias químicas inorgánicas eran necesariamente falsas. El rechazo de la generación espontánea era común entre los pensadores conservadores, y Virchow tendía al conservadurismo tanto en filosofía como en política. Un estudio histórico sostiene que la idea de Virchow del cuerpo como una ensambladura coherente de células especializadas se inspiraba en su preferencia por un sistema político en el que todos los individuos pudieran alcanzar sus legítimos objetivos en la vida en una sociedad ordenada (Ackerknecht, 1953).

De cualquier modo, esta interpretación vitalista no era la única. Otros biólogos se habían centrado en el material fluido del interior de las células, pasando por alto en buena parte el núcleo, cuya función se conocía poco por entonces. En la década de 1840, Jan Purkinje y Hugo von Mohl definieron ese material como «protoplasma» y sugirieron que era la materia básica de la vida. Según dicho modelo, la célula era importante sólo porque su pared servía para separar el protoplasma del entorno: era la actividad del propio protoplasma la que posibilitaba la vida. Quizá lo más importante es que esa mayor atención en la sustancia material del protoplasma, más que en la estructura ordenada de la célula, estimuló una visión más materialista de la vida. Si cabía la esperanza de que a la larga la química explicara los procesos que ejecutaba el protoplasma para sustentar la vida, entonces no hacían falta fuerzas vitales especiales. Éste era el mensaje anunciado por T. H. Huxley en su popular ensayo de 1868 «The Physical Basis of Life» [Las bases físicas de la vida]. Seis años después, Huxley reafirmó su opinión esencialmente materialista en una conferencia titulada «Sobre la hipótesis de que los animales sean autómatas y su historia», en la que detalló la continuidad entre el materialismo del siglo XIX y la idea original de Descartes de que los animales no son más que máquinas (ambos reimpresos en Huxley, 1893). En ese punto del debate, se daba una auténtica interacción entre los expertos en morfología que estudiaban cómo las células se ensamblaban en organismos más grandes y los fisiólogos que ahora estaban aplicando el método experimental para comprender los procesos que mantenían la vida.

Funciones del cuerpo vivo

La teoría de William Harvey sobre la circulación de la sangre, publicada en 1628, se presenta a veces como la primera piedra de la fisiología moderna. El descubrimiento debilitó la teoría tradicional de cómo funcionaba el cuerpo propuesta por el médico romano Galeno, pero en sí mismo no explicaba por qué la sangre circulaba por los pulmones y luego por el resto del cuerpo. Quizá debido a eso tuvo poco impacto en la práctica real de la medicina. Desde luego, la teoría de

Harvey estimuló nuevas investigaciones, incluido el descubrimiento del microscopista Marcello Malpighi de los capilares que unían las arterias a las venas en los músculos. Sin embargo, la sugerencia de Descartes de que los animales sólo podían considerarse máquinas complejas fue incapaz de sentar las bases de una tradición investigadora seria. Tal vez el corazón era una bomba, pero se desconocía cómo se accionaba este y los otros músculos del cuerpo así como la función de la digestión y la respiración. La química de la época no tenía nada que ofrecer para ayudar a entender esos procesos. En cualquier caso, el estudio de la fisiología —el funcionamiento del cuerpo humano y animal— nació como una disciplina propia en las facultades de medicina de las universidades del siglo XVIII. El más activo fue el biólogo suizo Albrecht von Haller, en cuyo *First Lines in Physiology* [Primeras letras en fisiología] (1747) expuso una inicial visión de conjunto. Por lo que más se le conoció fue por definir la diferencia entre las partes del cuerpo irritables (que se contraen al ser tocadas) y las sensibles (que transmiten sensaciones al cerebro a través de los nervios). No obstante, la fisiología de Haller era sólo una versión algo más animada de la anatomía: buscaba establecer más minuciosamente las funciones de las partes del cuerpo, pero aún no daba una explicación real de cómo obraban esas funciones (véase cap. 19, «Ciencia y medicina»; para un amplio análisis de la historia de la fisiología, véase Hall [1969]).

Algunos historiadores dirían lo mismo en el caso de la más sofisticada teoría de los tejidos de Marie-François-Xavier Bichat, recogida en su *Anatomie générale* [Anatomía general] de 1801. Si hay una gran línea divisoria que separa el pensamiento de los siglos XVIII y XIX, como sostiene Foucault (1970), entonces los esfuerzos de Bichat por clasificar las funciones vitales y asociar cada una al tipo concreto de tejido corporal en el se lleva a cabo aún encajan en el molde del primero (Albury, 1977). Tradicionalmente, se ha considerado que Bichat era el vitalista arquetípico; para él, las funciones vitales eran la suma total de las fuerzas que se oponen a la tendencia del mundo físico a destruir la vida —lo que explica la descomposición tan rápida del cuerpo después de la muerte—. Cada tejido tenía su propia función vital, como la sensibilidad o la irritabilidad, y la existencia de esas funciones era una deducción lógica de los hechos observados. Debido a

la enorme variabilidad de las funciones orgánicas, era obvio que las fuerzas vitales no estaban reguladas por las leyes mecanicistas y predecibles del mundo físico. Para que la fisiología fuera científica, había que identificar, clasificar y localizar esas fuerzas excepcionales en el cuerpo, labor que guardaba paralelismo con la fascinación del siglo XVIII por la clasificación de especies biológicas. Si incidimos en este aspecto del pensamiento de Bichat, vemos que hay una clara brecha entre su enfoque y el de la generación siguiente, simbolizado por la técnica implacablemente experimental de François Magendie cuyo fin era entender en qué consistían las funciones. No obstante, Bichat fue también un pionero de la vivisección y, por tanto, uno de los fundadores de la fisiología experimental. Quizá, como sugiere John E. Lesch (1984), su trabajo tenía dos dimensiones, una relacionada con la medicina y otra con la cirugía. En aquel momento, la fisiología intentaba establecerse en un nuevo entorno académico creado por el gobierno revolucionario francés, y, hasta cierto punto, entre la medicina, la cirugía y la ciencia natural se encontraba incómoda.

En otro aspecto, Bichat estaba muy al tanto de los últimos avances en áreas afines de la ciencia. En 1777, el químico Anton Lavoisier había sugerido que podía aplicarse su teoría de la combustión por el oxígeno para explicar el fenómeno del «calor animal» (Goodfield, 1975). El cuerpo de un animal está caliente porque en sus pulmones tiene lugar un proceso equivalente a la quema de su material alimentario. En la década de 1780, Lavoisier y el físico Pierre Simon Laplace, en un trabajo conjunto en el que usaron un calorímetro de hielo, demostraron que la cantidad de calor generado era aproximadamente el mismo tanto en la combustión como en la respiración. Se daba así una aplicación directa de un planteamiento materialista a la fisiología: ahora una función vital importante parecía potencialmente explicable en términos exclusivamente físicos. Bichat conocía bien esa teoría y respaldó la modificación de la misma según la cual la oxidación se producía en los tejidos del cuerpo, no en los pulmones, siendo la sangre responsable de transportar tanto el oxígeno como el material alimenticio a los tejidos. No obstante, seguía convencido de que muchas otras funciones vitales no se podían reducir a procesos físicos. En este sentido, Lavoisier sentó las bases del debate vitalista-mecanicista del siglo si-

guiente, en el que unos seguirían a Bichat mientras otros defenderían el carácter físico de todos los procesos vitales. No obstante, la posición de Bichat nos advierte de la complejidad de los tejidos implicados: no puede rechazarse a los vitalistas tachándolos de pensadores retrógrados que esperaran reservar algún papel para una dimensión mística o espiritual de la ciencia.

Este debate se produciría principalmente en los laboratorios fisiológicos de Francia y Alemania, mientras Gran Bretaña quedaba bastante rezagada respecto a los progresos continentales. Hay una vieja creencia de que la biología temprana alemana del siglo XIX resultó profundamente afectada por los valores místicos de la mecanicista y romántica *naturphilosophie*. Pero, como afirma Lenoir (1982), la influencia de la *naturphilosophie* se ha exagerado. Como mejor se describe buena parte de la biología alemana es con la denominación de teleomecanicista: daba por supuesto que el cuerpo obedece principios parecidos a leyes, pero interpretaba que éstos tenían como objetivo mantener la vida. Por tanto, si había procesos psicoquímicos implicados, no existía ninguna barrera para la experimentación con seres vivos. La escuela de investigación química creada por Justus von Liebig (Brock, 1997) proporcionó un importante modelo para la nueva biología. En 1824, Liebig fue nombrado profesor de química en Giessen, donde fundó un Instituto de Química que atrajo como un imán a estudiantes de toda Europa, dispuestos a imbuirse del mensaje de Liebig sobre la importancia de los experimentos de laboratorio en el estudio de la química orgánica y animal. El lema del instituto era «Dios ha ordenado toda Su Creación según pesos y medidas». En conformidad con el espíritu cuantitativo en la filosofía experimental, Liebig insistía en la importancia de la precisión en la medida y el análisis. Consideraba que las funciones biológicas resultan de procesos físicos y químicos que se producen en el cuerpo; y para explicar el calor animal recurrió a la forma modificada de la teoría de Lavoisier sobre la respiración. El objetivo del programa cuantitativo esbozado en su *Animal Chemistry* [Química animal] de 1842 (reeditado en 1964) era examinar minuciosamente qué entraba en el cuerpo humano o animal por un extremo y qué salía por el otro, intentando efectivamente utilizar procesos fisiológicos como la nutrición y la respiración para ex-

plicar las fuentes corporales de energía. Pronto se rechazaría la idea de Liebig de que la degradación de las proteínas explicaba la actividad muscular mientras la oxidación de los hidratos de carbono y las grasas generaba sólo calor. Sin embargo, su metodología sirvió de inspiración a fisiólogos posteriores, pese a que él se negó a abandonar la filosofía vitalista. Como Bichat, parecía pensar que había fuerzas vitales que oponían resistencia a la descomposición. Sin embargo, daba por supuesto que esas fuerzas eran parecidas a leyes y actuaban en armonía con las leyes de la física y la química. Éstas no eran intrínsecamente caprichosas, y no existía ninguna analogía con el alma o la mente. En realidad, Liebig estaba pensando en una energía vital que era intercambiable con otras formas de energía.

Uno de los departamentos más prestigiosos favorables al nuevo enfoque de la biología estaba en Berlín, bajo la dirección de Johannes Müller. Influido inicialmente por el misticismo de la *naturphilosophie*, Müller recurrió a la observación y la experimentación minuciosas tanto en el ámbito de la morfología como en el de la fisiología. Basándose en los trabajos de Charles Bell y François Magendie (que se analiza más adelante), realizó parte de su labor más importante con los nervios sensoriales y motores. Müller articuló una ley de energías nerviosas específicas: con independencia de qué nervio sensorial se estimule, ello siempre dará lugar sólo a una sensación específica. No obstante, pese a su compromiso con la observación, la exposición temprana de Müller a un planteamiento más místico garantizó que permaneciera vinculado a un vitalismo mucho más preceptivo que el de Liebig. Estaba convencido de que el cuerpo vivo se halla regido por una fuerza creativa que genera estructuras útiles, de tal modo que el conjunto de las distintas especies refleja el plan divino del universo.

Tres de los alumnos de Müller volvieron la espalda al vitalismo de su maestro y contribuyeron a fundar la escuela materialista más influyente de la biología del siglo XIX. Eran Hermann von Helmholtz, Carl Ludwig y Emil du Bois Raymond. Existía un fuerte vínculo con los principios políticos liberales, con lo que el desafío al romanticismo se consideraba también un cuestionamiento de la ideología conservadora. No era casualidad que el movimiento se hubiera creado en 1847, justo el año antes de que muchos países europeos se vieran sacudidos

por la revolución. Su materialismo era tanto una reacción contra el misticismo de la *naturphilosophie*, que entendían todavía vigente en el vitalismo de Müller, como el resultado de demostraciones alcanzadas mediante las nuevas técnicas experimentales. Veían los avances en física y química y daban por sentado que, en biología, un programa basado en principios similares tendría el mismo efecto. Se lograron resultados importantes, entre ellos el trabajo de Du Bois Raymond sobre la naturaleza eléctrica de la actividad nerviosa. Helmholtz también estudió los nervios y prácticamente fundó la ciencia de la óptica fisiológica, si bien a continuación se pasó al campo de la física y llegó a ser uno de los creadores de la ley de conservación de la energía. De hecho, para los materialistas el cuerpo animal era una máquina que funcionaba conforme a esta ley: no había ninguna forma vital especial de energía asociada sólo a la vida. Esto equivalía al programa propuesto en el «Fundamento físico de la vida» por T. H. Huxley, aunque éste se centraba en el protoplasma de la célula como lugar principal de los procesos bioquímicos críticos.

Hemos de señalar que, aunque el programa materialista-reduccionista desempeñó un importante papel en los debates sobre filosofía de la ciencia en el siglo XIX, su puesta en práctica resultó mucho más difícil de lo que imaginaban sus primeros defensores. En cierto momento se creyó que la síntesis de la urea de Friedrich Wöhler en 1828 había empezado a cavar la fosa del vitalismo. El que una sustancia química de la que antes se sabía que era sólo un subproducto de la actividad orgánica pudiera sintetizarse a partir de materia exclusivamente inorgánica seguramente había convencido a todo el mundo de que no hacía falta ninguna fuerza vital. Sin embargo, según nuevos estudios históricos sobre la acogida del trabajo de Wöhler, en aquella época no se advirtió que la síntesis tuviera tantas consecuencias trascendentales (Brooke, 1968). La imagen de un solo experimento clásico que socava la filosofía del vitalismo resulta ser un mito: las ideas vitalistas siguieron influyendo en biólogos importantes durante al menos otra generación. Resolver los detalles de cómo funcionaban los procesos fisiológicos no fue una tarea fácil, ni siquiera mediante experimentos con animales vivos. Fueron los experimentalistas franceses, gracias a un enfoque dogmático del estudio de las funciones vivas,

quienes acaso hicieron las aportaciones más sustanciales en la creación de una fisiología científica.

El método experimental

Aunque la escuela alemana se basaba en el uso de la observación y la experimentación sistemáticas, había algunos que no se resignaban a experimentar con animales vivos. Entre ellos el propio Müller, que más adelante se pasó al campo de la anatomía comparada al ser consciente de que, sin vivisección, la fisiología no podía avanzar (Huxley siguió siendo anatomista por la misma razón). Para estudiar la función, hacía falta interferir, de una manera controlada, en la actividad de un cuerpo vivo y observar los resultados (fig. 7.5). Ya hemos comentado que, en Francia, Bichat utilizó la vivisección desde principios del siglo, de manera que podemos analizar su legado tanto a través de su contribución a la fisiología experimental como a través del vitalismo que defendió. Lo sucedió François Magendie principal fisiólogo experimental de la Francia de principios del siglo XIX, que adquirió reputación como viviseccionista cruel e indiferente al sufrimiento de los animales que usaba en los experimentos. Se le recuerda como codescubridor de la ley Bell-Magendie, según la cual los nervios anteriores (frontales) que salen de la médula espinal regulan el movimiento de los músculos mientras que los posteriores transmiten sensaciones al cerebro. Es significativo que el anatomista escocés sir Charles Bell formulara la hipótesis basándose en un único experimento realizado en 1811 —no profundizó en el descubrimiento porque era reacio a llevar a cabo más vivisecciones—. Cuando Magendie abordó el problema una década después, realizó una serie de experimentos con animales vivos que proporcionaron a la ley cimientos sólidos (Lesch, 1984, pp. 175-179).

El programa de Magendie para una fisiología científica se apoyaba en la aplicación de técnicas experimentales, no en ningún compromiso filosófico con el materialismo. Se valió de experimentos para desarrollar explicaciones en función de procesos físicos en la medida de lo posible y criticó a Bichat por permitir que las fuerzas vitales desem-

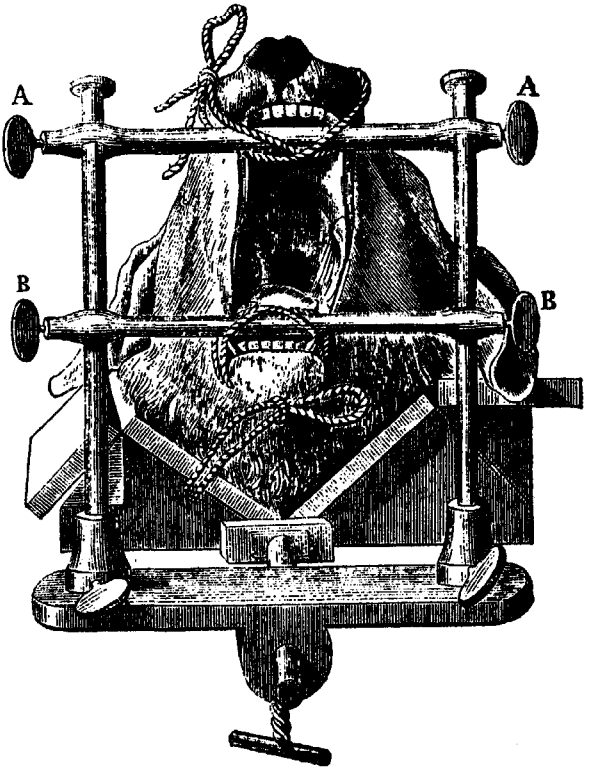


FIGURA 7.5. Aparato para sujetar la cabeza de un perro durante un experimento de vivisección en las glándulas salivales o en los nervios del cuello, de *Leçons de physiologie opératoire* (1879), p. 137, de Claude Bernard. Se creía que la vivisección, o experimentación con animales vivos, era fundamental para entender cómo funcionaban los procesos vitales. Sin embargo, a muchos de los que no eran científicos les escandalizaba la visible indiferencia de los científicos ante el sufrimiento de los animales, de modo que el movimiento antivivisección se convirtió muy pronto en un núcleo de oposición popular a la ciencia. La imagen de la figura fue reproducida en un panfleto antivivisección ista, *Light in Dark Places* [Luz en lugares oscuros], por Frances Power Cobbe y distribuida en Londres (1883) por la Sociedad Victoria Street para la Protección de los Animales contra la Vivisección y la Asociación Internacional para la Supresión total de la Vivisección.

peñaran un papel activo en sus teorías. Aun así, por lo visto al principio de su carrera aceptó que la búsqueda de explicaciones científicas quizá tenía sus limitaciones: tal vez fuera imposible dilucidar en términos exclusivamente físicos los procesos reales que se producían en los nervios. De cualquier modo, la fuerza vital no podía cumplir ningún papel en la ciencia si el fisiólogo era incapaz de postular leyes que regularan su funcionamiento. Eso era lo que se ha venido en llamar «materialismo vital» en contraposición al rígido materialismo mecanicista de la escuela alemana: llevó el materialismo lo más lejos posible sin ser dogmático respecto a si el cuerpo estaba regido solamente por fuerzas físicas. Al final de su carrera, Magendie rechazó la fuerza vital calificándola de fantasía, una mera excusa para abordar procesos que no entendemos, aunque todavía se negaba a hacer conjeturas explícitamente sobre la supresión completa de una fuerza así mediante futuras investigaciones. Para Magendie, era el método experimental el que garantizaría que los trabajos futuros estuvieran basados en hechos incontestables. Especular acerca de la naturaleza primordial de la vida no formaba parte del proceso científico.

El alumno más conocido de Magendie en el Collège de France fue Claude Bernard, que empezó como ayudante de laboratorio y adquirió fama como investigador hábil y metódico. Llegó a ser profesor de fisiología general en la Sorbona en 1854, año en que también fue elegido miembro de la Académie des Sciences. En 1855, pasó a ocupar el puesto de Magendie en el Collège de France. Bernard investigó sobre todo qué papel desempeñaba el hígado en el mantenimiento de los niveles de glucosa en la sangre, la función digestiva del páncreas y la acción de tóxicos como el monóxido de carbono y el curare. Se le admiró por la sencillez de sus técnicas y diseños experimentales y por su habilidad para mantener a los animales con vida hasta el final de las investigaciones (Holmes, 1974). Su *Introducción al estudio de la medicina experimental*, de 1865 (traducida en 1957), se convirtió en un clásico de la función de la experimentación en biología.

Es significativo que Bernard, igual que Magendie, eludiera el debate mecanicismo-vitalismo al centrarse en el cuerpo como sistema concebido para conservar el *milieu interior*, o medio interno, en el cual pueden producirse las funciones fisiológicas. Aunque todas esas

funciones fueran de naturaleza exclusivamente física, no habría tenido sentido reducir la fisiología a la física, pues el cuerpo vivo era un sistema autorregulador que no podía ser explicado en función de esas leyes. En realidad, el cuerpo es más que la suma de sus partes: funciona como un todo unificado que trasciende sus funciones individuales. Más adelante, esto se conocería como la filosofía del holismo, u organicismo, y en el siglo xx constituiría la más influyente corriente de pensamiento contraria al materialismo mecanicista. La cuestión de cómo se pueden construir sistemas complejos así llegó a ser un problema clave para la teoría de la evolución, y es significativo que muchos fisiólogos y bioquímicos hayan seguido dudando de la capacidad de la teoría para explicar la creación de ese grado de complejidad en términos estrictamente materialistas.

En general, no obstante, la fisiología y las ciencias biomédicas tendían a desplazarse cada vez con más firmeza hacia la esfera mecanicista en su intento de explicar todas las funciones únicamente en términos de física y química. Nuevas investigaciones seguían haciendo retroceder los límites dentro de los cuales podían postularse funciones exclusivamente vitales, lo que dejaba a la mayoría de los biólogos convencidos de que la totalidad del programa vitalista sólo había retrasado el desarrollo de su ciencia. Ahora era casi un artículo de fe el hecho de que la biología moderna se fundamentaba en un programa que pretendía explicar todas las funciones físicas en términos físicoquímicos. También contribuyó a ese proceso la aparición, a principios del siglo xx, de la bioquímica como disciplina independiente (Kohler, 1982). No obstante, la negativa de muchos fisiólogos tempranos a dogmatizar sobre la cuestión del materialismo, amén de los esfuerzos ininterrumpidos de posteriores científicos por defender la idea del cuerpo como un todo organizado, nos aconsejan no hacer excesivo hincapié en esta discusión filosófica. En una medida importante, el nacimiento de la fisiología moderna se apoyaba en la aplicación del método experimental dentro de una cosmovisión esencialmente pragmática que simplemente trataba de ampliar lo más posible las explicaciones naturales.

Ciertos estudios históricos sobre los avances posteriores, en los que predominan las explicaciones mecanicistas, se han visto obstacu-

lizados por la enorme complejidad de las cuestiones técnicas implicadas. Sin embargo, algunos trabajos importantes han dejado claro que la principal fuerza impulsora de la innovación teórica no siempre fue el deseo de favorecer el materialismo reduccionista. El estudio de Philip Pauly (1987) sobre el fisiólogo germano-americano Jacques Loeb —que alcanzó notoriedad como defensor de la visión materialista de la vida— revela que éste era un experimentalista todavía impresionado por lo intrincado de la «ingeniería» corporal. Lo que llamó la atención de la opinión pública fue *The Mechanistic Basis of Life* [El fundamento mecanicista de la vida] de 1912, pero cuatro años después Loeb también escribió *The Organism as a Whole* [El organismo como un todo]. El eminente fisiólogo británico J. S. Haldane, que realizó importantes progresos en el estudio de la respiración, rechazó abiertamente el materialismo mecanicista utilizando la analogía de la dependencia de las distintas partes del cuerpo respecto al conjunto para reforzar una ideología en la que el individuo está subordinado a la sociedad (Sturdy, 1988). También en Alemania, algunos biólogos tempranos del siglo XX, como Hans Driesch, se opusieron a la excesivamente rígida aplicación de los principios mecanicistas. En un sentido más general, se produjo una reacción contra la visión mecanicista del siglo anterior, pues diversos científicos utilizaron una perspectiva holística de la naturaleza (Harrington, 1996). Un minucioso estudio de Frederick L. Holmes (1991, 1993) sobre el proceso gracias al cual el bioquímico Hans Krebs resolvió el ciclo del ácido cítrico en tejidos animales (el ciclo de Krebs) pone de manifiesto que Krebs estaba muy influido por la noción del organismo como un todo equilibrado. Desde luego, el programa experimentalista ha ayudado a eliminar de la biología el concepto de fuerzas no físicas, con lo que se ha hecho realidad una aspiración de la filosofía materialista. Pero algunos de sus más ilustres representantes no se han librado de la idea de que debemos considerar el organismo como un sistema cuya estructura es tan compleja y está tan bien integrada que la biología jamás constituirá más que un mero subdepartamento de las ciencias físicas.

Institucionalización de la nueva biología

La morfología se había ganado un sitio en los museos de historia natural creados en el siglo XIX en muchas ciudades europeas. Se adaptó poco a poco al sistema universitario, pero siempre tendía a nadar entre dos aguas: la anatomía (en las facultades de medicina) y la historia natural. La entrada en los museos transformó la historia natural, que pasó de ser una disciplina dedicada a reunir y describir especies a ser una empresa de investigaciones ubicada en un lugar céntrico y en la que una serie de expertos estudiaban especímenes recibidos de trabajadores de campo de un nivel profesional muy inferior (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»). No obstante, fue la fisiología la que transformó decisivamente el sistema educativo al contribuir a crear los muy técnicos y especializados departamentos de lo que acabaría conociéndose como biología. En el proceso, la historia natural acabó marginada —y a la larga también la morfología si bien, para empezar, se había metido en ese mundo montada en el carro del nuevo experimentalismo—. Pero incluso la fisiología forcejeó al principio para conseguir su propio lugar profesional, pues al hacer hincapié en un estudio más científico de los procesos vivos planteaba no sólo oportunidades sino también amenazas respecto a la arraigada tradición de la educación médica. Igualmente, se valieron de la fisiología diversos escritores populares que abogaban por una óptica más materialista.

Esos problemas eran evidentes en Francia, donde incluso Magendie y Bernard se esforzaban por crear un estatuto profesional para la nueva fisiología. Magendie logró el respaldo de Cuvier y de Laplace, pero en la Académie des Sciences no había ninguna sección dedicada a la disciplina. Magendie y Laplace daban clases en el Collège de France, y Bernard aprovechó contactos con la Société de Biologie, un grupo de médicos que apoyaban el nuevo enfoque científico. Fue en Alemania donde el sistema universitario en rápida expansión creó un marco en el que podían establecerse institutos y departamentos que fomentaran la nueva biología. Partiendo del modelo brindado por el laboratorio de Liebig de Geissen, Müller y otros crearon programas que a menudo vinculaban la fisiología a la morfología. Una de las pri-

meras aplicaciones de la perspectiva sociológica a la historia de la ciencia fue la sugerencia de que la competencia entre las distintas universidades alemanas generaba un entorno particularmente favorable a la creación de nuevos departamentos de especialidades modernas como la citada.

Gran Bretaña iba rezagada, en parte porque la fisiología estaba ligada a un planteamiento más materialista que parecía hostil al entusiasmo de la élite académica por la teología natural. Fue T. H. Huxley, el bulldog de Darwin, quien acabaría siendo el defensor más categórico de la formación sistemática en prácticas de laboratorio como elemento esencial de la educación médica. A medida que se modernizaban las viejas universidades y se creaban otras nuevas, el programa empezó a surtir efecto, pese a ser perseguido por un fuerte movimiento antivivisección preocupado por los derechos de los animales (French, 1975; véase fig. 7.5). En Cambridge, Michael Foster, protegido de Huxley, fue nombrado profesor del Trinity College, y en 1883 accedió a una cátedra con recursos suficientes para crear un laboratorio de fisiología (Geison, 1978). El *Textbook of Physiology* [Libro de texto de fisiología] (1877) de Foster desempeñó un papel clave en la formación médica basada en el laboratorio. Huxley organizó, para profesores de secundaria de Londres, cursos de laboratorio en escuelas de verano, con sus jóvenes discípulos como asistentes de prácticas. Aquí la morfología y la fisiología se presentaban como componentes idénticos de un estudio verdaderamente científico de los seres vivos, siendo la forma y la función partes inseparables de lo que cada vez respondía más al nombre de «biología» (Caron, 1988). En América, la rápida expansión de las universidades investigadoras en las últimas décadas del siglo brindaron la oportunidad para una expansión semejante de la nueva biología (Rainger, Benson y Maienschein, 1988). Johns Hopkins se convirtió en el modelo del nuevo género de universidades en las que prosperaba la biología fundamental y cuyos licenciados se desperdigaban por todo el país para fundar otros departamentos.

La revuelta contra la morfología

En las últimas décadas del siglo XIX, la fisiología animal había surgido como el paradigma de la nueva biología experimental. Simultáneamente se produjeron avances en botánica, cuando Julius Sachs y otros empezaron a centrarse en la fisiología de las plantas, eclipsando en cierto modo la antigua finalidad de la clasificación y el estudio de la distribución geográfica. William Thiselton-Dyer difundió la nueva botánica en Gran Bretaña, lo mismo que hizo Foster con la nueva fisiología animal. Fue en el seno de esta rápida expansión de los estudios de base experimental cuando tuvo lugar lo que Allen (1975) ha denominado la «revuelta contra la morfología», que completaba la transición al marco moderno en el que se estudian las ciencias de la vida. Aunque figuras pioneras como Müller y Huxley intentaron asociar un estudio de laboratorio de la forma (basado en las nuevas técnicas microscópicas) con el estudio experimental de las funciones vivas, a muchos de la siguiente generación les quedaba cada vez más claro que la morfología era esencialmente una ciencia descriptiva, que utilizaba el estudio de organismos muertos para dilucidar sus afinidades evolutivas pero no podía brindar nuevas ideas sobre cómo funcionaban esas estructuras en el cuerpo vivo. A pesar de la importancia que se había dado a la embriología comparada, tampoco era capaz de explicar cómo se creaban realmente las estructuras dentro del organismo en desarrollo. Estudios más recientes han revelado que acaso no hubo una revuelta repentina sino simplemente una transformación gradual, aunque el resultado es el mismo: la biología descriptiva quedó eclipsada por el estudio de la función (Maienschein, 1991).

Una consecuencia de ese proceso fue la rápida especialización de las ciencias de la vida en diversas disciplinas distintas, que no siempre se comunicaban todo lo que hubiera sido deseable porque sus respectivos fundadores estaban resueltos a forjar su propio marco institucional. Los embriólogos abandonaron la teoría de la recapitulación como guía de las relaciones evolutivas y aceptaron la declaración de Wilhelm Roux sobre la necesidad de una *Entwickelungsmechanick*, una ciencia que intentara explicar, en función de procesos físico-químicos,

cómo se desarrollaba el embrión. Esto sentaría las bases de la embriología experimental moderna, si bien a algunos de los pioneros (entre ellos Hans Driesch) les costó abandonar la vieja idea de que había más fuerzas directoras útiles implicadas. El trabajo también se centró en los procesos que, dentro del óvulo fertilizado, preparaban el terreno para el desarrollo del embrión, lo que desempeñó un papel clave en la aparición de la teoría de los cromosomas y, por tanto, de los genes como factores determinantes de las características del futuro organismo (véase cap. 8, «Genética»). E. B. Wilson y otros fundaron la ciencia de la citología para abordar los procesos que regulan la vida en el nivel celular. Al mismo tiempo, la nueva ciencia de la genética mendeliana se aplicó al estudio experimental de cómo se transmiten los rasgos de una generación a la siguiente. Aunque la teoría de T. H. Morgan sobre los genes uniría los estudios cromosómicos con los experimentos de cría de los mendelianos, la genética perdió contacto con la embriología y prestó poca atención al proceso en virtud del cual la información de los genes se expresaba en el organismo en desarrollo.

En general, las disciplinas experimentales estaban enfrentadas tanto a la tradición morfológica como a la vieja forma de la historia natural, marginada por la morfología a principios del siglo XIX. La clasificación y la reconstrucción de genealogías evolutivas fueron rechazadas y calificadas de anticuadas, e incluso el renacido darwinismo basado en la teoría genética de la selección natural forcejeaba por encontrar su sitio en la nueva biología. En un aspecto importante, sin embargo, el enfoque experimental proporcionó nuevo ímpetu a una cuestión que había sido estudiada dentro de la vieja tradición de la historia natural, lo que dio pie al nacimiento de la disciplina de la ecología. Los naturalistas siempre habían mostrado interés en la relación entre el organismo y su entorno, interés que el darwinismo había mantenido vivo porque la adaptación era la fuerza impulsora de la selección natural. Pero los fisiólogos tanto de plantas como de animales ya comenzaban a pensar en relacionar las funciones que estudiaban en el cuerpo con las condiciones físicas del medio circundante, y a tal fin extendieron las técnicas experimentales ya en funcionamiento. Los más influyentes fueron los fisiólogos de plantas, entre ellos Eugenius Warming, de Dinamar-

ca, y Frederick Clements, de América (véase cap. 9, «Ecología y ecologismo»). De cualquier modo, la ecología siguió siendo una ciencia fragmentada, y permaneció asimismo totalmente diferenciada de muchas de las otras formas especializadas de la biología que habían surgido a principios del siglo XX. En consecuencia, el impulso para establecer una serie de disciplinas centradas en el estudio experimental de diferentes funciones vivas terminó dividiendo las ciencias de la vida en un conjunto de grupos profesionales distintos y a veces hostiles entre ellos.

Conclusiones

A lo largo del siglo XIX, las ciencias de la vida experimentaron importantes transformaciones que crearon prácticamente la forma moderna del ámbito de la biología. La historia natural quedó marginada, aunque algunos naturalistas de campo, incluidos algunos aficionados, siguieron desempeñando un papel en ámbitos como la taxonomía o el estudio de la distribución geográfica. Pasaron a tener más importancia las investigaciones de laboratorio de los grandes museos y universidades, y el naturalista de campo se vio relegado a la función de mero recolector que transmitía información nueva para su procesamiento centralizado. Sin embargo, la presión por desarrollar una ciencia experimental, atrevida, surgida de las áreas biomédicas de las ciencias de la vida, permitió a la fisiología emerger gradualmente como el modelo de lo que debía ser una verdadera biología científica. A la larga, incluso la morfología se vio eclipsada como una disciplina estrictamente descriptiva sin ninguna capacidad explicativa real. Los grandes museos también acabaron marginados, como simples almacenes de material que había que describir y clasificar, actividades apenas más interesantes que la de coleccionar sellos en lo que a los experimentalistas se refería. En los departamentos universitarios y las facultades de medicina se concentraron las investigaciones más prestigiosas. Temas como el evolucionismo, que pretendían establecer un puente entre las técnicas antiguas y las nuevas, se encontraron casi en el mismo apuro que la vieja historia natural. En el curso de estos episodios, se fue abando-

nando poco a poco la vieja teoría de una fuerza vital definida, al tiempo que la atención se iba centrando cada vez más en la búsqueda de explicaciones basadas en la física y la química. Aun así, no todos los pioneros eran materialistas dogmáticos, y muchos biólogos siguen convencidos de que sólo podemos comprender las complejas interacciones que preservan la vida si consideramos el organismo como un todo coordinado.

La expansión de la nueva biología se había costeado gracias a la creciente demanda pública de mejores técnicas médicas, aunque algunos legados de la nueva disciplina han llegado a ser un motivo de preocupación. La enorme especialización de las disciplinas de investigación dio origen a una fragmentación del conocimiento y la pericia técnica que todavía hoy algunos biólogos están luchando por superar. Se han tenido que tender puentes, a menudo con gran dificultad, entre áreas como la genética y la embriología, aunque algún anticuado experto en morfología nos dirá que carece de sentido estudiar la transmisión de caracteres entre generaciones sin mostrar también interés por el modo como esos rasgos se desarrollaron en el organismo individual. La teoría de la evolución también ha debido asumir el hecho de que los cambios en el modo como se expresan los genes quizá han tenido efectos profundos en la aparición de novedades en la historia de la vida en la tierra. Tal vez lo más grave sea que el aislamiento de la ecología respecto a otras esferas especializadas de la biología ha disgregado nuestra respuesta a la actual crisis ambiental. Incluso las viejas disciplinas de la taxonomía y la biogeografía, largo tiempo desatendidas junto con los departamentos de investigación de los grandes museos, están siendo aclamadas como factores esenciales en nuestro esfuerzo por salvar la biosfera. Si no sabemos cuántas especies hay, o dónde viven, ¿cómo vamos a salvarlas? La nueva biología generó, en las ciencias biomédicas, numerosas oportunidades que han transformado nuestra vida gracias a tratamientos basados en descubrimientos sobre cómo funciona el cuerpo. No obstante, un estudio acerca de las transformaciones sociales en la comunidad científica que posibilitaron las ciencias de la vida como actualmente las conocemos revela que la especialización y el inexorable deseo de concentrar las investigaciones en el laboratorio también tienen sus inconvenientes. Si la

biología ha de ser importante para abordar la crisis ambiental así como para satisfacer nuestra demanda de mejores servicios médicos, quizá haya que reconsiderar algunos de los avances en los que la nueva biología se basaba.

Referencias bibliográficas

Ackerknecht, Erwin, *Rudolph Virchow: Doctor, Statesman, Anthropologist*, University of Wisconsin Press, Madison, 1953.

Albury, W. R., «Experiment and Explanation in the Physiology of Bichat and Magendie», *Studies in the History of Biology*, n.º 1 (1977), pp. 47-131.

Allen, Garland E., *Life Science in the Twentieth Century*, Wiley, Nueva York, 1975.

Appel, Tobey A., *The Cuvier-Geoffroy Debate: French Biology in the Decades before Darwin*, Oxford University Press, Oxford, 1987.

Bernard, Claude, *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*, Dover, Nueva York, 1957 (hay trad. cast.: *Introducción al estudio de la medicina experimental*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1996).

Bowler, Peter J., *Life's Splendid Drama: Evolutionary Biology and the Reconstruction of Life's Ancestry, 1860-1940*, University of Chicago Press, Chicago, 1996.

Brock, William H., *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

Brooke, John H., «Wöhler's Urea and Its Vital Force? —a Verdict from the Chemists», *Ambix*, n.º 15 (1968), pp. 84-113.

Caron, Joseph A., «"Biology" in the Life Sciences: A Historiographical Contribution», *History of Science*, n.º 26 (1988), pp. 223-268.

Coleman, William, *Georges Cuvier, Zoologist*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1964.

—, *Biology in the Nineteenth Century: Problems of Form, Function and Transformation*, Willey, Nueva York, 1971.

Foucault, Michel, *The Order of Things*, Pantheon Books, Nueva York, 1970 (hay trad. cast.: *Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas*, Siglo XXI Editores, Madrid, 1997).

French, Richard D., *Antivivisection and Medical Science in Victorian Society*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1975.

Geison, Gerald L., *Michael Foster and the Cambridge School of Physiology:*

The Scientific Enterprise in Late-Victorian Society, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1978.

Goodfield, G. J., *The Growth of Scientific Physiology: Physiological Method and the Mechanist-Vitalist Controversy, Illustrated by the Problems of Respiration and Animal Heat*, Arno Press, Nueva York, 1975.

Hall, Thomas S., *History of General Physiology*, University of Chicago Press, Chicago, 1969, 2 vols.

Harrington, Anne, *Re-enchanted Science: Holism in German Culture from Wilhelm II to Hitler*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1996.

Holmes, Frederick L., *Claude Bernard and Animal Chemistry: The Emergence of a Scientist*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1974.

—, *Hans Krebs: The Formation of a Scientific Life, 1900-1933*, Oxford University Press, Nueva York, 1991.

—, *Hans Krebs: Architect of Intermediary Metabolism, 1933-1937*, Oxford University Press, Nueva York, 1993.

Huxley, T. H., *Methods and Results*, vol. I: *Collected Essays*, Macmillan Londres, 1893.

Kohler, Robert E., *From Medical Chemistry to Biochemistry: The Making of a Biomedical Discipline*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

Lenoir, Timothy, *The Strategy of Life: Teleology and Mechanics in Nineteenth-Century German Biology*, D. Reidel, Dordrecht, 1982.

Lesch, John E., *Science and Medicine in France: The Emergence of Experimental Physiology, 1790-1855*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1984.

Liebig, J. von, *Animal Chemistry: or Organic Chemistry in Its Application to Physiology and Pathology*, Arno, Nueva York, 1964.

Maienschein, Jane, *Transforming Traditions in American Biology, 1880-1915*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1991.

Nordenskiöld, Eric, *The History of Biology*, Tudor Publishing, Nueva York, 1946.

Nyhart, Lynn K., *Biology Takes Form: Animal Morphology in the German Universities, 1800-1900*, University of Chicago Press, Chicago, 1995.

Pauly, Philip J., *Controlling Life: Jacques Loeb and the Engineering Ideal in Biology*, Oxford University Press, Nueva York, 1987.

Rainger, Ron, Keith R. Benson y Jane Maienschein (eds.), *The American Development of Biology*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1988.

Russell, E. S., *Form and Function: A Contribution to the History of Animal Morphology*, John Murray, Londres, 1916.

Rupke, Nicolaas A., *Richard Owen: Victorian Naturalist*, Yale University Press, New Haven, 1993.

Sturdy, Steve, «Biology as Social Theory: John Scott Haldane and Physiological Regulation», *British Journal for the History of Science*, n.º 21 (1988), pp. 315-340.

— 8 —

Genética

El éxito del Proyecto del Genoma Humano ha canalizado gran parte de la atención pública hacia la posibilidad de que un mayor conocimiento de nuestra herencia ayude a eliminar muchas enfermedades debilitantes. La expectación es tal que ahora a muchos expertos les inquieta la enorme y excesiva simplificación que ha penetrado en la opinión pública sobre el papel desempeñado por la herencia en el desarrollo individual. La gente espera que haya un gen «para» cada rasgo concreto, bueno o malo, y cuenta con que llegará una época en que se puedan fabricar «bebés de diseño» que posean sólo las mejores características de sus padres. A los críticos les preocupa el hecho de que, en caso de ponerse en práctica de manera generalizada, esta posibilidad pudiera tener en la sociedad efectos espectaculares y no necesariamente beneficiosos. También señalan que el conjunto del programa se basa en un malentendido respecto a cómo funcionan los genes: la lesión en un solo gen puede causar una afección médica determinada, pero no hay un gen individual que garantice un CI elevado —o una predisposición a una conducta criminal—. Y aunque pudiera identificarse un componente genético para ese tipo de características complejas, los resultados dependerían de la interacción entre los genes y el entorno en el que se desarrolla el organismo. La expectativa de que cada rasgo esté rigurosamente predeterminado por la herencia refleja una visión particular y sumamente controvertida de la naturaleza humana que se ha manifestado de vez en cuando a lo largo del pa-

sado siglo al menos, a menudo con consecuencias muy desagradables. Nos amenaza el resurgir de una nueva e incluso más insidiosa forma de eugenesia... y la historia nos enseña con qué facilidad la ideología del determinismo genético puede escapar a todo control (véase cap. 18, «Biología e ideología»).

En estas circunstancias, es importante comprender cómo surgió la genética moderna y cómo puede emplearse mal para fomentar una visión deformada del grado en que los genes determinan el carácter. En cierta medida, se ha utilizado la historia de la genética para convencernos de que el conocimiento científico de la herencia sólo ha avanzado gracias al descubrimiento y la explotación de la idea de que los organismos tienen rasgos que se transmiten como unidades completas predeterminadas por genes individuales. Todos hemos oído la historia de cómo Gregor Mendel clarificó una disciplina hasta entonces en estado de confusión al descubrir los caracteres unitarios que era posible localizar a través de generaciones sucesivas de guisantes cultivados en el huerto de su monasterio. Y al relacionar esos caracteres con partes concretas de los cromosomas del núcleo de la célula, T. H. Morgan y su equipo formularon la idea clásica de gen (entre las historias tradicionales de la genética se incluye Carlson [1966], Dunn [1965], Sturtevant [1965]). Más recientemente se ha considerado que el descubrimiento en 1953 de la estructura de doble hélice del ADN por James Watson y Francis Crick proporciona la clave de cómo funciona el «código genético» y sienta las bases del desarrollo de la biología molecular y la biología de alta tecnología representada por el Proyecto del Genoma Humano y sus aplicaciones.

Un estudio más minucioso de la historia de la genética sugiere un cuadro mucho más complejo (Bowler, 1989; Keler, 2000; Olby, 1985). El premendeliano «estado de confusión» reflejaba en parte la ausencia de distinciones conceptuales que se aclararon a principios del siglo XX sólo a costa de una excesiva simplificación de las complejas relaciones entre la transmisión de caracteres de padres a hijos y el desarrollo de aquéllos en el embrión. La calificación de Mendel como «precursor» o «predecesor» de la genética del siglo XX ha resultado problemática, en cierto modo porque él seguramente no estaba buscando una nueva teoría de la herencia: es probable que sus famosos experimen-

tos tuvieran como finalidad esclarecer el origen de nuevas especies mediante hibridación. La reformulación de las ideas sobre la herencia que, tras el «redescubrimiento» de la obra de Mendel en 1900, dieron lugar a la creación de la genética moderna evidenciaba un conjunto de intereses intelectuales, profesionales y culturales. Ciertas ideas nuevas en la teoría de la evolución y de la célula apuntaban a la posibilidad de que los caracteres pudieran existir como unidades que se reproducen con arreglo al tipo a lo largo de generaciones. No obstante, el hecho de subrayar la determinación hereditaria del carácter también se vio favorecido tanto por la necesidad de un nuevo modo de controlar la cría de animales y el cultivo de plantas para fines agrícolas como por la aparición de un programa social según el cual algunos seres humanos estaban predestinados a ser inferiores debido a su dotación genética. La teoría del gen unitario nada contaminado por influencias ambientales se usó para crear una disciplina independiente —la genética— dentro de la comunidad científica, aunque sólo en el mundo anglosajón. En Francia y Alemania, la genética no acabó de implantarse como ámbito diferenciado. La idea del determinismo genético rígido despertaba mucho menos entusiasmo, al menos entre los biólogos.

Durante las primeras décadas del siglo XX, diversos genetistas angloamericanos exploraron la idea del gen unitario basándose en que correspondía a una porción diferenciada del cromosoma del núcleo celular. Investigaron la conducta de los cromosomas y la relacionaron con los rasgos heredados, pero no sabían cómo estaba «codificada» la información genética en la estructura química del núcleo y en buena medida pasaron por alto la cuestión de cómo se descodificaba luego esa información en el desarrollo del embrión. La situación empezó a cambiar con la aparición de la biología molecular en los años posteriores a la segunda guerra mundial. Al final se identificó la naturaleza química del material responsable (ADN), y en 1953 Watson y Crick propusieron su inspirada solución al problema de cómo una molécula química podía por un lado duplicarse en la transmisión y por otro codificar la síntesis de proteínas en el organismo en desarrollo. El posterior crecimiento de la biología molecular ha ampliado nuestro conocimiento del funcionamiento de los genes hasta el punto de que

prácticamente ha desaparecido la vieja noción de gen unitario: existen muchos conceptos de gen, según cual sea la función investigada. Diversos trabajos también han permitido conocer mejor cómo se descodifica la información del ADN, aunque todavía carecemos de un programa coherente que conecte eso con las etapas posteriores del desarrollo embrionario. Algunos críticos advierten que la incapacidad de entender lo mucho que aún queda por hacer es lo que alienta valoraciones excesivamente optimistas respecto a la capacidad del Proyecto del Genoma Humano para revolucionar la medicina, amén de una opinión demasiado simplista sobre lo estrictamente que la información genética predetermina el carácter adulto. Esa incapacidad permite que algo como la anticuada idea del gen unitario siga teniendo influencia en el imaginario colectivo, lo que a su vez estimula el resurgimiento de efectos sociales que se parecen al programa eugenésico.

En este capítulo se analizarán los pasos cruciales de la historia de la genética a la luz de las posturas revisionistas antes mencionadas. Pero empezaremos con una visión general del período premendeliano para mostrar por qué varias generaciones de naturalistas pensaron en los temas pertinentes sin darse cuenta de que era posible tener una disciplina aparte que abordara el estudio de la herencia. Eso no era tanto un estado de confusión (pese a que, de acuerdo con criterios posteriores, algunas cuestiones eran confusas) cuanto una situación en la que simple y llanamente era inconcebible que pudiera estudiarse la transmisión de caracteres sin pensar en cómo éstos se desarrollaban en el embrión. Los debates en embriología se utilizaron para definir posturas contrapuestas sobre el papel de la preformación y la influencia ambiental, mientras con el tiempo la teoría de la evolución servía para saber por qué el desarrollo del embrión seguía un camino predeterminado. En esta línea, de vez en cuando se llevaban a cabo estudios acerca de cómo se transmitían los caracteres individuales de una generación a otra, si bien lo más probable era que éstos reflejaran los intereses prácticos de los criadores de animales o los agricultores para crear un marco sistemático que esclareciera fenómenos que ellos debían controlar.

Preformación frente a epigénesis

A finales del siglo XVII, en respuesta a una crisis provocada por la aplicación de la «filosofía mecanicista» a los seres vivos, se estableció la posibilidad de que los rasgos del organismo adulto estuvieran predeterminados desde el momento de la concepción (o incluso antes). Si el organismo era simplemente una máquina compleja, ¿cómo podía resultar de un proceso de desarrollo a partir de materia no diferenciada? ¿No sería que las leyes de la mecánica eran incapaces de organizar la materia para generar una estructura con sentido? En una época en la que todavía imperaba la teología natural, existía una posible solución al dilema. Quizá las leyes de la naturaleza no necesitaban construir orden partiendo del caos porque la estructura del organismo ya existía en miniatura, la cual sólo precisaba ser «rellenada» con materia adicional a fin de mostrar las partes al naturalista que estudiara el embrión en desarrollo. En la forma más extrema de la «teoría de la preformación», los embriones de generaciones sucesivas de las especies se almacenaban uno dentro del otro a modo de muñecas rusas, cada uno esperando su turno para desarrollarse. Dios había creado directamente la totalidad de la raza humana, encerrada en el esperma de Adán o el ovario de Eva (fig. 8.1; Pinto-Correia, 1997; Roe, 1981; Roger, 1998).

Diversos biólogos posteriores han ridiculizado esta teoría, que en efecto parece estrafalaria y contraria a la observación. Seguramente, como ya indicaban los estudios microscópicos antes de 1700, el embrión crecía a partir de un trozo de tejido indiferenciado mediante la adición secuencial de partes, proceso conocido como epigénesis. La interpretación habitual de que los estudios microscópicos respaldaban la preformación —al sostener que podían verse a menudo minúsculos rudimentos antes del desarrollo principal de una estructura— pone de manifiesto la facilidad con que las ideas teóricas preconcebidas configuran la observación. Y aun así la idea de la preformación no es tan ridícula como parece: de hecho, el propio término «preformación» se utilizaba a finales del siglo XIX para aludir a teorías que presuponían que la futura estructura del embrión estaba de alguna manera prede-

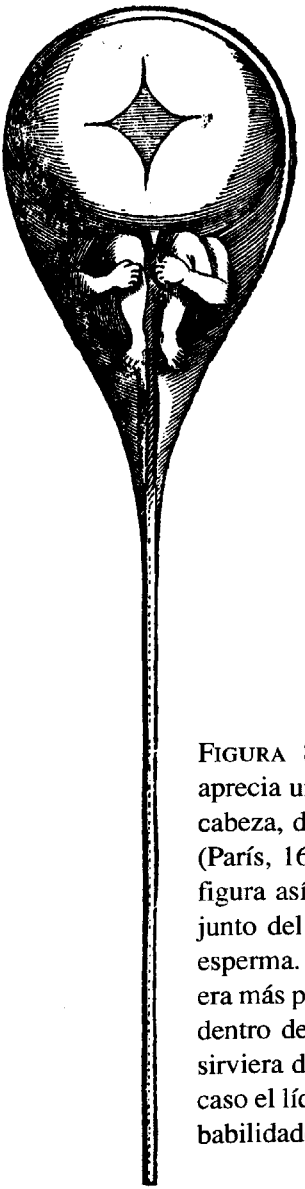


FIGURA 8.1. Espermatozoide humano en el que se aprecia una hipotética figura humana preformada en la cabeza, de *Essai de dioptrique*, de Nicolas Hartsoeker (París, 1694). Hartsoeker no afirmaba haber visto una figura así, pero reveló lo que cabría esperar si el conjunto del organismo preexistiera realmente dentro del esperma. Para la mayoría de los naturalistas de la época era más probable que la miniatura estuviera preformada dentro del óvulo femenino y que el semen masculino sirviera de estímulo para iniciar su desarrollo (en cuyo caso el líquido seminal, no el esperma, tendría más probabilidades de ser el agente clave de la fertilización).

terminada en la concepción mediante información codificada en el óvulo fertilizado. Actualmente creemos que la información está inscrita en una estructura química que de un modo u otro se «descodifica» a lo largo del desarrollo. Estos avances no estaban a disposición de los pensadores de los siglos XVII y XVIII, por lo que no sorprende que imaginaran miniaturas verdaderas a la espera de su desarrollo. Lejos de ser una teoría absurda, en realidad la preformación definía una idea crucial que debía ser reformulada para crear la concepción clásica de gen.

Naturalmente, con la teoría de la preformación hubo problemas. Para empezar, se discutía sobre si las miniaturas se almacenaban en el óvulo femenino o en el esperma masculino (tenía que ser uno o el otro). Ganó el óvulo, porque si no en cada eyaculación masculina se perdería un número inmenso de miniaturas humanas plenamente formadas. Pero entonces, ¿cómo explicar la transmisión de caracteres derivados del progenitor que no aprovisiona a la miniatura, como el cabello pelirrojo heredado por los hijos? Un ataque contra el preformacionismo a cargo del erudito francés Pierre Louis de Maupertuis en 1745 incluyó un primer intento de localizar caracteres a través de una serie de generaciones tanto por el lado masculino como por el femenino, lo que a veces se ha interpretado como una anticipación del trabajo de Mendel. La respuesta fue que el semen masculino proporciona alimento en las primeras fases del crecimiento del óvulo, lo que permitiría la transmisión de algunos rasgos masculinos. Maupertuis siguió un camino más audaz —como muchas de las figuras radicales de la Ilustración, rechazaba la idea de un Dios que lo hubiera diseñado todo—. Según él, las leyes de la naturaleza pueden efectivamente construir el embrión partiendo de una mezcla de semen líquido proporcionado por ambos padres (en esa teoría, tanto el espermatozoide como el óvulo son irrelevantes). Sin embargo, esto volvió a enfrentarlo con el problema que había generado la teoría de la preformación en un principio: ¿cómo es que simples leyes de la mecánica controlan el movimiento de la materia con tanta precisión que pueden formar un embrión a partir de un líquido desorganizado?

Maupertuis eludió el problema dando a entender que la materia tiene poderes, como la memoria y la volición. Ciertos adversarios del

preformacionismo de finales del siglo XVIII, como C. F. Wolff, eran abiertamente vitalistas: para explicar la producción paulatina de las partes embrionarias mediante la epigénesis recurrían a fuerzas no materiales y con sentido que imponían orden en el material incorporado a la estructura. Al principio del siglo siguiente, el preformacionismo estaba muerto, y los embriólogos se dedicaron al estudio del proceso gradual en virtud del cual se creaba el nuevo organismo. Comúnmente se admitía que el patrón de desarrollo seguía una secuencia más o menos lineal de jerarquía similar a la vieja «cadena del ser». Según esa teoría, el embrión humano era primero un invertebrado, y luego sucesivamente un pez, un reptil y un mamífero inferior antes de adquirir sus rasgos humanos característicos. Aún se daba por supuesto que el control corría a cargo de cierta fuerza orientadora no física. La situación se volvió más interesante cuando pareció que la secuencia del desarrollo correspondía a la historia de la vida en la tierra como se revelaba en los restos fósiles. Evolucionistas de finales del siglo XIX como Ernst Haeckel defendían la «teoría de la recapitulación», en la que el desarrollo del embrión (ontogenia) condensa la historia evolutiva de sus especies (filogenia). (Véase cap. 6, «La revolución darwiniana», y Gould [1977].)

En esa síntesis del evolucionismo y la embriología había poco margen para la idea de los caracteres rígidamente predeterminados o, de hecho, para un estudio aparte de cómo se heredarían las diferencias de rasgo. El patrón general de la ontogenia estaba predeterminado por la historia pasada de la especie, pero, como la mayoría de los recapitulacionistas, Haeckel aceptaba la teoría lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos. La ontogenia debía ser lo bastante flexible para permitir al organismo adaptarse a los cambios en su entorno, si bien el lamarckismo daba por sentado que esas autoadaptaciones son empujadas hacia la ontogenia, por lo que generaciones futuras pueden heredarlas. Haeckel no era vitalista, pero su filosofía del «monismo» partía de la base de que la materia y la mente son aspectos distintos de una sustancia subyacente, lo que le permitió atribuir propiedades mentales incluso a las entidades naturales más básicas. Para él y sus partidarios, la herencia equivalía a la memoria: de hecho, el embrión en desarrollo está recordando la secuencia de caracteres añadidos en

el curso del linaje evolutivo de su especie. Con tal cosmovisión, no había ninguna perspectiva de que surgiera nada parecido a la genética moderna.

En realidad, Haeckel se consideraba darwinista, aunque su evolucionismo se basaba poco en la teoría de la selección natural que actuaba sobre las variaciones individuales. Dicha teoría se centraba efectivamente en las diferencias de rasgo entre los individuos, y se centraba en el supuesto de que esas diferencias se heredan. Se ha dicho con frecuencia que la teoría de Darwin pedía a gritos el modelo genético de la herencia, que favorecería la preservación de variaciones como unidades de transmisión a las generaciones futuras. Sin embargo, Darwin exploró un punto de vista diferente más en sintonía con el modelo de desarrollo perfilado antes (Gayon, 1998). Su teoría de la «pangénesis», publicada en 1868, daba por sentado que la herencia funciona mediante la transmisión, a los hijos, de partículas minúsculas, o «gémulos», que brotaban de las diversas partes de los cuerpos de sus padres. Suponía que, en la mayoría de los casos, se producía una mezcla de gémulos parentales para cualquier estructura, de modo que las diferencias de rasgos se combinaban en los hijos. Lo más significativo es que la teoría dependía de las estructuras materiales responsables de la herencia que estaban siendo formadas por los cuerpos de los padres —a diferencia de la teoría moderna, no había unidades genéticas transmitidas sin cambios de una generación a la siguiente—. El propio Darwin aceptaba el lamarckismo además de la selección natural, pues ciertos cambios adquiridos por los cuerpos de los padres quedarían reflejados en sus gémulos y por tanto podrían ser heredados.

Mendel

La breve perspectiva general anterior explica por qué los experimentos clásicos de cultivo de Mendel, publicados en 1865, cayeron en saco roto: nadie estaba pensando en términos de unidades de rasgos transmitidas de una generación a la siguiente. En la historia ortodoxa de la genética, Mendel transformó la situación (cuando menos potencialmente) al proponer un modelo de la herencia por completo nuevo

que aclaraba todas las dudas inherentes a las ideas anteriores. El problema es que el valor de esas percepciones tardó tiempo en hacerse patente, por lo que Mendel murió en el olvido, y su modelo tuvo que ser «redescubierto» en 1900 por los biólogos que acabarían fundando la genética moderna. Los avances que posibilitaron el lanzamiento de esa nueva iniciativa constituyen el tema de la siguiente sección, pero primero hemos de intentar encajar a Mendel en el cuadro general. Los historiadores de la ciencia han sospechado cada vez más de los precursores o predecesores que supuestamente han formulado teorías nuevas mucho antes de que éstas fueran finalmente aceptadas. Habida cuenta de nuestra común suposición de que el conocimiento científico depende del contexto, parece intrínsecamente improbable que un individuo sea capaz de aislarse de su medio intelectual y prever de algún modo el de una generación futura. En el enfoque de Mendel sin duda había algo nuevo, pero estudios históricos recientes indican que la imagen tradicional de Mendel como precursor de la genética se elaboró con el fin de procurar a la nueva ciencia un mito de la Creación basado en un fundador incomprendido. Desde luego no previó la totalidad del sistema conceptual de la genética de principios del siglo XX, y, en palabras de un historiador, el propio Mendel no era mendeliano (Olby, 1979; 1985, apéndice).

Al parecer, el problema surgió porque los redescubridores leyeron, en los documentos de Mendel, muchas de sus propias ideas. Dieron por supuesto que también él, como ellos, estaba buscando una ley general de la herencia. Por lo visto, supusieron asimismo que los experimentos de Mendel no tenían sentido a menos que se interpretaran en función de caracteres unitarios definidos por cierta clase de partícula material transmitida entre generaciones (el gen, como terminó sabiéndose). Historiadores recientes han señalado que en el trabajo de Mendel no se mencionan partículas materiales emparejadas: sólo se analizan diferencias de rasgo y no se formulan hipótesis sobre su conservación. Más interesante aún es el hecho de que, al examinar el contexto en el que Mendel pensó en la cuestión, nos percatamos de que quizá no estaba indagando sobre ninguna ley de la herencia. La reinterpretación más radical sugiere que en realidad Mendel intentaba hallar una alternativa a la teoría de la evolución de Darwin —no previó que sus resultados pudieran considerarse

la base de un nuevo modo de pensar acerca de la herencia (Callendar, 1988)—. Esta interpretación revisionista tiene la principal ventaja de hacer que carezca de sentido el problema de por qué nadie comprendió su nueva «teoría de la herencia», pues no existía tal teoría.

Mendel desarrolló sus ideas hibridando variedades del guisante común que tenían características particulares y localizando esas diferencias de rasgo a través de generaciones sucesivas. Esos experimentos eran ya tradicionales: los realizaban por un lado horticultores que buscaban controlar mejor sus cultivos y, por otro, también naturalistas inspirados en la propuesta que hiciera Carolus Linneo el siglo anterior en el sentido de que las especies nuevas acaso fueran generadas por la hibridación de otras existentes (Roberts, 1929). Reexaminar esa idea habría sido una decisión lógica en el caso de un sacerdote católico a quien desagradaba la teoría de Darwin. Al cruzar variedades muy características de guisantes, Mendel esperaba aclarar si los cruces entre especies podían producir formas nuevas de manera permanente. Esto explicaría por qué se mostraba él tan atento a la posibilidad de localizar rasgos fijos en los híbridos y su progenie; pero la verdadera cuestión era establecer las leyes de la hibridación, no las de la herencia.

Mendel había adquirido una formación científica limitada antes de ingresar como monje en el monasterio de Brno, en Moldavia, donde llevó a cabo sus experimentos (Henig, 2000; Iltis, 1932; Orel, 1995). Empezó con diversas variedades del guisante común que habían sido seleccionadas artificialmente para reproducirse conforme al tipo y escogió siete diferencias de rasgo a fin de rastrear por las generaciones de híbridos. Así pues, cruzó una variedad muy alta con otra muy baja y observó que no había combinación: todas las plantas de la primera generación de híbridos eran más bien altas y no de altura intermedia. Al parecer, el rasgo bajo había desaparecido. Al cruzar los híbridos para producir la segunda generación, obtuvo su famosa proporción de tres a uno. El carácter bajo había reaparecido, aunque sólo en una cuarta parte de las plantas; las otras tres cuartas partes eran altas, lo que pone de manifiesto que los estados de rasgo existían como unidades diferenciadas y que uno de ellos era de algún modo «dominante» sobre los otros (recesivos). En una forma híbrida existía el potencial de un rasgo recesivo, pero si estaba también presente el potencial del rasgo dominante,

el primero quedaría totalmente oculto en el organismo adulto. Los experimentos revelaron que hemos de entender la herencia en términos de determinantes de rasgo emparejados, de modo que cada organismo hereda un determinante de cada padre y transmite uno a cada hijo. Mendel no especificó que los rasgos estuvieran determinados por partículas materiales transmitidas de padres a hijos, y aunque la mayoría de los genetistas tempranos daban por supuesto que seguramente él había tenido en mente esa situación, no hay ninguna prueba de ello.

Si expresamos los experimentos en la posterior terminología genética (como se leyeron los documentos de Mendel a partir de 1900), hemos de suponer que, para un rasgo determinado como la altura de la planta del guisante, hay dos unidades genéticas capaces de controlar dicho rasgo (dos «alelos»), en este caso una para las plantas altas (A) y otra para las bajas (B). Cada planta tiene un par de genes heredados de sus padres, y en las variedades puras ha de ser AA en las plantas altas y BB en las bajas. La primera generación de híbridos seguramente deriva de un gen de cada padre (AB), pero entonces interviene la relación dominante-recesivo y sólo se expresa el gen «alto».

AA × BB
(alta) (baja)
↓
AB
(alta)

Los híbridos son físicamente idénticos al padre alto, pero difieren genéticamente porque cada uno lleva una copia oculta del gen B. Cuando se cruzan los propios híbridos, obtenemos las cuatro combinaciones posibles de A y B en un número aproximadamente igual, y al aplicar nuevamente la regla dominante-recesivo tenemos cuatro estados, de los que tres producirán plantas altas mientras en el otro puede expresarse otra vez el gen bajo recesivo:

AB × AB
↓
AA AB BA BB
(alto) (alto) (alto) (bajo)

Mendel también puso de manifiesto que las siete diferencias de rasgo que estudió se transmitían independientemente unas de otras. Tras su muerte, sus partidarios supusieron que era posible generalizar esa situación para formular una teoría completa de la transmisión genética partiendo de caracteres unitarios diferenciados inalterados a través de las generaciones y una herencia que no se combina debido a la condición dominante.

Preludio de la genética

Los documentos de Mendel fueron leídos ante su sociedad local de historia natural en 1865 y publicados al año siguiente (traducción en Bateson, 1902; Stern y Sherwood, 1966). Apenas se le hizo caso. El único científico que lo tomó en serio, Carl von Nägeli, lo animó a trabajar con la pilosela (nomeolvides), una planta cuya compleja genética se resistía al análisis mediante las técnicas citadas. Varias de las primeras historias de la genética trataron de justificar la larga desatención hacia los documentos de Mendel apelando a que la publicación en la que habían aparecido era casi desconocida. Hoy descubrimos más razones esenciales de por qué nadie le dio importancia. Los caracteres unitarios eran incompatibles con el conjunto del marco teórico en el que la mayoría de los biólogos reflexionaban sobre la herencia y el desarrollo. Si el propio Mendel hubiera considerado su trabajo como una aportación al debate sobre especies híbridas, no habría tenido interés alguno en presentarlo como fundamento de una teoría de la herencia. En un sentido más práctico, los estados de rasgo claramente diferenciados que estudió en sus guisantes no son típicos de la mayoría de las especies, por lo que su investigación habría parecido sólo una excepción a la regla. La mayoría de los rasgos de la mayoría de las especies están controlados por varios genes distintos que se mezclan promiscuamente entre la población y dan la sensación aparente de combinación. Lo más significativo es que crean en el seno de la población un intervalo continuo de variación, como había observado Darwin. Lo seres humanos no se encuadran en las categorías bien determinadas de gigantes y enanos: la mayor parte de las personas son de una estatura

mediana, con un número pequeño de individuos altos y bajos en uno y otro extremo del intervalo, respectivamente.

Haría falta un gran esfuerzo imaginativo para ver cómo se podían explicar los diversos fenómenos de la herencia mediante las leyes de Mendel; hoy podemos preguntarnos qué cambios tuvieron lugar en el marco de las opiniones científicas, entre 1865 y 1900, que hicieran posible el redescubrimiento del trabajo de Mendel. Se produjeron importantes avances tanto en el conocimiento del proceso reproductor como en la teoría de la evolución, lo que centró la atención en la idea de la herencia como fuerza que predeterminaba los rasgos adultos y en la posibilidad de que esos rasgos fueran unidades diferenciadas. Poco a poco aumentó el interés por el control experimental de fenómenos como la herencia y el desarrollo, en especial cuando la teoría de la recapitulación resultó ser poco fiable como guía de la evolución (Allen, 1975). De cualquier modo, ese nuevo énfasis en el seno de la biología era en parte una respuesta a cambios más generales que se estaban produciendo en la sociedad en general. El crecimiento del movimiento eugenésico concentró la atención pública en la herencia como fuente de rasgos degenerados en la población humana. Las contribuciones de Francis Galton al debate sobre la herencia se inspiraban en su creencia de que, al nacer, el carácter humano —bueno o malo— está predeterminado por la herencia. El trabajo de los criadores de animales y de los horticultores también se estaba volviendo crucial a medida que los agricultores y expertos agrónomos buscaban mejores formas de aplicar la selección artificial para producir variedades nuevas y provechosas. Estaba empezando a abrirse un hueco para una nueva ciencia de la herencia que ofreciera la información en la cual pudiera basarse el control de las poblaciones humana y no humana.

Al centrar la atención en cómo se transmiten los rasgos, se fomentaron diversos avances. En aquella época, en biología predominaba la teoría de la célula (véase cap. 7, «La nueva biología»). En 1875, Oscar Hertwig puso de manifiesto que el embrión crece a partir de la célula única del óvulo femenino fertilizado por material procedente del núcleo de un único espermatozoide masculino. Edouard van Beneden reveló que los gametos (óvulo y espermatozoide) recibían sólo una hebra de los cromosomas normalmente emparejados —esas estructu-

ras con forma de varilla se denominaban así porque adquirían el color de los tintes usados para hacer las muestras más visibles al microscopio—. Con toda evidencia, el acto de la fertilización creaba para los hijos un par compuesto de un elemento de cada padre (fig. 8.3, p. 256). Esos descubrimientos constituirían la base del mecanismo propuesto por los primeros genetistas para explicar el emparejamiento de rasgos en los experimentos de Mendel. August Weismann insistía en que los cromosomas eran la sede de lo que él llamaba el «germoplasma», la base material de la herencia que de un modo u otro transmitía características de padres a hijos. No obstante, Weismann hacía hincapié en que el germoplasma estaba aislado del resto del cuerpo, por lo que se transmitía inalterado de una generación a la siguiente. Según ese modelo de la herencia, el lamarckismo era imposible, y no quedaba margen para ideas vagas de que el embrión «recordara» su pasado evolutivo. Weismann no concebía los rasgos predeterminados como unidades a gran escala, lo que favorecía el modelo darwiniano de la selección natural basado en minúsculas variaciones germinales.

Ese modelo gradualista de la evolución empezó a recibir críticas en la última década del siglo, a medida que los biólogos renovaban su interés en la vieja idea de que la evolución funciona mediante saltos repentinos. En 1894, el biólogo británico William Bateson publicó sus *Materials for the Study of Variation* [Materiales para el estudio de la variación], en los que atacaba la teoría darwiniana y recalcaba que minuciosos estudios con muchas especies sugerían que los nuevos rasgos se producían debido a saltos repentinos. Por ejemplo, si una flor cambiaba y pasaba de una variedad de cuatro pétalos a una de cinco, el pétalo adicional no resultaría de la lenta expansión de un rudimento diminuto sino de un cambio súbito en el proceso del desarrollo. El botánico holandés Hugo De Vries formuló su «teoría de las mutaciones», según la cual la evolución obraba a base de saltos repentinos, con lo que generaba variedades nuevas, e incluso especies nuevas, de manera instantánea. Esto estaba respaldado por los trabajos con la prímula de noche, aunque posteriormente se supo que lo que De Vries estaba observando no eran mutaciones genéticas sino recombinaciones de rasgos debidas a la hibridación. La teoría de las mutaciones llegó a ser muy popular en el cambio de siglo, y estimuló una atmósfera

en la que los biólogos se inclinaban a pensar que si los nuevos rasgos eran creados como unidades, quizá después se reproducirían con arreglo al tipo como unidades. No es casualidad que muchos de los padres fundadores de la genética empezaran partiendo de un interés en la evolución por saltos —De Vries fue uno de los redescubridores del trabajo de Mendel, y Bateson acabó siendo el principal defensor británico de lo que él denominaba «genética».

Mendelismo y genética clásica

De este modo se abonó el terreno para el redescubrimiento de las leyes de Mendel. En 1900, dos biólogos que habían estado llevando a cabo experimentos de hibridación anunciaron las leyes de transmisión ya apuntadas por Mendel. Uno era De Vries; el otro, el botánico alemán Carl Correns (actualmente la pretensión de que hubiera un tercer descubridor, Erich von Tschermak, es mayoritariamente rechazada pues éste en realidad no entendía las leyes). Pronto se consideró a Mendel como un precursor, y de hecho es probable que la claridad de su exposición ayudara a los investigadores posteriores, sobre todo a De Vries, a entender qué pasaba. También Bateson quedó impresionado al leer los documentos de Mendel y pronto hizo la primera traducción al inglés junto a un sólido razonamiento que constituiría la base de una nueva ciencia de la herencia (Bateson, 1902). La disposición de todos los implicados a reconocer a Mendel como el fundador de la nueva ciencia quizá estaba inducida por el deseo de atajar una controversia potencialmente enconada sobre quién habría sido realmente el redescubridor. Especialmente para Bateson, las leyes brindaban un modelo que transformaría totalmente el estudio de la herencia. Los rasgos que no encajaban en el modelo eran intrascendentes, afirmación que prolongó una acre disputa con la escuela biométrica del darwinismo encabezada por Karl Pearson, quien insistía en que todas las variaciones normales exhibían un intervalo continuo (Gayon, 1998; Provine, 1971). La mayoría de los primeros partidarios de Mendel respaldaban la teoría de las mutaciones y daban por supuesto que se introducían nuevos rasgos repentinamente mediante alteraciones espec-

taculares de los factores mendelianos. Curiosamente, De Vries pronto perdió interés en el mendelismo; para él, los rasgos mutados no se ajustaban de manera forzosa a las leyes.

En 1905, Bateson acuñó el término «genética», que propuso en un congreso internacional celebrado al año siguiente. Intentó promover la nueva ciencia en la Universidad de Cambridge, pero quienes tenían verdadero interés eran los criadores de animales y los agricultores, por lo que finalmente se trasladó al Instituto de Horticultura John Innes. Su discípulo R. C. Punnett tomó posesión, en 1916, de la primera cátedra de genética de la Universidad de Cambridge. En América, la nueva ciencia también fue recibida con entusiasmo debido a los intereses agrícolas, aunque aquí resultó más fácil establecerla como disciplina académica porque el sistema universitario estaba creciendo. Muchas de las primeras demostraciones de los efectos mendelianos se llevaron a cabo en especies con valor comercial (fig. 8.2). En los primeros años, la disciplina se basó en un modelo teórico definido sólo en función del modo como se transmitían los rasgos. Ni Bateson ni Punnett estaban interesados en la posibilidad de que las características estuvieran preformadas por información codificada en la estructura material de los cromosomas. Bateson se oponía filosóficamente al materialismo y rechazaba la teoría cromosómica del gen incluso después de que, al cabo de una década, fuera aceptada de manera general. El botánico danés Wilhelm Johannsen introdujo el término «gen» e hizo hincapié en que el «genotipo» (la constitución genética) del organismo es el único factor pertinente para averiguar los efectos en las generaciones futuras —de este modo se confirmaba de nuevo la oposición de Weismann al lamarckismo—. Aun así, al igual que Bateson, Johanssen no concebía el gen como una partícula material: prefería considerarlo un estado estacionario de energía en el organismo como un todo.

Lo que acabó conociéndose como genética clásica surgió en el período 1910-1915 gracias a los esfuerzos del biólogo americano T. H. Morgan y su escuela por conectar las leyes de la herencia y la conducta de los cromosomas en el proceso de la fertilización (Allen, 1978). En un principio, Morgan había rechazado el mendelismo, si bien había atacado el darwinismo en nombre de la teoría de las mutaciones. Lo que le interesaba ahora era el evidente paralelismo entre el modo como

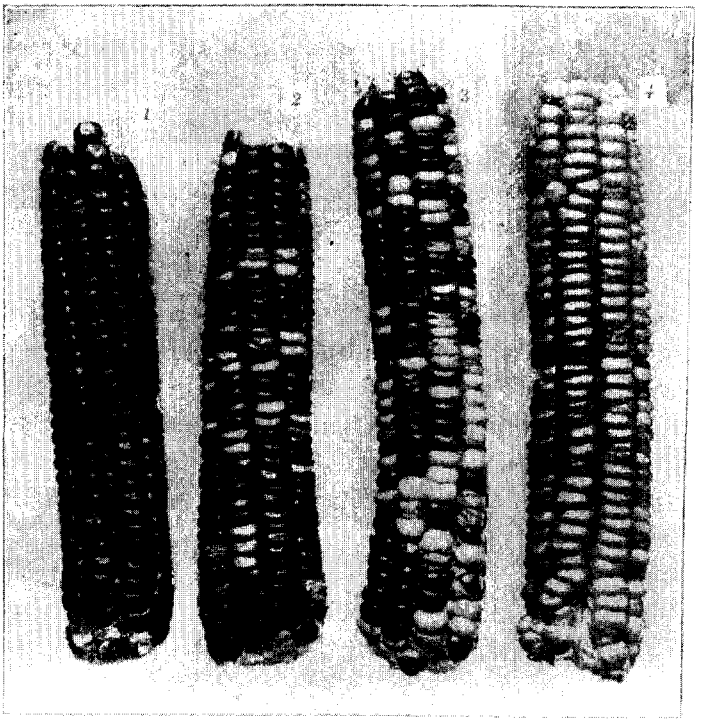


FIGURA 8.2. Mazorcas de maíz híbridas en que se aprecia la segregación mendeliana de granos de distinto color, de *Heredity and Eugenics*, de W. E. Castle *et al.* (University of Chicago Press, Chicago, 1922). Muchos de los primeros estudios para confirmar las leyes de la genética se realizaron con especies que eran importantes para el sector económico, pues se esperaba que, si se entendía cómo se transmitían los rasgos, los criadores y agricultores adquirirían información sobre cómo mejorar su producción.

se formaban los cromosomas emparejados mediante la fusión del óvulo y el espermatozoide y la transmisión de los rasgos mendelianos (fig. 8.3). Se centró en la mosca de la fruta, *Drosophila*, cuyos cromosomas por lo general son grandes y, por tanto, más fáciles de estudiar (Kohler, 1994). Según Morgan, lo mejor era entender el gen como una sección del cromosoma que estaba codificado de algún modo para originar el correspondiente rasgo en el organismo en desarrollo. Él y sus discípu-

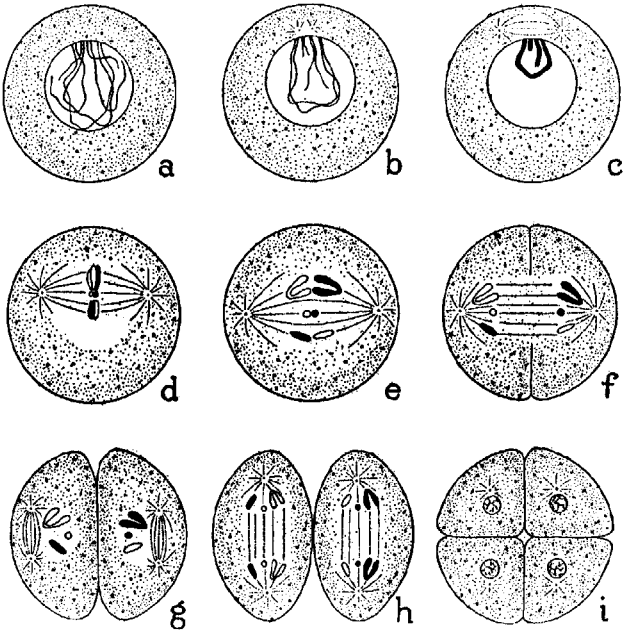


FIGURA 8.3. Conducta de los cromosomas durante la división por reducción, o meiosis, que aquí se aprecia en la formación de un espermatozoide, de *Evolution and Genetics* (Princeton University Press, Princeton, NJ, 1925, p. 80), de T. H. Morgan. La parte crucial del proceso para explicar las leyes de Mendel aparece en la fila intermedia (fases *d-f*), en que los cromosomas se dividen y a continuación se separan en dos células, cada una de las cuales contiene sólo un elemento del par original de la célula parental. De hecho, el proceso es muy complejo y conlleva una segunda división, que finaliza en la fase *i* con cuatro espermatozoides. Ésta es una representación idealizada de lo que se observa al microscopio y combina los resultados de muchos años de investigaciones realizadas por diversos biólogos de finales del siglo XIX y principios del XX.

los fueron incluso capaces de crear correlaciones que mostraban dónde estaba situado aproximadamente cada gen en su cromosoma. Los resultados se recogieron en un libro titulado *The Mechanism of Mendelian Inheritance* [El mecanismo de la herencia mendeliana] (Morgan *et al.*, 1915), que definía la teoría clásica del gen.

Morgan y sus discípulos estudiaron también la formación de nuevos rasgos genéticos por mutación. Revelaron que había ocasionales transformaciones repentinas de un gen existente en algo que codificaba un rasgo nuevo, el cual a continuación se transmitía inalterado a la generación siguiente, sustituyendo de hecho al gen original. Con independencia de cuál fuese la estructura material del gen, obviamente podía ser modificada para codificar así algo nuevo. Ciertas fuerzas externas, como la radiación, producían mutaciones, muchas de las cuales eran triviales o incluso perjudiciales. Sin embargo, Morgan también observó que la mayoría eran bastante pequeñas y que sus portadores parecían reproducirse normalmente con el resto de la población. Esa idea, junto con una creciente disposición a admitir que muchos rasgos reciben la influencia de más de un gen, allanó el terreno para la reconciliación final entre la genética y el darwinismo. La mutación era la fuente de la variación aleatoria que Darwin daba por sentada en todas las poblaciones, mientras que las leyes de Mendel permitían que el proceso de selección funcionara reduciendo la frecuencia de un gen dañino e incrementando la de un gen ocasional que otorgara una ventaja adaptativa.

La genética pronto se consolidó en las comunidades científicas de América y Gran Bretaña y, junto a ella, la suposición de que el gen cromosómico predetermina de manera absoluta el rasgo que ha de ser desarrollado por el organismo al que se transmite (por eso la teoría podría describirse como un resurgimiento del preformacionismo). No obstante, la situación era muy distinta fuera del mundo anglosajón, lo que ilustraba el grado en que incluso avances científicos importantes reflejaban el contexto local en el que se llevaban a cabo las investigaciones. En Francia casi nadie tomó la teoría en serio; a uno de sus genetistas más importantes, Lucien Cuénot, le interesaba más cómo se expresaba el gen en el organismo en desarrollo (Burian, Gayon y Zallen, 1988). El trabajo de Cuénot se conoció como genética fisiológica, mientras que el de la escuela de Morgan tomaría el nombre de genética de la transmisión. En Alemania, la teoría tuvo más éxito, pero no se usó para definir una disciplina biológica nueva (Harwood, 1993). También los biólogos alemanes estaban interesados tanto en la genética fisiológica como en la de la transmisión, y muchos de ellos

ponían en entredicho el rígido preformacionismo de la teoría cromosómica. Quizá el material circundante de la célula, el citoplasma, también desempeñaba una función en la herencia, que tal vez no estaba tan rigurosamente aislada de los efectos ambientales (Sapp, 1987).

Esas diferencias geográficas nos revelan que la genética clásica de la comunidad científica angloamericana no era la manifestación inevitable de un inequívoco paso adelante en nuestro conocimiento de la naturaleza. La teoría cromosómica del gen era importantísima, pero se centraba en un reducido conjunto de temas y excluía ideas y percepciones que más adelante resultarían cruciales. Lo más obvio fue que la limitada atención a la transmisión distanció a los genetistas de los bioquímicos y embriólogos, y les dejó sin ningún control (y, de hecho, ningún interés) sobre la cuestión de cómo el gen es capaz de dirigir al embrión en crecimiento de una manera tan determinista. En la teoría cromosómica del gen, sólo importaba cómo pasaba éste de una generación a la siguiente. Ese estrechamiento del programa de investigación no sólo dividió la biología en ámbitos rivales, sino que también estimuló la idea en el seno de la opinión pública de que en el ser humano individual el gen era el determinante del carácter. Muchos de los primeros genetistas respaldaron el programa eugenésico y su estrategia de limitar la reproducción de los que portaban genes «no aptos» (véase cap. 18, «Biología e ideología»). Aunque pronto comenzaron a darse cuenta de las excesivas simplificaciones que ello comportaba, tardaron mucho en denunciar la política de los años previos a los excesos de los nazis en Alemania, que pusieron de relieve las espantosas consecuencias de aplicarla de un modo riguroso. El problema era que dicha política satisfacía la pretensión de los genetistas de la transición de que, durante el desarrollo embrionario, no pasaba nada muy interesante en el proceso de descodificación del gen. Así pues, estaban atrapados en una ideología que negaba la posibilidad de que ciertos factores ambientales afectaran al modo como se expresa el gen y, por tanto, al rasgo del organismo adulto. En cierta medida, todavía estamos influidos por las anteojeras conceptuales que este enfoque impone en nuestra manera de pensar en la relación entre genes y organismos.

Biología molecular

Los puntos débiles de la genética clásica se hicieron patentes gracias al hecho de que muchos de esos pasos clave para descifrar la naturaleza del código genético se inspiraban en investigaciones realizadas en áreas ajenas a su influencia. La genética clásica no decía nada sobre la esencia del código genético; sólo daba por supuesto que, por alguna razón, una sección del cromosoma contenía una sustancia química capaz de predeterminar el desarrollo embrionario de cierta manera. Elucidar la naturaleza del código requeriría ideas y técnicas nuevas y, en consecuencia, una revolución en los mismos fundamentos de la genética. Hacía falta información para establecer cómo una sustancia química podía duplicarse con tal precisión que pudieran transmitirse copias idénticas de una célula a otra. Pero lo más importante es que se necesitaría toda un área nueva de investigación para conectar los procesos bioquímicos que tienen lugar en los genes en las primeras etapas del desarrollo embrionario. ¿Cómo se las arreglaba el código químico para no sólo copiarse a sí mismo sino también, en diferentes circunstancias, desencadenar una cascada de transformaciones químicas complejas que influirían en el modo como se formaban las células del embrión? Ésas eran las cuestiones que serían abordadas por la nueva ciencia de la biología molecular surgida en las décadas centrales del siglo XX (Echols, 2001; Judson, 1979; Olby, 1974). Los historiadores aún están discutiendo si la aparición de esta nueva disciplina constituye una revolución científica al modo kuhniano, o si aquélla se entiende mejor como la aplicación de una nueva capa de conocimientos —derivados de estudios tan diversos como la bioquímica y la física— a los problemas tradicionales identificados por la genética.

En la década de 1930, se había descubierto que ciertos virus (que, en esencia, son genes desnudos) tienen una estructura compuesta del noventa por 100 de proteína y del diez por 100 de ácido nucleico. Lógicamente, al principio se dio por sentado que la proteína llevaba el mensaje genético. No fue hasta la década de 1940 cuando se empezó a centrar la atención en el ácido nucleico, del cual ya se sabía que había dos tipos, el ribonucleico (ARN) y el desoxirribonucleico (ADN);

más adelante, nuevas investigaciones realizadas con virus confirmaron que el mensajero genético era el ADN. Entonces se planteó la siguiente cuestión: ¿cómo podía la estructura de la molécula de ADN duplicarse a sí misma, por un lado, y portar información codificada que originaría el desarrollo del organismo, por otro? Erwin Chargaff puso de manifiesto que, en cuanto a las cuatro bases involucradas, las proporciones de adenina y tiamina son las mismas, al igual que las de guanina y citosina. En estudios de difracción de rayos X sobre la molécula de ADN realizados por Maurice Wilkins y Rosalind Franklin se propuso una organización en espiral. Y eso fue lo que permitió en 1953 a James Watson y Francis Crick anunciar que la molécula era una doble hélice con la información inscrita en la disposición de las bases que conforman los brazos de la espiral (figs. 8.4-8.6; para un relato personal del descubrimiento, véase Watson [1968]). Si la adenina sólo puede unirse a la tiamina, y la guanina a la citosina, cuando se desenrolla la espiral, cada ramal puede volver a crear el otro porque las bases sólo se añaden de una forma predeterminada. Así pues, el código genético puede copiarse indefinidamente. Buena parte de los primeros trabajos para comprender los procesos implicados se llevaron a cabo con los organismos más simples posible, virus bacterianos o bacteríafagos, que de hecho son genes desnudos. El «grupo fago», fundado por Max Delbrück, Salvador Luria y Alfred Hershey, fue el iniciador de esos estudios tempranos.

El gran avance que facilitó el conocimiento del código genético aún no explicaba cómo la información portada por la secuencia de bases era descodificada para determinar el desarrollo de las células, y, por tanto, del embrión. George Beadle y Edward Tatum formularon la hipótesis de «un gen-una proteína», según la cual cada sección del ADN controlaría de algún modo la producción de una sola proteína. Partiendo de la teoría de la información, George Gamow sostenía que, para especificar los aminoácidos de los que se componen las proteínas, las bases deben actuar de tres en tres, o en tríos. Francis Crick creía que el ARN funcionaba como un intermediario gracias al cual se utilizaba la información de los tríos de ADN para fabricar los aminoácidos. Con el tiempo se demostró que hay dos clases de ARN: François Jacob y Jacques Monod sugirieron que la forma soluble actuaba como

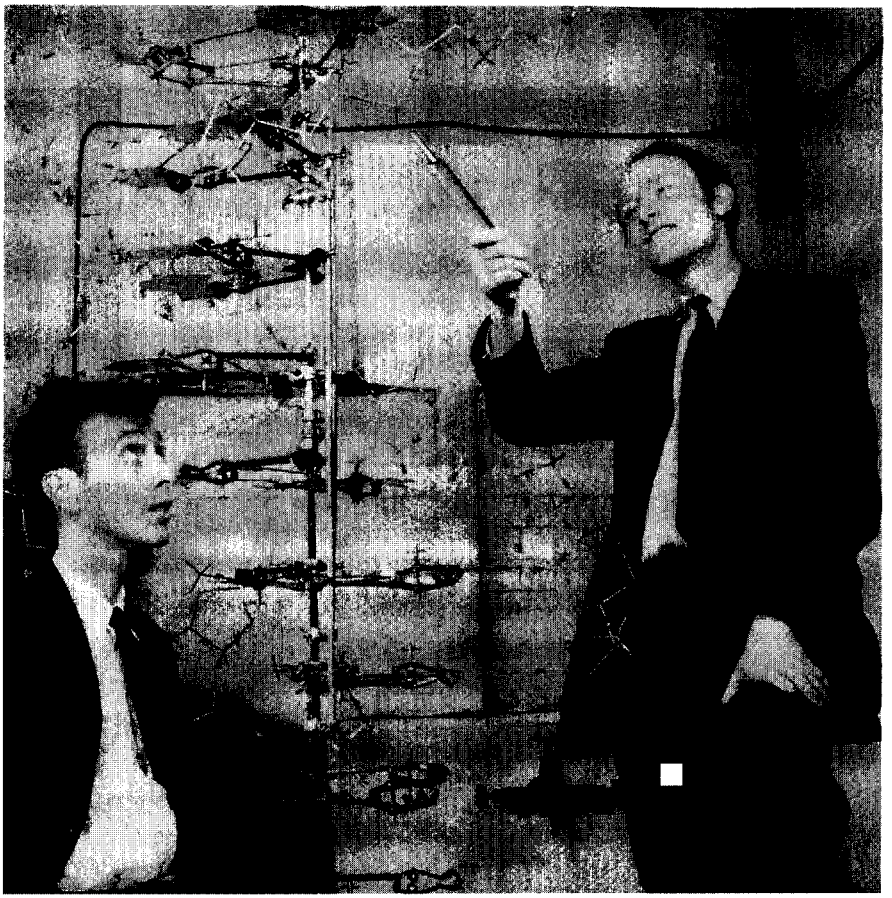


FIGURA 8.4. James Watson y Francis Crick, en el Laboratorio Cavendish de Cambridge en 1952, enseñando su modelo de estructura de doble hélice del ADN.

un «mensajero» (ARN de transferencia) para transportar información al ARN insoluble (ribosómico), en el que se ensamblan los aminoácidos. A continuación revelaron que el modelo un gen-una proteína era inadecuado porque algunos genes intervienen únicamente para regular otros al activarlos o desactivarlos.

Esos descubrimientos han contribuido mucho a explicar cómo funciona el código genético. Han establecido el «dogma central» de la

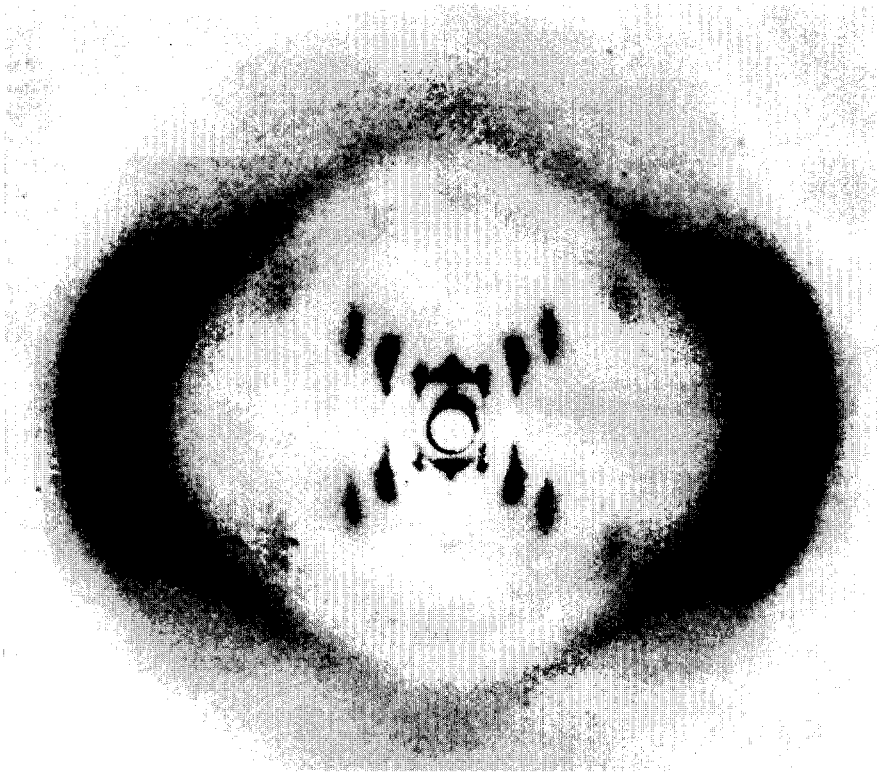


FIGURA 8.5. Forma B del ADN (fotografía de Ray Gosling, por cortesía de la Colección James D. Watson, Archivos del Laboratorio de Cold Spring Harbor, Cold Spring Harbor, NY). Espectroscopia de rayos X del ADN. La sustancia se somete a rayos X, que moléculas de una estructura concreta dispersan de una manera determinada. Se sabía que el característico dibujo en cruz indicaba una estructura espiral en la molécula. Fueron fotografías parecidas a ésta tomada por Rosalind Franklin las que procuraron a Watson y Crick una pista esencial de la estructura del ADN.

biología molecular, que en esencia es una confirmación del preformacionismo y la afirmación de Weismann de que el germoplasma no puede resultar afectado por cambios en el organismo en desarrollo. El ADN fabrica ARN, y éste fabrica proteínas, y los cambios en la composición proteínica de las células de ninguna manera pueden volver a

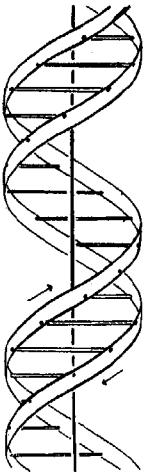


FIGURA 8.6. Estructura en espiral de la molécula de ADN como aparece en el trabajo ya clásico de Watson y Crick titulado «Molecular Structure of Nucleic Acids», *Nature* (25 de abril de 1953). Las dos cintas espirales representan cadenas de azúcares fosfatadas, mientras que las varillas horizontales son los pares de bases que mantienen unida la molécula.

transferirse a la codificación inscrita en la disposición de los pares de bases del ADN. En este sentido, la llegada de la biología molecular ha perfeccionado, más que revolucionado, los conceptos de la genética tradicional. Pero en otro sentido, todo ha cambiado. La biología molecular es básicamente un programa de investigación reduccionista: intenta explicar los fenómenos de la vida (la herencia y el desarrollo) en función de la conducta de las moléculas químicas. En la actualidad, algunos de los biólogos más destacados sostienen que la forma de avanzar es reduciéndolo todo a las leyes de la física. Los que quieren entender cómo funcionan los organismos vivos en el mundo natural, entre ellos los ecologistas y los evolucionistas, se sienten frustrados por la tendencia de los biólogos moleculares a rechazar su trabajo calificándolo de historia natural pasada de moda. Todavía no hay una opinión clara sobre el grado en que la biología seguirá dominada en el siglo XXI por el enfoque molecular.

Conclusiones

El reduccionismo de la biología molecular representa la fase más agresiva de una tradición que ha existido desde que Descartes declarara que los animales son simples máquinas complejas. Sólo podemos poner de manifiesto las limitaciones de este enfoque si nos concentramos en la importancia de los niveles de análisis que no tendría sentido expresar en términos moleculares. Intentar describir en términos moleculares la colonización de un territorio por una especie inmigrante recién llegada sería simplemente inútil y significaría perder de vista los verdaderos problemas que deben abordar los ecologistas y los evolucionistas. De cualquier modo, del poder que la nueva genética ha puesto en nuestras manos deriva una consecuencia más grave. El proyecto moderno de descifrar todo el genoma de la especie humana (y cada vez más de otras especies) muestra cómo ahora cabe la posibilidad de especificar de manera bastante completa la secuencia entera de la información del genoma. Es este trabajo, unido al dogma fundamental del determinismo genético, lo que estimula las expectativas de la gente respecto a que pronto se demostrará que cada rasgo de cada organismo (incluyendo el ser humano) está rigurosamente predeterminado por un gen individual. Gracias al interés popular por las repercusiones médicas de la biología molecular, ha revivido el determinismo genético de la época de la genética clásica y del movimiento eugenésico. Para ser justos con los científicos, la trascendencia de lo que estaban haciendo era evidente para todos desde el mismo inicio del proyecto (Kevles y Hood, 1992).

Podemos vislumbrar los peligros potenciales si reconocemos que aún queda un largo camino por recorrer antes de que lleguemos a comprender cómo funciona realmente el genoma de cualquier organismo, salvo en algunos casos muy claros en que, cuando un gen resulta dañado por una mutación, se produce la pérdida de una función vital. Aunque en principio sabemos cómo se descodifica la información del gen, en la práctica aún hay mucho trabajo que hacer para poder detallar cómo se desarrollan funciones y órganos complejos, los cuales acaso se vean afectados por varios genes. La investigación ha

llegado a ser tan compleja que al final resulta difícil definir la idea de «gen». Hay implicadas muchas funciones diferentes; una parte del ADN parece tener más de una función, y otra no sirve para nada (ADN basura). Diversas áreas de la biología molecular han de trabajar con diferentes definiciones de lo que constituye un gen —aunque para el lego en la materia, el gen representa una pieza inequívoca de la maquinaria biológica.

Otra cosa muy importante es que todavía queda mucho por averiguar sobre la interacción de la información genética con el entorno en el que se desarrolla cada organismo. Los críticos de la ideología del determinismo genético señalan que es difícil justificar la afirmación de que cada gen tiene una función inequívoca que se expresa automáticamente en cualquier entorno. En muchos casos, el modo en que se exprese la información genética dependerá de las circunstancias procuradas por el entorno. El proceso de desarrollo del embrión es enormemente flexible y a menudo responde con una finalidad si sobreviene la influencia de fuerzas externas. Cuanto más conscientes seamos de esos factores, más difícil será tener fe en la ingenua suposición de que cada rasgo tiene un fundamento genético. El organismo es un complejo cuya estructura está determinada por la interacción de los genes y el entorno, situación en la que es un error pretender que cada rasgo está predeterminado. En el viejo debate sobre preformación frente a epigénesis, no debemos permitir que el aparente éxito del determinismo genético oculte el hecho de que la epigénesis aún tiene un papel fundamental que desempeñar. La historia registra varios episodios en los que parecía que la preformación se imponía, aunque siempre a costa de la simplificación excesiva. Para ser justos, esa simplificación a veces es necesaria para comenzar a aclarar un fenómeno complejo, y la tendencia a la especialización en la ciencia moderna a menudo alienta esa clase de iniciativas. Pero normalmente, una vez el impacto inicial de la exploración de enfoque limitado ha perdido ímpetu, el péndulo ha de oscilar hasta el otro extremo. Esto muy bien podría pasar otra vez cuando la actual atención al preformacionismo genético se quede empantanada en las complejidades del intento de explicar la epigénesis.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Allen, Garland E., *Life Science in the Twentieth Century*, Wiley, Nueva York, 1975.

—, *Thomas Hunt Morgan: The Man and His Science*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1978.

Bateson, William, *Materials for the Study of Variation, Treated with Especial Regard to Discontinuity of Species*, Macmillan, Londres, 1894.

—, *Mendel's Principles of Heredity: A Defence*, Cambridge University Press, Cambridge, 1902.

Bowler, Peter J., *The Mendelian Revolution: The Emergence of Hereditarian Concepts in Modern Science and Society*, Athlone, Londres; Johns Hopkins University Press, Baltimore; 1989.

Burian, R. M., J. Gayon y D. Zallen, «The Singular Fate of Genetics in the History of French Biology», *Journal of the History of Biology*, n.º 21 (1988), pp. 357-402.

Callendar, L. A., «Gregor Mendel —an Opponent of Descent with Modification», *History of Science*, n.º 26 (1988), pp. 41-75.

Carlson, Elof A., *The Gene: A Critical History*, Saunders, Filadelfia, 1966.

Dunn, L. C., *A Short History of Genetics*, McGraw Hill, Nueva York, 1965.

Echols, Harrison, *Operators and Promoters: The Story of Molecular Biology and Its Creators*, University of California Press, Berkeley, 2001.

Gayon, Jean, *Darwinism's Struggle for Survival: Heredity and the Hypothesis of Natural Selection*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Gould, Stephen Jay, *Ontogeny and Phylogeny*, Harvard University Press, Cambridge, 1977.

Harwood, Jonathan, *Styles of Scientific Thougt: The German Genetics Community, 1900-1933*, University of Chicago Press, Chicago, 1993.

Henig, Robin Marantz, *A Monk and Two Peas: The Story of Gregor Mendel and the Discovery of Genetics*, Weindenfled & Nicolson, Londres, 2000 (hay trad. cast.: *El monje en el huerto*, Debate, Madrid, 2001).

Iltis, Hugo, *Life of Mendel*, Hafner, Nueva York, 1932, reedición de 1966.

Judson, H. F., *The Eight Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*, Jonanthan Cape, Londres, 1979.

Keller, Evelyn Fox, *The Century of the Gene*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 2000 (hay trad. cast.: *El siglo del gen*, Península, Barcelona, 2002).

Kevles, Daniel J. y Leroy Hood (eds.), *The Code of Codes: Scientific and Social Issues in the Human Genoma Project*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1992.

Kohler, Robert E., *Lords of the Fly: «Drosophila» Genetics and the Experimental Life*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.

Morgan, T. H., A. H. Sturtervant, H. J. Muller y C. B. Bridges, *The Mechanism of Mendelian Inheritance*, Henry Holt, Nueva York, 1915.

Olby, Robert C., *The Path to the Double Helix*, MacMillan, Londres, 1974.

—, «Mendel no Mendelian», *History of Science*, n.º 17 (1979), pp. 53-72.

—, *The Origins of Mendelism*, rev. ed., University of Chicago Press, Chicago, 1985.

Orel, Viteszlav, *Gregor Mendel: The First Geneticist*, Oxford University Press, Oxford, 1995.

Pinto-Correia, Clara, *The Ovary of Eve: Egg and Sperm and Preformation*, University of Chicago Press, Chicago, 1997.

Provine, William B., *The Origins of Theoretical Genetics*, University of Chicago Press, Chicago, 1971.

Roberts, H. F., *Plant Hybridization before Mendel*, Princeton University Press, Princeton, 1929.

Roe, Shirley A., *Matter, Life, and Generation: Eighteenth-Century Embriology ant the Haller-Wolff Debate*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

Roger, Jacques, *The Life Sciences in Eighteenth French Tought*, ed. K. R. Benson, trad. Robert Ellrich, Stanford University Press, Stanford, CA, 1998.

Sapp, Jan, *Beyond the Gene: Cytoplasmatic Inheritance and the Struggle for Authority in Genetics*, Oxford University Press, Nueva York, 1987.

Stern, Kurt y E. R. Sherwood, *The Origins of Genetics: A Mendel Sourcebook*, W. H. Freeman, San Francisco, 1966.

Sturtevant, A. H., *A History of Genetics*, Harper & Row, Nueva York, 1965.

Watson, J. D., *The Double Helix*, Athenaeum, Nueva York, 1968.

— 9 —

Ecología y ecologismo

A primera vista quizá parezca obvio que los dos temas del título hayan de estar conectados. El movimiento ecologista ha intentado avisar de los peligros derivados de los crecientes esfuerzos humanos por explotar el mundo y a sus habitantes mediante la industria y la agricultura intensiva. Ha señalado que las catástrofes, cada vez más habituales, pueden ser atribuidas al aprovechamiento incontrolado de los recursos del planeta, y asimismo ha hecho hincapié en que actualmente estamos asistiendo a una extinción masiva de especies de proporciones geológicas causada por la destrucción de sus hábitats naturales. Según los ecologistas, si no tenemos cuidado desapareceremos y dejaremos el mundo entero inhabitable. Para lograr sus propósitos, los ecologistas a veces recurren a la ciencia de la ecología, cuyo cometido es describir y comprender las relaciones entre los organismos y su entorno. De hecho, a menudo se considera que el término «ecológico» significa «beneficioso desde el punto de vista medioambiental», como si la ciencia fuera de la mano con la filosofía social que intenta defender el mundo natural (véase el título de Bramwell de 1989, que en realidad trata de ecologismo). Muchos dan por sentado que la ecología es una ciencia creada por los ecologistas para adquirir la información que precisan sobre el equilibrio de la naturaleza y las diversas maneras en que influencias perturbadoras, como la explotación humana, transtornan y a la larga destruyen dicho equilibrio. Una interpretación tal sobre los orígenes de la ecología daría por supuesto

que la ciencia se basa en una cosmovisión holística cuya finalidad es entender cómo todo lo que hay en la naturaleza interacciona para crear un conjunto armonioso y autosostenible. La ecología es la ciencia que hay tras la imagen —de James Lovelock— de la tierra como «Gaia»: una madre nutritiva de todos los seres vivos que no dudará en castigar a uno de sus hijos si se porta mal y amenaza al conjunto.

Un estudio pionero de Donald Worster (1985) intentó presentar esa imagen unificada de los orígenes tanto del pensamiento ecologista como de la ecología científica. Sin embargo, trabajos posteriores han sacado a la luz un patrón de relaciones más complejo y mucho menos coherente. El movimiento ecologista se ha mostrado en gran parte contrario sobre la ciencia moderna al calificarla de sierva de la industrialización, y ha buscado su imagen de la naturaleza en un impresionismo romántico más que en el análisis científico. Si ha ejercido un impacto sobre la ciencia, lo ha hecho estimulando una metodología holística que desafía abiertamente los enfoques materialista y reduccionista defendidos por la mayoría de los científicos. Así pues, hay algunas formas de ecología científica que se inspiran en las preocupaciones ecologistas, si bien hay otras que deben su origen a la perspectiva reduccionista, un anatema para la visión romántica de la armonía natural. Muchos de los primeros ecologistas profesionales utilizaron la fisiología como modelo argumentando que, igual que los fisiólogos consideraban el cuerpo como una máquina, también ellos debían aplicar una metodología en exclusiva naturalista para estudiar cómo interactuaba el cuerpo con el entorno. Algunas escuelas de ecología han seguido siendo firmemente materialistas, describiendo las relaciones naturales más en función de la lucha darwiniana por la supervivencia que de la armonía. Los ecologistas con esa formación se cuentan entre los principales críticos de los esfuerzos de Lovelock por representar la naturaleza como un todo con sentido que se propone mantener la tierra como una morada de por vida.

Ciertos estudios históricos modernos nos obligan a considerar la ecología como una ciencia compleja con muchas raíces históricas. De hecho, no es en absoluto una rama unificada de la ciencia, pues sus diversas escuelas de pensamiento tienen orígenes tan distintos que les resulta difícil comunicarse entre sí. Desde luego, procurar pruebas con-

cluyentes para la campaña ecologista no figura entre las prioridades de la mayoría de los ecologistas científicos. Como sucede en otros muchos ámbitos, un estudio histórico nos lleva a contextualizar el desarrollo de la ciencia, debilitando los vínculos más evidentes, como los que se suponía que existían entre la ecología, el holismo y el ecologismo. En vez de ello, consideramos que la ciencia surge de diversos programas de investigación iniciados en lugares y momentos diferentes y con distintos objetivos, algunos de los cuales estaban concebidos más para estimular la explotación del medio que para favorecer su protección. Lejos de aparecer como una respuesta unificada a un solo mensaje filosófico, la ecología es una combinación de muchos enfoques contrapuestos que aún no se han fusionado en una disciplina única con una metodología coherente.

Empezaremos dando una visión general de cómo la ciencia acabó ligada al impulso de explotar los recursos del planeta, y luego pasaremos a una descripción de cómo surgió el movimiento ecologista para contrarrestar ese planteamiento. En la segunda parte del capítulo se hará un esbozo de la aparición de la ecología científica desde finales del siglo XIX en adelante, mostrando cómo diferentes problemas de investigación y distintas prioridades ideológicas y filosóficas fomentaron el desacuerdo teórico casi desde el principio.

Ciencia y explotación de los recursos

Desde la revolución científica del siglo XVII en adelante, el desarrollo de la ciencia se ha vinculado a la esperanza de que conocer mejor el mundo posibilitaría una utilización más eficaz de los recursos naturales. La ideología defendida por Francis Bacon subrayaba el uso de la observación y la experimentación con el fin de acumular conocimientos prácticos que sirvieran para mejorar la industria y la agricultura. Se describía el mundo como una fuente pasiva de materias primas que la humanidad podía aprovechar en beneficio propio. Incluso la metodología de la ciencia hacía hincapié en la preponderancia de la humanidad y la pasividad del mundo natural: el experimentador pretendía aislar fenómenos particulares para poder manipularlos a voluntad. No

había expectativa alguna de que todo interaccionara de tal manera que quedaran invalidados los conocimientos derivados del estudio de lo concreto. Si el conjunto del universo era simplemente una máquina, nada impedía que la humanidad hiciera pequeños arreglos en las partes individuales para su provecho. Carolyn Merchant (1980) entiende que esta actitud es típica de una creciente postura «masculina» ante la naturaleza (véase cap. 21, «Ciencia y género»). A finales del siglo XVIII, esa posición ya dio frutos cuando se puso en marcha la Revolución Industrial, y a lo largo del siglo siguiente quedó claro para todo el mundo el papel que podía desempeñar la ciencia en el fomento del desarrollo tecnológico (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»).

Al mismo tiempo, la ciencia estaba cada vez más implicada en el esfuerzo por localizar y explotar recursos naturales en todo el mundo (fig. 9.1). El objetivo de los viajes emprendidos por navegantes como el capitán James Cook era traer información sobre plantas y animales de regiones lejanas para que los europeos las analizaran y clasificaran, pero también descubrir nuevas tierras que colonizar. Sir Joseph Banks acompañó como naturalista a Cook en su primer viaje a los mares del Sur (1768-1771). Desde su posterior cargo de presidente de la Royal Society ayudó a coordinar los esfuerzos de la marina británica por explorar el mapa del mundo, a menudo con la idea de hallar recursos naturales provechosos (MacKay, 1985). El viaje del *Beagle*, que procuró a Darwin conocimientos clave, se llevó a cabo para cartografiar la costa de Sudamérica, una región vital para el comercio británico. En la década de 1870, la marina británica proporcionó un barco, el *Challenger*, para la primera expedición oceanográfica en alta mar (fig. 9.2). Aunque gran parte de la información era de interés científico, cada vez más se fueron destinando fondos para las ciencias marítimas previendo que se obtendrían beneficios para la navegación, la industria pesquera y otras cuestiones prácticas.

Por tierra también se llevaron a cabo muchas expediciones cuya finalidad era explorar regiones remotas y satisfacer la curiosidad por el mundo (véase más adelante). Asimismo, se apreciaban cada vez más señales explícitas de la relación de la ciencia con el imperialismo. Muchos países europeos crearon jardines botánicos dentro de sus fronteras y en las colonias con la deliberada intención de identificar plantas

FIGURA 9.1. Naturalista europeo en los trópicos, de *Voyage à la Nouvelle Guinée* de 1776, de Pierre Sonnerat. El naturalista describe las criaturas exóticas que le lleva gente de la región: una relación idealizada que casi nunca se dio cuando los comerciantes y colonos europeos empezaron a explotar los recursos de aquellas tierras lejanas.

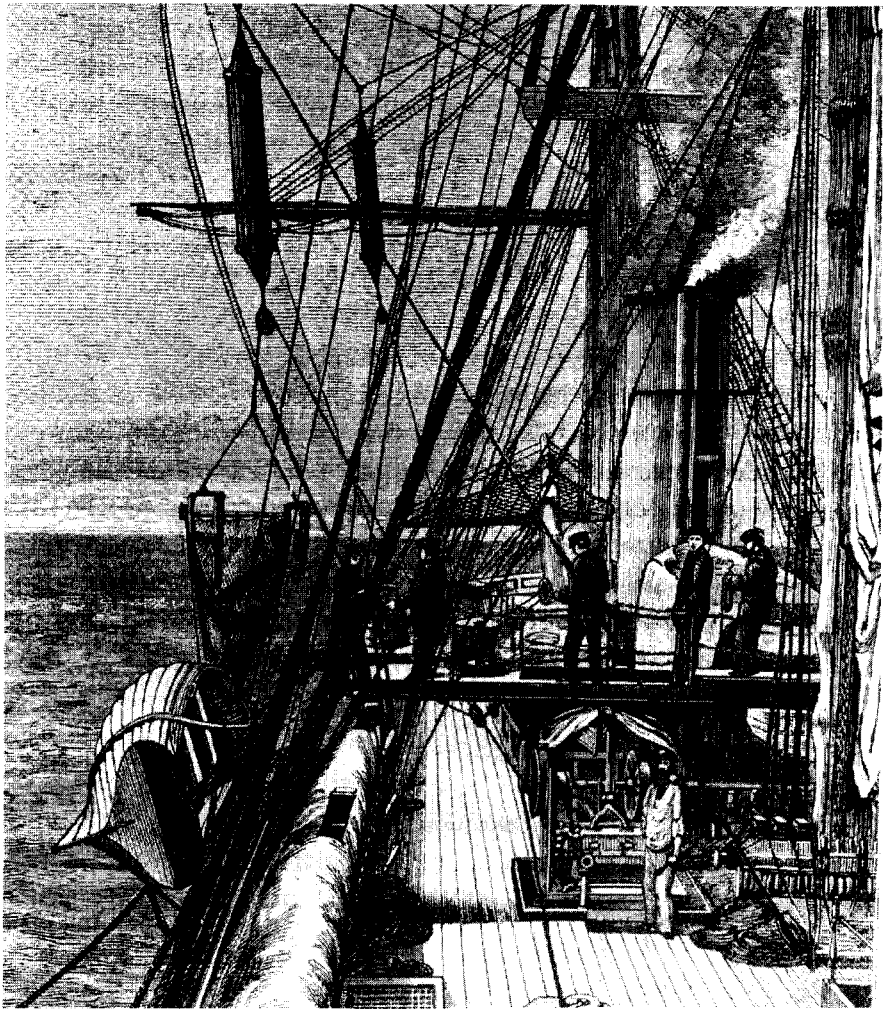


FIGURA 9.2. Equipos de dragado de alta mar transportados por el *Challenger* en su pionero viaje oceanográfico desde 1872 hasta 1876, de *Report of the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. Challenger: Zoology* (Londres, 1880), n.º 1, p. 9. El *Challenger* iba equipado como un barco de estudio especializado con laboratorios a bordo. Los científicos de la expedición descubrieron un gran número de nuevas especies marinas y desmintieron la teoría ampliamente aceptada de que en las profundidades del mar no había vida. En el lecho marino también hallaron nódulos de manganeso que actualmente se consideran una fuente potencial de minerales.

rentables y estudiar el modo de importar especies foráneas como nuevos cultivos comerciales. En los Kew Gardens de Londres, bajo la dirección de botánicos como Joseph Dalton Hooker, destacado partidario de Darwin, se concentraba el esfuerzo británico (Brockway, 1979). El quino, fuente del fármaco antipalúdico quinina y, por tanto, vital para las tentativas europeas por colonizar los trópicos, fue transportada, a través de Kew, desde su lugar de origen en Sudamérica hasta la India, donde se crearon plantaciones comerciales. El gomero fue sacado clandestinamente de Brasil pese a la prohibición gubernamental de crear la industria mundial de producción de caucho. Norteamérica se transformaba mientras diversos métodos europeos de cultivo se adaptaban a su amplio abanico de entornos. A principios del siglo XX, la Agencia de Estudios Biológicos, dirigida por C. Hart Merriam, coordinaba intentos por erradicar «plagas» nativas, como el perro de las praderas, que destruían las cosechas. Ahora europeos y americanos estaban interviniendo en los ecosistemas naturales en una escala sin precedentes, arruinando los hábitats nativos e importando especies foráneas como cultivos comerciales (para un análisis de esos hechos, véase Bowler [1992]).

El ascenso del ecologismo

Esos hechos no carecieron de críticas, y poco a poco fue desarrollándose un movimiento articulado para criticar la explotación ilimitada —y a menudo la consiguiente destrucción— del entorno natural (McCormick, 1989). Los pensadores románticos de principios del siglo XIX celebraban lo salvaje como fuente de renovación espiritual y detestaban a los empresarios industriales que lo destruían para su provecho. Es significativo que escritores como William Blake consideraran la ciencia mecanicista como un componente clave de la explotación incontrolada del mundo natural. Una generación posterior de escritores como Henry Thoreau también se congratuló del valor recuperativo de lo natural para una humanidad cada vez más alienada por un estilo de vida urbano e industrializado. En 1864, el diplomático americano George Perkins escribió *Man and Nature* [Hombre y naturaleza] para

protestar contra la destrucción del medio natural. Advertía que, en contra de las primeras expectativas optimistas, había un grado de destrucción humana que la naturaleza jamás sería capaz de reparar: «La tierra se está convirtiendo rápidamente en un hogar inhabitable para su habitante más noble, y otra época igual de imprevisión y crímenes humanos... la reduciría a un estado tal de escasa productividad, superficie destruida y excesos climáticos que amenazaría con la depravación, la barbarie y quizá incluso la extinción de las especies» (Marsh, 1965, p. 43). Marsh no estaba pidiendo que se pusiera fin a toda intromisión humana sino que una mejor gestión permitiera a la tierra conservar sus capacidades de autosostenimiento. Gracias en parte a sus esfuerzos, el gobierno de Estados Unidos creó la Comisión de Silvicultura para administrar los recursos del país, de modo que con el tiempo se reservaron bosques para protegerlos de la industria maderera. La preocupación pública también hizo que áreas de extraordinaria belleza natural fueran declaradas parques nacionales: Yosemite Valley en California, en 1864, y Yellowstone en Wyoming, en 1872. El Sierra Club, fundado en 1892 por John Muir, estaba dedicado a la protección de áreas salvajes. En Europa, pese a que quedaban pocas zonas realmente agrestes que proteger, se pusieron en marcha iniciativas para crear reservas naturales donde pudieran preservarse entornos estables que habían existido durante siglos (sobre reservas naturales en Gran Bretaña, véase Sheal [1976]).

Había una gran tensión entre los que pedían una gestión más cuidadosa de la naturaleza para permitir la renovación de los recursos y un movimiento cada vez más ruidoso que calificaba toda intromisión humana como fatal y potencialmente dañina para el conjunto del planeta. El primer grupo estaba dispuesto a recurrir a la ciencia —la recién creada ecología— para que ayudara a entender mejor cómo responderían los ecosistemas naturales a la intervención humana. No obstante, de una visión alternativa, más romántica, de la naturaleza surgió una forma más extrema de ecologismo que insistía en que, si quería servir de algo, debía ser una ciencia basada en principios holísticos y no mecanicistas. Ese movimiento trascendía todas las divisiones políticas tradicionales y no se mostraba nada favorable a la democracia. Al fin y al cabo, la gente de a pie puede muy bien apoyar una mayor industriali-

zación movida por el deseo miope de más bienes materiales. En Alemania, una «religión de la naturaleza» a menudo ligada a la filosofía del evolucionista Ernst Haeckel formó parte de la ideología nazi —y los nazis crearon reservas naturales en terrenos libres de judíos y polacos enviados a los campos de exterminio—. La Unión Sovietica desarrolló una clara política ecologista hasta que la campaña de industrialización de Stalin dio lugar a una explotación sin límites de los recursos del país (sobre ecologismo europeo, véase Bramwell [1989]).

En América, en la década de 1930 hubo debates entre los que consideraban que el «terreno erosionado por el viento» de las Grandes Llanuras era parte de un ciclo climático natural y los que señalaban que era resultado de la falta de idoneidad de las praderas para ser cultivadas. La segunda postura fue cada vez más propia del activo movimiento ecologista, que se alió con quienes entendían que la preservación de lo natural era esencial para la salud psicológica humana, por no hablar de la salud del conjunto del planeta. En América, *A Sand County Almanac* [Anuario de una provincia de arena], de Aldo Leopold, publicado póstumamente en 1949, contaba la transformación de un administrador de cotos de caza de Wisconsin en un ecologista que desarrolló un vínculo emocional y estético con lo salvaje. Para Leopold, la ecología científica no bastaba, pues necesitaba el complemento de un compromiso ético que reconociera que todas las especies tienen derecho a existir, derecho que la conveniencia humana no debía poner en peligro: «La conservación no va a ninguna parte porque es incompatible con nuestro concepto abrahámico de la tierra. Abusamos de la tierra porque la consideramos un bien que nos pertenece a todos. Cuando la sintamos como parte de una comunidad a la que pertenecemos, quizá empecemos a utilizarla con amor y respeto. No hay otra manera de que la tierra pueda sobrevivir al impacto del hombre mecanizado, ni de que nosotros recojamos de ella la cosecha estética que es capaz, conforme a la ciencia, de contribuir a la cultura» (Leopold, 1966, p. x). El ecologismo de Leopold no descartaba un papel para el estudio científico de la naturaleza, siempre y cuando éste se llevara a cabo en un marco en que la humanidad formara parte de la naturaleza, no que la dominara.

Esta clase de actitudes han aumentado su influencia a medida que

más y más personas han vido volviéndose conscientes de los peligros de una explotación sin límites del entorno. En 1962, *Primavera silenciosa*, de Rachel Carson, hacía hincapié en el daño causado a muchas especies como consecuencia del uso de insecticidas. Numerosas catástrofes ambientales han transmitido el mismo mensaje, aunque todavía hay diferencias considerables en el modo de reaccionar de las distintas comunidades. En América, pese a las actividades de los que respetan la naturaleza salvaje, parece comúnmente admitido permitir a las empresas agrícolas manipular la naturaleza con el fin de producir comida más barata. En Europa, en cambio, el uso de insecticidas y fertilizantes químicos se ha vuelto cada vez más impopular y hay limitaciones a la manipulación genética de las cosechas. En el Tercer Mundo, no obstante, se considera que la ingeniería genética es el menor de los males, pues quizá permita incrementar la producción sin que los agricultores dependan de las caras y potencialmente peligrosas sustancias químicas.

Orígenes de la ecología

Hasta finales del siglo XIX no empezó a surgir una ciencia de la ecología bien diferenciada, aunque hacía tiempo que se habían admitido conceptos que asociamos a la disciplina. El naturalista sueco Linneo escribió sobre el «equilibrio de la naturaleza» a mediados del siglo XVIII, señalando que si aumentaba el número de los integrantes de una especie debido a ciertas condiciones favorables, sus depredadores también aumentarían y tenderían a restablecer el equilibrio. Para Linneo, esto formaba parte del plan de Dios en la Creación; y los teólogos naturales describían rutinariamente la adaptación de las especies a su medio físico y biológico como ilustración de la benevolencia divina.

El estudio sistemático de esas relaciones también formaba parte del proyecto de Alexander von Humboldt de una ciencia coordinada del mundo natural, que se centraba especialmente en los factores geográficos determinantes de los diferentes entornos. Humboldt quedó impresionado por el movimiento popular romántico en las artes hacia 1800, que resaltaba la capacidad de lo salvaje para inspirar emo-

ciones humanas, pero insistía en que un estudio serio del mundo natural debe valerse de técnicas científicas de medida y coordinación racional. Su objetivo era desarrollar una ciencia que centrara la atención en las interacciones materiales pero interpretándolas como partes de un todo coordinado en el que cada fenómeno natural estuviera entrelazado con todos los demás. Entre los años 1799 y 1804 Humboldt estuvo explorando Sudamérica y Centroamérica, llevando a cabo numerosas mediciones científicas en diversos entornos que sirvieron para esclarecer las interacciones de sus estructuras geológicas, condiciones físicas y habitantes biológicos. Humboldt hizo importantes aportaciones a la geología: era discípulo de A. G. Werner y dio nombre al sistema jurásico por los montes suizos del Jura (véase cap. 5, «La edad de la tierra»). También confeccionó diversos mapas de las variaciones de temperatura y distintos cambios climáticos a escala mundial, y otros de cortes transversales de regiones montañosas que ilustraban cómo cambiaba la vegetación característica en función de la altitud (fig. 9.3). Los relatos de Humboldt de su viaje a Sudamérica inspiraron a numerosos científicos europeos, entre ellos a Darwin, y la importancia que dio a la tierra como un conjunto integrado animó a toda una generación a llevar a cabo estudios sistemáticos de diferentes fenómenos físicos y biológicos. Bajo la influencia de la «ciencia humboldtiana», los biólogos aprendieron a pensar en lo que ahora denominaríamos términos ecológicos buscando las distintas maneras en que la distribución de animales y plantas estaba determinada por el tipo de suelo y de rocas subyacentes, el clima local y los demás habitantes autóctonos.

En la generación siguiente, también el darwinismo hizo hincapié en la adaptación de las especies a su entorno, pero alentó una perspectiva más materialista de cada población en competencia no sólo con sus depredadores sino también con rivales que pretendieran explotar los mismos recursos (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Darwin centró asimismo la atención en la biogeografía, que ponía de manifiesto cómo se adaptaban las especies a entornos nuevos. Fue el darwinista alemán Ernst Haeckel quien en 1866 acuñó el término «oecología», del griego *oikos*, que alude al funcionamiento de la casa familiar: la ecología de una región revelaba cómo las especies del

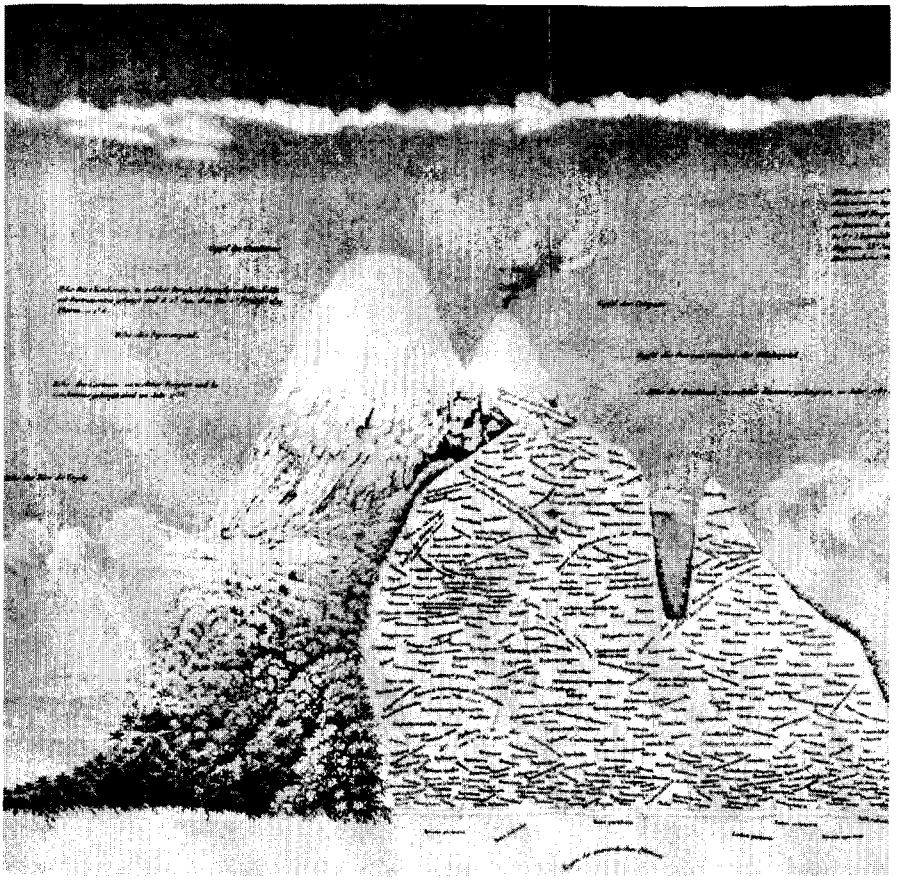


FIGURA 9.3. Diagrama esquemático de Alexander von Humboldt en el que se aprecian zonas de vegetación en diferentes niveles del Chimborazo, Sudamérica, de su *Essai sur la geographie des plantes* (1805). El trabajo de Humboldt ayudó a crear los cimientos de la ecología al mostrar cómo diversas variaciones en el entorno físico guardaban correlación con diferentes formas de animales y plantas.

lugar interactuaban para explotar sus recursos naturales. Pero, a diferencia de Darwin, Haeckel adoptó una postura no materialista de la naturaleza en la que los seres vivos eran agentes activos en el seno de un mundo progresivo y unificado. La tensión entre las cosmovisiones materialista y holística garantizaba que la ciencia de la ecología fuera

a verse impulsada por desacuerdos teóricos desde el principio. Había varios programas de investigación diferentes, cada uno de los cuales trataba de abordar de una manera distinta las complejas relaciones entre las especies y sus entornos. Como partían de principios diversos, con frecuencia adoptaban puntos de vista teóricos dispares.

El estímulo para la creación de la nueva disciplina biológica que adoptaría el nombre de ecología procedía del fracaso del enfoque descriptivo o morfológico de la naturaleza a finales del siglo XIX. En esa coyuntura, se hacía hincapié en la experimentación, con la fisiología como modelo, y en respuesta a ese desafío surgieron diversas disciplinas biológicas nuevas, entre ellas la genética. Fue mucho más difícil aplicar el método experimental al estudio de cómo las especies se relacionan con su entorno, si bien había varias vías que conducían hacia un planteamiento más científico del tema. Una fue el creciente perfeccionamiento de las técnicas geográficas de Humboldt. En América, C. Hart Merriam, de la Agencia de Estudios Biológicos, creó mapas detallados en los que se apreciaban las diversas «zonas de vida» o hábitats que se extendían de este a oeste por todo el continente. En 1896, Oscar Drude, del jardín botánico de Dresde, publicó una minuciosa geografía de plantas de Alemania que mostraba cómo factores locales como los ríos y las colinas determinaban la vegetación de cada región.

La fisiología de las plantas proporcionó el modelo para otros pioneros de la ecología de las plantas. Gracias a ciertos estudios experimentales se había obtenido un conocimiento mucho más profundo de cómo son las funciones internas de una planta, pero a finales de siglo varios botánicos comenzaron a reparar en que también haría falta estudiar cómo afectaba el entorno físico de la planta a dichas funciones. Esa percepción resultaba especialmente obvia para los que trabajaban en jardines botánicos creados en los trópicos y otros entornos extremos, donde el papel de la adaptación era crucial (Cittadino, 1991). El fundador de la ecología de las plantas, el botánico Eugenius Warming, había adquirido formación en fisiología de las plantas en Dinamarca y trabajado durante un tiempo en Brasil. Desarrolló su enfoque como una alternativa tanto a la fisiología pura como al tradicional centro de atención de la mayoría de los botánicos en la clasificación (Coleman, 1986). Su *Plantesamfund*, publicado en 1895, fue traducido al alemán

al año siguiente y al inglés en 1909 como *Oecology of Plants* [Oecología de las plantas]. Warming advirtió que las condiciones físicas de una zona determinaban qué plantas podían vivir en ella, pero también se dio cuenta de que existía una red de interacciones entre las plantas características de un entorno concreto, las cuales constituían una comunidad natural y donde cada una dependía de las demás de varias maneras. El concepto de comunidad natural ya había sido descrito por naturalistas como Stephen A. Forbes, de Illinois, en cuya conferencia ante la Asociación Científica de Peoria, «El lago como microcosmos», había subrayado que todas las especies que habitaban el lago dependían unas de otras. Fue una idea aceptada muy rápidamente por los contrarios al materialismo para defender que la comunidad formaba un superorganismo con vida y finalidades propias. Sin embargo, Warming se oponía resueltamente a esa visión casi mística de la comunidad; para él, las relaciones eran sólo una consecuencia natural de la evolución de las especies que se están adaptando a los entornos físico y biológico. Reconocía que todas las especies competían entre sí en una lucha constante por la supervivencia, y que cuando algo alteraba la comunidad original (por ejemplo, una intromisión humana), no había ninguna garantía de que se restableciera el conjunto inicial. Si talamos un bosque, los árboles jamás tendrán la oportunidad de volver a crecer porque el suelo ha sido modificado de tal modo que no es posible replantarlos. Esa idea también era característica de una de las primeras escuelas americanas de ecología, fundada en la Universidad de Chicago por Henry C. Cowles.

No obstante, hubo otra tradición investigadora americana que se desarrolló en torno a una perspectiva diferente. En la universidad estatal de Nebraska, Frederic E. Clements trató de dotar al estudio de la ecología de las praderas de una base más científica (Tobey, 1981). Las técnicas europeas no eran adecuadas para las áreas inmensas y uniformes de las llanuras, y Clements advirtió que, en tales circunstancias, el único modo de obtener información realmente precisa sobre la población de plantas era contar literalmente cada planta individual en un conjunto de zonas seleccionadas. A tal fin, delimitó cuadrados medidos que distribuyó por una extensa región, y combinó las distintas informaciones para realizar una evaluación mucho más precisa de la po-

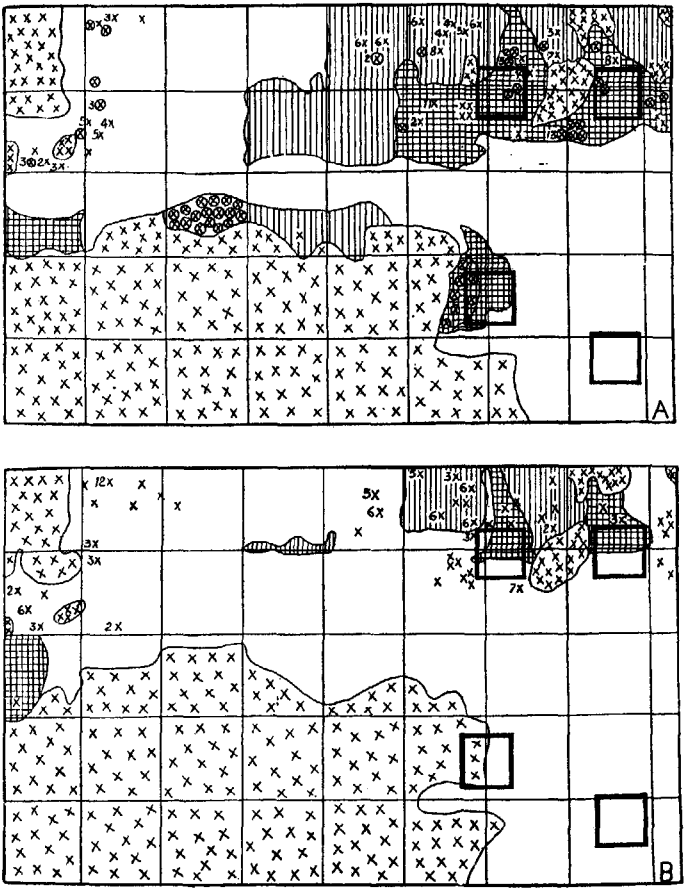


FIGURA 9.4. Estudio típico de ecología de las plantas, de *Plant Ecology* (McGraw-Hill, Nueva York, 1929, p. 41), de John E. Weaver y Frederic E. Clements. En un área de pasto demasiado utilizada para el pastoreo, situada en Lincoln (Nebraska), se han delimitado cuadrados de metro y medio y se ha anotado la posición de diferentes clases de vegetación: los arbustos individuales de salicieso se han marcado con una X; las áreas cubiertas de hierba para forraje, con un rayado vertical; el pasto bajo, con un rayado cruzado; y el pasto de trigo se ha dejado en blanco. El estudio de arriba se llevó a cabo en 1924 y el de abajo en 1926, lo que pone de manifiesto una expansión de los arbustos y una disminución del área cubierta por hierba para forraje y pasto bajo. Los cuadrados pequeños en negrita aparecen demarcados para un examen más detallado en el que se contabilizaría cada planta individual.

blación global (fig. 9.4). Tras quitar de los cuadrados toda vegetación, pudo ver cómo la comunidad natural de plantas se recuperaba y acabó convencido de que, en esas condiciones, había una secuencia clara en virtud de la cual se desarrollaba la población natural o «clímax». Los *Research Methods in Ecology* [Métodos de investigación en ecología] (1905) dieron a conocer las nuevas técnicas, y se creó la escuela de ecología de las praderas, sobre todo en instituciones encargadas de los problemas prácticos de los agricultores cuyas actividades destruían inevitablemente los pastos naturales clímax. Clements fue un escritor influyente y fomentó una filosofía de la ecología que difería mucho del enfoque materialista de Warming y Cowles. Concebía la población natural clímax de una región casi en términos místicos: siempre que se viera alterada, la naturaleza estaba predestinada a avanzar hacia esa comunidad, la cual tenía una realidad propia, por lo que había que considerarla como algo más que un conjunto de especies en competencia. Era esta una ecología que parecía derivar de la imagen romántica de la naturaleza como un todo con sentido que se oponía a la intromisión humana, si bien la misma ecología estaba siendo utilizada para asesorar a los agricultores cuya labor había arruinado el entorno natural de las llanuras.

Consolidación y conflicto

En las primeras décadas del siglo XX, los planteamientos opuestos de la ecología encabezados por Warming y Clements despertaron suficiente interés para que la disciplina en su conjunto fuera reconocida como una rama importante de la ciencia. No obstante, los nuevos avances prolongaban las tensiones originales, de modo que entre las diferentes escuelas de investigación había competencia por el control de sus publicaciones y sociedades y también por el acceso a los departamentos gubernamentales y universitarios donde la ecología pudiera prosperar. De hecho, pese al prometedor comienzo, hasta después de la segunda guerra mundial la expansión fue lenta. La Sociedad Ecológica Británica fue la primera de este tipo que se fundó, en 1913 (Sheal, 1987), y dos años después le siguió la Sociedad Ecológica de Amé-

rica (cuya revista, *Ecology*, apareció por primera vez en 1920). De todas formas, el intento de la nueva disciplina de establecerse en los departamentos académicos tardó en materializarse, salvo en América, aunque incluso allí el número de miembros de la Sociedad Ecológica permaneció estacionario durante el período de entreguerras. En Gran Bretaña, ecologistas pioneros como Arthur G. Tansley tuvieron que luchar por obtener reconocimiento académico; Tansley ejerció durante algún tiempo como psicólogo freudiano y echaba la culpa del lento crecimiento de la ecología en parte a la pérdida, en la primera guerra mundial, de científicos jóvenes de gran futuro.

En América, la escuela de ecología de las praderas de Clements siguió creciendo durante la década de 1930, cuando respaldó la petición de que las praderas debían ser devueltas a su clímax natural de pasto para que el «terreno erosionado por el viento» se recuperase. Su alumno John Philips vinculó la noción idealista de la comunidad clímax como superorganismo con vida propia a la filosofía holística que estaba siendo divulgada por el estadista sudafricano Jan Christiaan Smuts, cuyo *Holism and Evolution* [Holismo y evolución] apareció en 1926. Smuts hizo un emotivo llamamiento a una visión de la naturaleza como proceso creativo con valores espirituales incorporados y describió la evolución como un proceso concebido para generar entidades complejas cuyas propiedades serían de un nivel superior al de cualquier cosa visible en sus partes individuales. En Gran Bretaña, Tansley tuvo que competir con los ecologistas sudafricanos vinculados a la filosofía de Smuts que amenazaban con dominar la ecología de todo el Imperio Británico (Anker, 2001).

Aunque Clements y sus seguidores intentaron explicar el «terreno erosionado por el viento», el hecho de que el suelo hubiera realmente desaparecido debilitó su afirmación de que pudiera recuperarse la vegetación natural clímax. Se crearon otras escuelas de ecología, especialmente en departamentos universitarios que no tenían que ocuparse de los problemas de los agricultores de la pradera. Henry Allan Gleason y James C. Malin pusieron en entredicho las ideas de Clements al sostener que en la vegetación de una región podían producirse cambios debido a fluctuaciones en el clima y a la invasión natural de especies procedentes de otras regiones. En Gran Bretaña, Tansley —que

finalmente accedió a una cátedra en Oxford— discutió enérgicamente con Phillips sobre el uso del concepto de superorganismo, que rechazaba abiertamente calificándolo poco menos que de misticismo. Aun así, utilizó métodos de investigación muy parecidos a los de la escuela de Clements y en 1935 acuñó el término «ecosistema» para referirse al conjunto de interacciones que mantienen unidas las especies de una zona determinada. Para cualquier biólogo europeo, parecía evidente que las comunidades más aparentemente «naturales» eran, hasta cierto punto, producto de la actividad humana, acaso desarrollada a lo largo de siglos, por lo que resultaba bastante absurdo afirmar que un ecosistema concreto tenía algún tipo de derecho superior a ser reconocido como el único adecuado para un área determinada. A Tansley y otros críticos también les preocupaba que favorecer la idea de un superorganismo hiciera el juego a los místicos que quisieran entorpecer los estudios científicos sobre el mundo natural. En la Europa continental se desarrolló una forma totalmente diferente de ecología basada en la clasificación minuciosa de todas las plantas de un área, y ahí la idea de superorganismo era irrelevante sin más.

Advertimos una señal clara de los orígenes fragmentarios de la ecología en el hecho de que el estudio sistemático de la ecología animal no empezó hasta la década de 1920. Pero enseguida se reafirmaron igualmente las tensiones entre las perspectivas materialista y holística. En la Universidad de Chicago, Victor E. Shelford aplicó la óptica de Clements al estudio de comunidades animales y su dependencia de la vegetación local. También en Chicago, Warder Clyde Allee comenzó a estudiar comunidades animales partiendo de la base de que la cooperación entre sus miembros era parte integral del modo como una especie se enfrentaba a su entorno (fig. 9.5). Allee se oponía a la idea darwiniana de la competencia individual como fuerza motriz de la conducta y la evolución: rechazaba explícitamente la noción de una «ley del más fuerte» que determinara el rango de cada individuo dentro del grupo. Para él, la evolución fomentaba la cooperación, no la competencia, una opinión estrechamente unida a la filosofía holística típica del grupo de Clements. Allee y sus seguidores también desarrollaron las repercusiones políticas de su visión de las relaciones naturales como alternativa al «darwinismo social», que conside-

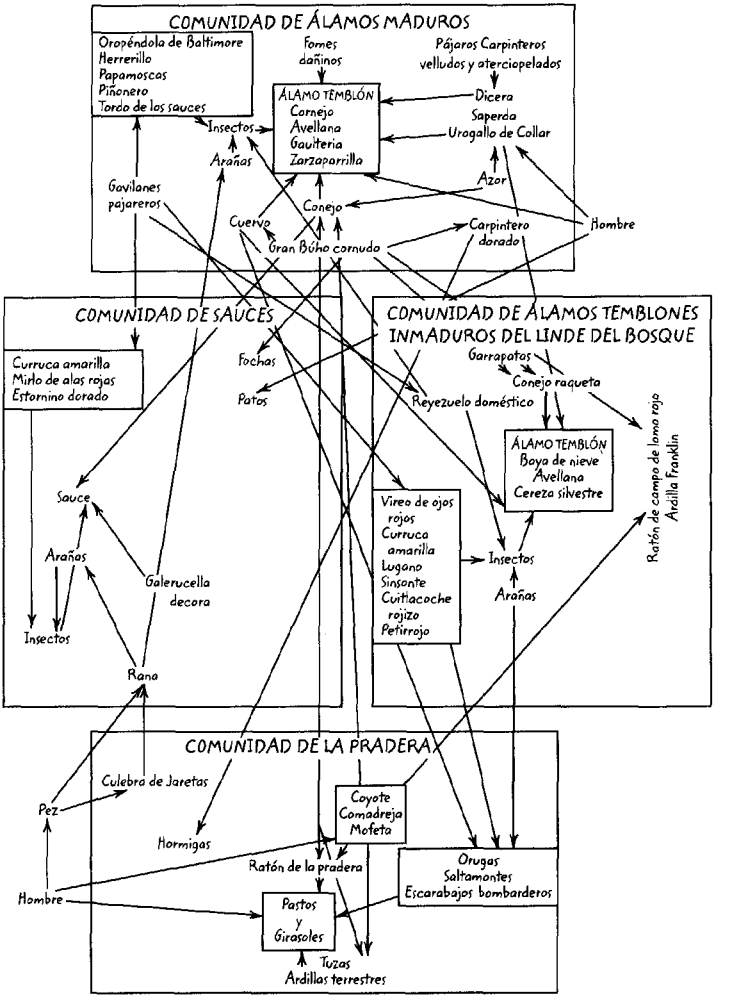


FIGURA 9.5. Esquema de las relaciones ecológicas entre especies en las zonas verdes de álamos temblones de Canadá, en *Principles of Animal Ecology* (W. B. Saunders, Filadelfia, 1949, p. 513), de W. C. Allee *et al.* Allee y sus colegas de la escuela de ecología de Chicago pusieron de relieve las relaciones armoniosas entre individuos y especies a fin de minimizar el papel de la lucha por la supervivencia tanto en la naturaleza como en la sociedad humana. Su libro de texto era conocido coloquialmente como el «gran libro de AEPPS», por las iniciales de los nombres de los autores (Allee, A. E. Emerson, Orlando Park, Thomas Park y K. P. Schmidt).

raba la competencia individual como natural e inevitable (Mitnam, 1992).

En Gran Bretaña, Charles Elton, que desde 1932 estaba trabajando en la Agencia de Estudios Animales de Oxford, elaboró un planteamiento muy diferente (Crowcroft, 1991). Su *Animal Ecology* [Ecología animal] (1927) adquirió fama como libro de texto de la disciplina y popularizó el término «nicho» para aludir al particular modo como las especies interaccionan con su entorno. Elton utilizó los archivos de la Hudson's Bay Company, que le proporcionó detalles sobre fluctuaciones en las cifras de animales de pelo cazados a lo largo de los años. En esos datos se apreciaban enormes incrementos (el ejemplo clásico son las plagas de lemmings) producidos cuando ciertas especies de reproducción rápida superaban en número a sus depredadores naturales en una época de recursos abundantes. Ese tipo de episodios volvía absurda la vieja idea del «equilibrio de la naturaleza» y confirmaban la imagen malthusiana de Darwin de las poblaciones que tendían continuamente a expandirse hasta el límite de los recursos disponibles.

Elton hizo causa común con Tansley y con el joven Julian Huxley para promover su idea de la ecología, que al segundo también le interesaba ligar al nuevo darwinismo emergente de la teoría de la evolución. Como negaba la existencia de un ecosistema natural característico de cualquier entorno, su enfoque permitía considerar el sistema natural como algo que podía adaptarse a la actividad humana mediante la planificación científica. Ese punto de vista tuvo evidentes repercusiones sociales y alcanzó gran popularidad en las novelas de ciencia ficción de H. G. Wells (que también colaboró con Huxley en una importante obra que obtuvo gran éxito, *The Science of Life* [La ciencia de la vida], en 1931). No obstante, entonces ambos no imaginaban que la ecología como tal pudiera ser analizada por medio de modelos matemáticos, en parte porque las rápidas fluctuaciones en la densidad de población observadas por Elton parecían imprevisibles. De cualquier modo, hubo otros que sí se interesaron cada vez más por la posibilidad de usar las matemáticas, quizá porque detectaron una analogía entre la conducta de las moléculas individuales de un gas y la de los animales individuales al interactuar con su entorno. En 1925, el físico químico americano Alfred J. Lotka publicó un libro sobre el tema, y su plantea-

miento fue posteriormente adoptado por el físico matemático italiano Vico Volterra, cuya preocupación era predecir las variaciones en las poblaciones comerciales de peces. A finales de la década de 1930, el biólogo ruso G. F. Gause llevó a cabo experimentos con protozoos para verificar las «ecuaciones de Lotka-Volterra», de tal modo que sus esfuerzos por corroborar las técnicas matemáticas serían fundamentales para estimular la expansión de la ecología tras la segunda guerra mundial (Kingsland, 1985). Por el momento, no obstante, había muchos que compartían los recelos de Elton y pensaban que la impredecible dinámica de los cambios de población en la naturaleza era un campo inadecuado para la aplicación de modelos matemáticos abstractos.

Ecología moderna

La ecología creció rápidamente durante las décadas de 1950 y 1960, a medida que el mundo era cada vez más consciente de los acuciantes problemas ambientales provocados por la actividad humana. De cualquier modo, la presión no procedía forzosamente de los grupos ecologistas. Los que pretendían controlar y explotar la naturaleza también querían información que les ayudara a abordar las situaciones cada vez más complejas que se les planteaban (Bocking, 1997). Los ecologistas se aprovecharon de la nueva imagen de un enfoque más «científico» facilitado por las técnicas matemáticas desarrolladas por Lotka y Volterra antes de la guerra. También lograron hacer causa común con la síntesis darwiniana que comenzaba a dominar la biología evolutiva tras la aparición de la teoría genética de la selección natural (basada en la elaboración de un modelo matemático de las poblaciones). Surgió una escuela de ecología de las poblaciones aprovechando la idea darwiniana de que la competencia era la fuerza motriz de las relaciones naturales. Sin embargo, no había consenso teórico general, pues al mismo tiempo apareció una escuela rival de ecología de sistemas que explotaba las analogías entre las relaciones ecológicas y las estructuras económicas estables existentes en la sociedad humana. Así pues, existía una renovada atención por el carácter armonioso de las comunidades, que recurría no a la vieja filosofía vitalista sino a los

modelos de sistemas naturales con sentido creados en la cibernética. Cuando James Lovelock, con su teoría de Gaia, extendió ese enfoque a algo que recordaba al viejo misticismo, recibió duras críticas de la mayoría de los biólogos por abandonar el espíritu materialista de la ciencia y hacerle el juego a la imagen idealizada de la naturaleza fomentada por los ecologistas extremos.

Las ecuaciones de Lotka-Volterra reafirmaron las lecciones del darwinismo al dar a entender que, en un mundo dominado por la competencia, las especies mejor adaptadas de cualquier entorno provocarían la extinción de todos sus rivales. Esto llegó a conocerse como el «principio de la exclusión competitiva», según el cual sólo una especie puede ocupar un nicho determinado de un emplazamiento concreto. El principio fue verificado por David Lack, alumno de Julian Huxley, en los «pinzones de Darwin» de las islas Galápagos. Aunque Darwin se había valido de esos pájaros como ejemplo clásico de especialización, estudios posteriores revelaron que solía haber varias especies diferentes alimentándose más o menos de la misma manera en la misma isla. Lack demostró que no era el caso, pues en realidad cada especie se alimentaba de una manera distinta —el mero hecho de que estuvieran mezcladas no quería decir que comieran los mismos alimentos de la misma forma—. Su libro *Darwin's Finches* [Los pinzones de Darwin] ayudó a establecer la nueva síntesis darwiniana del evolucionismo y el principio de la exclusión competitiva de la ecología, amén de renovar el interés por Darwin como fundador de la teoría de la selección.

El ecologista de formación británica G. Evelyn Hutchinson, que en 1928 se había trasladado a América, emitió la negativa de Elton a utilizar modelos matemáticos en la ecología animal. Sostenía que donde hubiera dificultades para aplicar las ecuaciones de Lotka-Volterra lo mejor era modificar los modelos matemáticos, no rechazar totalmente la técnica. Hutchinson quería valerse de los modelos matemáticos para unificar la ecología y la teoría de la evolución, como anunciaba el título de su libro de 1965 *The Ecological Theatre and the Evolutionary Play* [El teatro ecológico y el juego evolutivo]. Después, su alumno Robert MacArthur fundó una nueva ciencia de la ecología de las comunidades basada en los principios darwinianos de lucha y exclusión competitiva (Collins, 1986; Palladino, 1991). MacArthur

usó modelos matemáticos para abordar cuestiones como el posible grado de cercanía de los nichos en un entorno determinado y si éstos evolucionaban con las especies. Al igual que a Lack, a MacArthur le atraían los problemas planteados por la estructura de las poblaciones en islas separadas. Se asoció a Edward O. Wilson para elaborar una teoría que predecía que la diversidad de especies en una isla oceánica era directamente proporcional a su superficie. Se conservaba el número de especies gracias a un equilibrio entre inmigración y extinción, siendo la última siempre una amenaza para las poblaciones pequeñas aisladas. A Wilson le interesaba el modo como distintas estrategias reproductivas ayudaban o ponían obstáculos a una especie que intenta establecerse en una isla nueva; posteriormente pasó a desarrollar la ciencia de la sociobiología.

No obstante, Hutchinson tenía otros intereses que contribuyeron a crear una escuela rival de ecología de sistemas basada en principios teóricos muy diferentes. Quería estudiar comunidades valiéndose no de una analogía organísmica sino de una de carácter económico, que rastreara el flujo de energía y recursos a través del sistema e intentara identificar circuitos de retroalimentación que mantuvieran la estabilidad del conjunto. Se trataba de un enfoque promovido por el científico ruso de la tierra V. I. Vernadskii, que a principios de siglo había acuñado el término «biosfera». El concepto de circuitos de retroalimentación era esencial para la nueva ciencia de la cibernética fundada por Norbert Weiner, cuya finalidad era explicar la actividad de las máquinas autorreguladoras. Hutchinson suponía que esos circuitos funcionaban a una escala global para preservar los diversos ecosistemas en un estado estacionario. También veía una analogía entre ese modelo de la naturaleza y los intentos de los economistas por describir la sociedad humana como un sistema estable basado en el uso cooperativo de los recursos. En 1942, Raymond Lindemann, alumno de Hutchinson, escribió un influyente informe en el que analizaba el flujo de energía procedente del sol a través del ecosistema de Cedar Bog Lake, en Minnesota. Después, ese modelo del flujo de energía fue desarrollado por los hermanos Howard y Eugene Odum, los fundadores de la ecología de sistemas. Los Odum estudiaron la circulación de energía y recursos en una gran variedad de entornos, fundamentando su trabajo en el supuesto de que los ecosistemas

a gran escala mostraban una solidez sustancial frente a amenazas externas. Algunos de sus estudios fueron financiados por la Comisión de la Energía Atómica de Estados Unidos, preocupada por el peligro potencial derivado de accidente o guerra nucleares. La ecología de sistemas consideraba que la economía humana era sólo un aspecto de una red global de consumo de energía y recursos y proponía modelos según los cuales, si se conocían los patrones de flujo, era posible controlar satisfactoriamente todos los niveles del proceso. *Environment, Power and Society* [Entorno, poder y sociedad] (1971), de Howard Odum, presentaba el sueño de un tecnócrata de una sociedad minuciosamente estructurada y gestionada para poder mantenerse, incluso a pesar de contar sólo con los más limitados niveles de recursos, que serán de los que en el futuro dispondrá la humanidad (Taylor, 1988).

Por lo tanto, la ecología de las comunidades y la ecología de los sistemas representaban visiones opuestas de cómo construir un modelo del ecosistema, en un caso basándose en el principio darwiniano de la competencia, en el otro en una perspectiva más holística de los circuitos de retroalimentación con finalidad aparente. Desde el punto de vista filosófico y político, recurrían a implicaciones muy distintas en la naturaleza y la sociedad humana. El resultado fue un alto grado de conflicto en el que cada bando rechazaba al otro calificándolo de filosóficamente ingenuo y políticamente incompetente. Así pues, a finales del siglo XX no se produjo la unificación de la ecología en torno a un paradigma coherente. Existían aún distintas escuelas con diferentes filosofías, metodologías y programas de investigación. Lo único en lo que parecían estar todos de acuerdo era en que la ecología científica debía definirse como esencialmente materialista, sin dejar resquicio alguno para la comunicación con el misticismo de la naturaleza fomentado por el movimiento ecologista radical. Aunque la ecología de sistemas conservaba un enfoque holístico que recordaba a la idea de Clements del ecosistema como organismo por derecho propio, la llegada de la cibernética y la conexión con la economía hicieron que incluso esa escuela se distanciara del viejo idealismo.

Es en este contexto donde podemos evaluar la reacción ante la hipótesis de Gaia de James Lovelock (1979), según la cual la totalidad de la tierra es un sistema autorregulador concebido para preservar la vida.

Gaia es el antiguo nombre griego de la diosa de la tierra y fue escogido para dar a entender que la tierra es la madre de todos los seres vivos, incluidos los humanos. Lovelock no ocultó su apoyo al ecologismo: criticó a los que defendían la explotación sin límites de la naturaleza insinuando que, si hacía falta, Gaia tomaría medidas para eliminar a la humanidad si ésta se convertía en una amenaza para el conjunto de la biosfera. Lovelock tenía una trayectoria científica impecable —había trabajado en el programa espacial de desarrollo de sistemas para controlar la superficie terrestre desde satélites—, pero la retórica con la que exponía su teoría hería donde más les dolía a muchos de sus colegas. Aunque aparentemente similar al enfoque de los sistemas, Gaia parecía ir más allá de la analogía cibernética y regresar al viejo organicismo en el que los ecosistemas (en este caso, el conjunto de la biosfera) tienen una existencia real y pueden actuar por su cuenta para alcanzar sus propios objetivos. Los críticos no tardaron en señalar los fallos de la teoría, que rechazaron en su totalidad calificándola de perversión de la ciencia que le hacía el juego al romanticismo del movimiento ecologista. Para Lovelock, era como si un *establishment* científico dogmático hubiera cerrado filas en defensa del materialismo: «Tenía una leve esperanza de que Gaia pudiera ser censurada desde el púlpito; en vez de ello, se me pidió que pronunciara un sermón sobre Gaia en la catedral de San Juan Divino de Nueva York. En cambio, Gaia fue condenada por mis colegas y las revistas *Nature* y *Science* no publicarían artículos sobre el tema. No se me dio ninguna explicación convincente del rechazo; era como si el *establishment*, igual que el poder teológico oficial de la época de Galileo, ya no quisiera tolerar ideas radicales o excéntricas» (Lovelock, 1987, vii-viii). Es evidente el abismo aún existente entre la ecología científica (en todas sus formas) y el ecologismo radical.

Conclusiones

Aunque muchas personas relacionan el término «ecología» con el movimiento ecologista, hemos visto que la ecología científica tiene varios orígenes, la mayoría de los cuales no están ligados a la defensa del medio natural. A la ciencia se la ha asociado con más frecuencia a esfuer-

zos por explotar recursos naturales, y ciertos estudios históricos ponen de manifiesto que la ecología surgió más de un deseo de controlar ese proceso que de entorpecerlo. Como mucho, la mayoría de los biólogos han querido asegurarse de que la intervención de la humanidad en el mundo natural no generase demasiados perjuicios: antes producciones sostenibles que la destrucción total de un recurso. Incluso los ecologistas que concebían el ecosistema como una entidad con sentido y vida propia estaban dispuestos a prestar asesoramiento a agricultores y otros cuyas actividades alteraban forzosamente el estado intacto de la naturaleza. En Europa, de tan antiguo y generalizado como había sido la intervención humana en la formación del entorno, la idea de un paisaje exclusivamente natural no significaba nada. Aunque los ecologistas más radicales pueden consolarse con teorías como la de Gaia de Lovelock, no pueden reclamar que la ecología como ciencia respalde inevitablemente su visión de que la naturaleza debe quedar intacta.

Para el historiador de la ciencia es igual de interesante la diversidad de orígenes y perspectivas teóricas de las que surgieron las diversas ramas de la ecología. No había una disciplina única establecida por una metodología y un programa de investigación comunes, sino que el movimiento hacia lo que acabó conociéndose como ecología se produjo en diferentes sitios y en distintos momentos. Las diversas ubicaciones de los científicos implicados determinaron los problemas que intentaban resolver y, por tanto, las metodologías que consideraban adecuadas. Una técnica lógica en la pradera despejada del Medio Oeste americano no sería apropiada para el paisaje de múltiples cultivos de Europa o la tundra de la bahía de Hudson. A esos medios diversos acudieron científicos con distintos intereses y formaciones: unos eran fisiólogos de plantas que pretendían extender el método experimental a la interacción entre planta y entorno; otros, biogeógrafos o taxonomistas. A todos los movía la misma resolución de lograr que el estudio de las interacciones entre los organismos y su entorno fuera más científico, pero lo que defendían como «científico» dependía de su experiencia y de los problemas que afrontaban. Para empezar, había muchos recelos sobre la aplicación de técnicas matemáticas a la formación de ecosistemas. La mayoría de los ecologistas querían describir su ciencia como materialista, lo cual a la larga generó un víncu-

lo con el resucitado darwinismo de la síntesis evolutiva. De todas formas, ha habido una corriente continua de oposición filosófica a ese movimiento paralelamente a dudas semejantes en otras áreas de la biología. En la ciencia de principios del siglo XX, el holismo de Smuts no era ni mucho menos desacostumbrado en una corriente no materialista de pensamiento. Por supuesto recurría a algunos de los primeros ecologistas, y aunque esa forma de pensar se estilaba cada vez menos a finales de siglo, su renacimiento en forma de hipótesis de Gaia activó un nuevo nivel de debate, el cual nos recuerda el abismo que todavía existe entre la mayoría de los científicos y la casi mística visión de la naturaleza que ha mantenido el movimiento ecologista más radical.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Anker, Peder, *Imperial Ecology: Environmental Order in the British Empire, 1895-1945*, Harvard University Press, Cambridge, 2001.

Bocking, Stephen, *Ecologists and Environmental Politics: A History of Contemporary Ecology*, Yale University Press, New Haven, CT, 1997.

Bowler, Peter J., *The Fontana/Norton History of the Environmental Sciences*, Fontana, Londres; Norton, Nueva York, 1992; ed. Norton, posteriormente retitulado *The Earth Encompassed*.

Bramwell, Anna, *Ecology in the Twentieth Century: A History*, Yale University Press, New Haven, CT, 1989.

Brockway, Lucille, *Science and Colonial Expansion: The Role of the British Royal Botanical Gardens*, Academic Press, Nueva York, 1979.

Cittadino, Eugene, *Nature as Laboratory: Darwinian Plant Ecology in the German Empire, 1880-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Coleman, William, «"Evolution into Ecology?" The Strategy of Warming's Ecological Plant Geography», *Journal of the History of Biology*, n.º 19 (1996), pp. 181-196.

Collins, James P., «Evolutionary Ecology and the Use of Natural Selection in Ecological Theory», *Journal of the History of Biology*, n.º 19 (1986), pp. 257-288.

Crowcroft, Peter, *Elton's Ecologists: A History of the Bureau of Animal Population*, University of Chicago Press, Chicago, 1991.

Kingsland, Sharon E., *Modeling Nature: Episodes in the History of Population Ecology*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.

Lovelock, James, *Gaia: A New Look at Life on Earth*, nueva ed., Oxford University Press, Oxford, 1987.

Leopold, Aldo, *A Sand County Almanac: With Other Essays on Conservation from Round River*, reed., Oxford University Press, Nueva York, 1966.

Marsh, George Perkins, *Man and Nature*, ed. David Lowenthal, reed., Harvard University Press, Cambridge, MA, 1965.

Mackay, David, *In the Way of Cook: Exploration, Science and Empire, 1780-1801*, Croom Helm, Londres, 1985.

McCormick, John, *The Global Environment Movement: Reclaiming Paradise*, Indiana University Press, Bloomington; Belhaven, Londres; 1989.

Merchant, Carolyn, *The Death of Nature: Women, Ecology and the Scientific Revolution*, Wildwood House, Londres, 1980.

Mitman, Greg, *The State of Nature: Ecology, Community, and American Social Thought, 1900-1950*, University of Chicago Press, Chicago, 1992.

Palladino, Paolo, «Defining Ecology: Ecological Theories, Mathematical Models, and Applied Biology in the 1960s and 1970s», *Journal of the History of Biology*, n.º 24 (1991), pp. 223-143.

Sheal, John, *Nature in Trust: The History of Nature Conservancy in Britain*, Blackie, Glasgow, 1976.

—, *Seventy-five Years in Ecology: The British Ecological Society*, Blackwell, Oxford, 1987.

Taylor, Peter J., «Technocratic Optimism, H.T. Odum, and the Partial Transformation of Ecological Metaphor after World War II», *Journal of the History of Biology*, n.º 21 (1988), pp. 213-244.

Tobey, Ronald C., *Saving the Prairies: The Life Cycle of the Founding School of American Plant Ecology*, University of California Press, Berkeley, 1981.

Worster, Donald, *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas*, reed., Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

— 10 —

La deriva continental

La década de 1960 fue testigo de una espectacular revolución en las ciencias de la tierra. En el intervalo de unos diez años, los principios aceptados desde la «era heroica» de la geología en el siglo XIX fueron demolidos y sustituidos por un nuevo modelo del interior de la tierra. Ahora se consideraba que la superficie se componía de placas entrelazadas pero móviles que estaban siendo continuamente renovadas por la acción volcánica en un extremo y destruidas por subducción al interior en el otro. Como consecuencia de esa nueva teoría de la «tectónica de placas», parecía totalmente verosímil la idea de que los continentes se desplazaban horizontalmente por la superficie terrestre, algo que durante décadas había sido rechazado o ridiculizado. Los continentes son como balsas de rocas ligeras transportadas por el movimiento de las placas subyacentes sobre las que descansan.

No es casualidad que historiadores y filósofos de la ciencia hayan intentado valerse de este episodio como trabajo de referencia para verificar teorías del cambio científico (Frankel, 1978, 1985; Le Grand, 1988; Stewart, 1990). ¿Era eso una «revolución» en el sentido de T. S. Kuhn, según el cual un paradigma de mucho arraigo entra en crisis y es sustituido por otro? Desde luego, muchos de los participantes eran de esa opinión. ¿O se trataba de algo más complejo que quizá había que explicar en términos sociológicos relacionados con la creación de grupos de investigación y nuevas disciplinas? Según Robert Muir Wood (1985), de hecho la revolución fue para las ciencias de la tierra

una rentable oferta de adquisición en virtud de la cual la nueva disciplina de la geofísica desplazó a la más tradicional de la geología. Se conservaron buena parte de las nociones establecidas por los geólogos, pero los principios fundamentales se reformularon a la luz del nuevo conocimiento del interior de la tierra procurado por los geofísicos. Todavía era válida la secuencia de formaciones geológicas especificada por los geólogos del siglo XIX (véase cap. 5, «La edad de la tierra»), pero se abandonaron sus explicaciones sobre la formación de las montañas. Al mismo tiempo, uno de los axiomas más controvertidos de la geología más temprana, el principio de Charles Lyell de la uniformidad, fue triunfalmente confirmado. Los movimientos supuestos por la tectónica de placas eran lentos y graduales, como siguen siéndolo hoy. En parte, la transformación teórica se debió a tecnologías nuevas que permitían la exploración del lecho marino, lo que puso al descubierto acciones geológicas que la generación de Lyell no había sido capaz de observar.

La situación se complicó porque la idea de la deriva continental había sido sugerida por Alfred Wegener ya en 1912, si bien fue objeto de un amplio rechazo hasta la revolución de la década de 1960. ¿Hay que considerar a Wegener un pionero de la teoría que se aceptaría más adelante? En caso afirmativo, ¿por qué toda una generación de geólogos se opuso con tanta vehemencia a sus argumentos? ¿O sus ideas eran sólo una anticipación superficial de la tectónica de placas, una conjetura afortunada que casualmente dio con un aspecto clave de la teoría posterior mientras no lograba en absoluto prever la revolución más básica de nuestro conocimiento de la tierra? Wegener no predijo la reformulación de ciertas ideas sobre los mecanismos que tienen lugar en la corteza terrestre y que son esenciales a la tectónica de placas. No obstante, incluso cuando en la década de 1920 se propusieron mecanismos similares a raíz de los nuevos conocimientos acerca del calentamiento radiactivo, la mayoría de los geólogos seguían mostrándose escépticos. Quizá el hecho de que el propio Wegener fuera geofísico, no geólogo, nos ayude a entender por qué los científicos formados según la vieja forma de pensar no tomaron en serio sus ideas. En este caso, tal vez debamos reflexionar detenidamente sobre la sugerencia de Wood de que la revolución fue consecuencia del tar-

dío triunfo de la geofísica gracias a la aparición de técnicas nuevas para estudiar la corteza terrestre.

La crisis de la geología

Alfred Wegener no fue el primero en señalar que el aparente «encaje» entre las costas de África y Sudamérica inducía a pensar que el océano Atlántico surgió al separarse los continentes. Pero sí fue el primero en incorporar esa percepción a una teoría general que pretendía explicar un amplio abanico de fenómenos geológicos en función de la deriva continental. La teoría fue acogida con un enorme escepticismo, en parte porque él no hablaba de ningún mecanismo verosímil en virtud del cual los continentes pudieran desplazarse horizontalmente por la superficie de la tierra. De todas formas, sí articuló varias objeciones importantes que habían empezado a debilitar las teorías existentes sobre el cambio geológico y dio a entender que una alternativa «movilista» acaso resolviera esos problemas. En ese sentido, aunque su previsión de la nueva teoría tuviera un alcance limitado, podemos tomar en serio a Wegener como el artífice del desmoronamiento de los paradigmas anteriores de las ciencias de la tierra. Vale la pena recordar que ni Copérnico ni Kepler fueron capaces de prever la explicación de los movimientos planetarios dada por Newton, y que el propio Wegener consideraba que su teoría de la deriva era un esbozo preliminar que aguardaría su confirmación futura por una generación que reformularía las ideas sobre la estructura subyacente de la tierra.

Para comprender la crisis a la que Wegener estaba respondiendo, hemos de volver a las teorías propuestas durante el siglo XIX (Greene, 1982). Como hemos visto en el capítulo sobre la edad de la tierra (cap. 5), la teoría predominante decía que el planeta se estaba enfriando, con una consiguiente disminución en el ritmo de la actividad geológica, por ejemplo los movimientos terrestres. Había habido oposición a la alternativa uniformitariana de Charles Lyell sobre todo porque daba a entender que la tierra había estado en una «situación estable» durante un período incalculable. Lyell obtuvo cierto éxito al convencer a los catastrofistas de que redujeran los cataclismos que defendían para los pri-

meros períodos, pero muy pocos desecharon la afirmación básica de que, en el pasado lejano, la tierra había sido un lugar más violento. Lyell tampoco fue capaz de explicar de forma convincente las pruebas de episodios espectaculares, si no realmente catastróficos, de los restos geológicos. Las divisiones entre los períodos geológicos sí parecían efectivamente poner signos de puntuación entre períodos de relativa calma y episodios de formación masiva de montañas y grandes extinciones provocadas por la resultante transformación climática. En la segunda parte del siglo, la mayoría de los geólogos creían que esos hechos se debían a arrugamientos relativamente repentinos de la corteza, necesarios para aliviar la presión acumulada a medida que se enfriaba el interior de la tierra y, por tanto, disminuía su volumen. Incluso los propios continentes se formaron gracias a ese pandeo a gran escala de la corteza, así que incluso éstos eran relativamente inestables: cualquier parte de la superficie terrestre podía ser empujada hacia abajo para formar lecho marino o hacia arriba para formar continentes y montañas, según cual fuera la ubicación precisa del punto débil que cedería ante la presión causada por la contracción. La escala temporal de la secuencia completa se definía con arreglo al tiempo que había tardado la tierra en enfriarse desde un estado inicialmente fundido.

A finales de siglo se habían puesto en entredicho muchos aspectos de esa teoría, en parte debido a la aparición de un nuevo enfoque del estudio de la tierra que acabó denominándose geofísica. A esa nueva generación de científicos no le interesaba los esfuerzos de los geólogos por proporcionar una datación relativa de la secuencia de hechos en la historia del planeta: quería comprender los verdaderos procesos físicos que accionaban las actividades que se producían en las profundidades. Los intentos de lord Kelvin por resolver la escala temporal del enfriamiento de la tierra formaban parte de esa iniciativa, y él estaba sin duda interesado en los procesos mediante los cuales el calor ascendía a la superficie. Gracias a sus trabajos se supo que la cantidad de calor que llegaba a la superficie desde el interior era insignificante en comparación con la recibida del sol. De modo que incluso para un defensor del enfriamiento de la tierra no cabía esperar que se enfriara el clima, al menos en las fases posteriores.

Sin embargo, para la teoría dominante, algunos de los cálculos

realizados por los geofísicos eran más significativos: resultaba que, aunque la tierra se estuviera enfriando y, por tanto, contrayendo, el grado de contracción no bastaba para producir el elevadísimo número de fallas y pliegues observados en la corteza. A principios del siglo XX, el modelo del enfriamiento de la tierra empezó a recibir críticas, pues la teoría del calentamiento radiactivo sugería que la temperatura interna puede mantenerse durante miles de millones de años. El mecanismo de contracción de la formación de las montañas estaba obsoleto, y a Wegener le parecía evidente que los movimientos horizontales de los continentes procurarían una explicación alternativa.

Igualmente sugerentes eran las pruebas derivadas de nuevos estudios sobre la naturaleza real de las rocas que constituyen los continentes y los mares. En su *Physics of the Earth's Crust* [Física de la corteza terrestre] de 1881, el geofísico británico Osmond Fisher recogió pruebas de que las rocas continentales se componían de materiales más ligeros que los del profundo lecho marino. Los continentes estaban formados principalmente por silicatos de aluminio (más adelante abreviado como «sial»), mientras que en el fondo del mar había sobre todo silicatos de magnesio («sima»). La consecuencia era obvia: los continentes no se forman por elevación desde el mar, sino que es mejor imaginarlos como balsas de sial ligero flotando en una corteza global subyacente de sima. Ese concepto se incorporó a la teoría de la «isostasia» propuesta en 1889 por el geofísico americano Clarence Dutton. Según ese modelo, los continentes flotan en equilibrio hidrostático, subiendo y bajando a medida que el material se erosiona o se deposita en un sitio o en otro.

Para entonces la mayoría de los ecologistas habían aceptado que los continentes eran antiquísimos, aunque muchos aún creían que ciertas áreas de tierra habían estado sumergidas en el mar en determinados momentos del período geológico. En otro tiempo, los continentes actuales habían estado unidos por «puentes de tierra» o áreas incluso más extensas, ahora desaparecidas bajo las olas. Esos puentes de tierra explicaban ciertas anomalías de los restos fósiles, entre ellas el hecho de que las poblaciones de África y Sudamérica parecen haber sido idénticas hasta la Era Mesozoica, tras la cual divergieron continuamente. Se creía que, en aquel momento, había que-

dado sumergido un puente de tierra que unía los continentes. Sin embargo, en el modelo propuesto por Fisher y Dutton, esos puentes de tierra eran inverosímiles: sería físicamente imposible que las rocas continentales más ligeras se vieran obligadas a bajar hasta un nivel en el que pudieran formar el lecho marino del sur del Atlántico o de cualquier otro mar. De vez en cuando, los continentes podían ser invadidos por mares muy poco profundos, pero jamás constituir el lecho marino. Aquí nuevamente Wegener fue capaz de aprovechar un punto débil de la teoría existente que, según afirmaba, podía ser superada defendiendo un movimiento horizontal de las propias balsas continentales.

Wégener y la primera teoría de la deriva

Así pues, la teoría de Wegener era un intento de brindar una alternativa a un paradigma que, como él sostenía, estaba ya caduco. El problema era que, para la mayoría de sus contemporáneos, la nueva idea era aún menos convincente que la vieja. Desde luego había pruebas importantes que apuntaban a la posibilidad de que los continentes se habían desplazado, entre ellas algunas que en otro tiempo se habían utilizado para justificar la idea de los puentes de tierra. De todas formas, Wegener no avanzó hacia una reformulación completa de las nociones sobre la estructura interna de la tierra, por lo que su teoría carecía de una explicación creíble de cómo los continentes podían verse arrastrados por la superficie terrestre contra la enorme resistencia del rozamiento a un movimiento así. También cabe destacar el hecho de que Wegener no pertenecía a la comunidad de geólogos tradicionales, sino que era un meteorólogo cuyos intereses principales estaban en la paleoclimatología (Schwarzbach [1989]; para un análisis más general, véase Hallam [1973]). Junto a su suegro Wladimir Köppen respaldó la teoría de que el inicio de los períodos glaciares se debió a fluctuaciones en la cantidad de calor recibido del sol. Ese interés en los períodos glaciares lo llevó a investigar en Groenlandia, donde murió en una expedición realizada en 1930. Por tanto, su trabajo sobre la deriva continental fue, en cierto sentido, secundario respecto a su principal activi-

dad ligada a los aspectos meteorológicos de la geofísica. Según ciertos historiadores, la falta de formación de Wegener en geología pura quizá le proporcionó la flexibilidad mental necesaria para inventar una idea totalmente nueva sobre los movimientos de la tierra, pero seguramente también lo distanció de la comunidad profesional de geólogos, que lo consideraban un intruso y un diletante.

Wegener concibió su teoría en 1910, cuando observó la relación entre las costas de África y Sudamérica, y de inmediato acudió a la literatura geológica en busca de argumentos que respaldaran su idea. Dos años después, empezó a dar conferencias sobre el tema, y en 1915 apareció su libro *El origen de los continentes y océanos* (no se tradujo al inglés hasta 1966), que exponía un logrado resumen de todas las pruebas acumuladas contra la vieja teoría de la formación de las montañas y luego defendía la alternativa de la deriva. Actualmente, casi nadie duda de que podemos considerar los continentes como balsas de material ligero que descansan sobre una capa más densa de corteza expuesta en el lecho marino. La tesis de Wegener era que si de un modo u otro los continentes eran empujados horizontalmente por la superficie, el rozamiento haría que se arrugara el borde anterior de la placa continental, con lo que se generarían cordilleras. Si América se estuviera alejando de África y Eurasia, eso daría razón de las cadenas montañosas que recorren los extremos occidentales de Norteamérica y Sudamérica. Wegener sostenía que, en otro tiempo, todos los continentes habían estado unidos en una sola masa de tierra que denominó Pangea, la cual comenzó a dividirse en la Era Mesozoico (fig. 10.1). Eso explicaría por qué los habitantes de Sudamérica y África habían empezado a divergir sólo a partir de ese momento. También explicaría por qué era muy parecida la estructura geológica temprana de las dos áreas. El argumento del encaje de las costas se basaba en algo más que en la mera geografía: si las imaginamos unidas, las verdaderas formaciones geológicas también son continuas. Wegener se valía de una analogía eficaz: «Es como si quisiéramos volver a encajar los trozos rotos de un periódico ensamblando sus bordes y comprobando luego si las líneas impresas están bien emparejadas. Si resulta que sí, sólo cabe llegar a la conclusión de que los trozos estaban realmente unidos de ese modo» (Wegener, 1966, p. 77). A su juicio, las pruebas de que

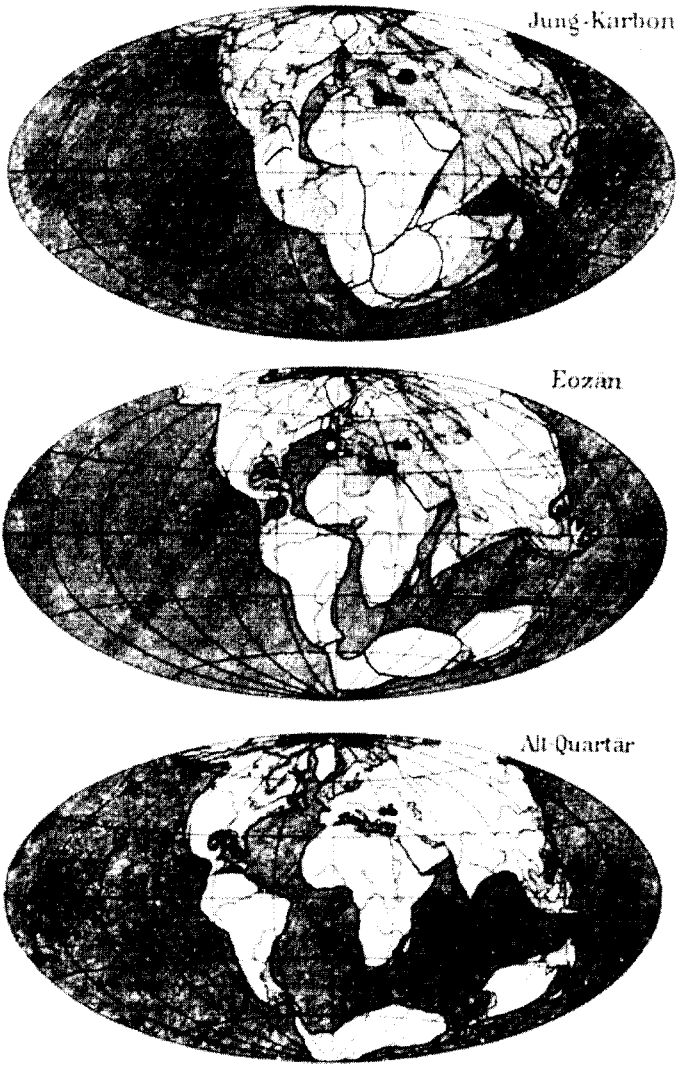


FIGURA 10.1. Mapas de Alfred Wegener donde se aprecia la deriva continental, de su *Die Entstehung der Kontinente und Ozeane*, 3ª ed. (1922), p. 4. El mapa superior muestra la tierra en el período carbonífero tardío, con la mayor parte de la tierra unida en un solo supercontinente, Pangea. En los mapas inferiores se observa la fragmentación en el período eoceno y finalmente en el cuaternario temprano, cuando ya se va haciendo visible la distribución actual.

en la Era Mesozoica se produjo la separación de los continentes eran indiscutibles.

Wegener también utilizó sus conocimientos de paleoclimatología para aportar otras pruebas. Los restos fósiles indicaban que muchas áreas continentales habían experimentado un período glaciar durante el Pérmico. Eso era difícil de explicar si los continentes hubieran estado entonces colocados como en la actualidad, pero sí tendría sentido si en otro tiempo hubieran estado unidos para formar una masa más grande situada cerca del polo Sur. Las condiciones climáticas más cálidas de otras regiones podrían explicarse asimismo si habían estado localizadas en los trópicos. De forma mucho menos razonable, Wegener intentó argumentar además que Europa y Norteamérica habían estado también unidas en el último período glaciar. Habida cuenta de que, en términos geológicos, aquél era muy reciente, la teoría implicaría una abertura muy rápida en el norte del Atlántico. Wegener incluso citaba algunas medidas muy discutibles según las cuales actualmente Groenlandia y Europa se están separando a un ritmo de diez metros al año.

Además, Wegener tenía que explicar cómo se habían desplazado los continentes por la superficie, y ahí sus esfuerzos resultaron mucho menos convincentes. Aún creía que la corteza subyacente de sima era estática, por lo que las balsas continentales debían ser empujadas por esa superficie contra una tremenda resistencia en forma de rozamiento. Para que la idea fuera más creíble, argüía que la corteza no era totalmente rígida. Como la brea, resistía un golpe repentino, aunque fluía gradualmente si se la sometía a una presión continua. Pero incluso así, la resistencia a un continente en movimiento sería enorme, y para proporcionar la presión necesaria Wegener sólo tenía dos sugerencias. Una era el hipotético «desplazamiento desde los polos» causado por la fuerza centrífuga derivada de la rotación de la tierra. La otra era una presión hacia el oeste resultante de las mareas generadas por la luna. El problema era que esas fuerzas no sólo eran consideradas insuficientes por la mayoría de los geofísicos, sino que además no podían explicar por qué se había separado Pangea en el Mesozoico. Probablemente, el desplazamiento desde los polos se había producido en realidad a partir de la formación de los continentes, por lo que és-

tos tenían que haberse movido continuamente hacia el ecuador y quedarse ahí. Y si la fuerza de las mareas estaba empujando América al oeste, ¿por qué no estaba teniendo efecto en Eurasia y África? Wegener había visto las pruebas superficiales de la deriva continental, pero no se había dado cuenta de que para que su teoría funcionara era preciso crear un modelo movilista para el conjunto de la corteza subyacente de la tierra.

Respuesta a Wegener

Al principio, el rechazo a la teoría de Wegener fue débil, pero en el mundo anglosajón pronto fue en aumento hasta convertirse en una hostilidad casi generalizada. Los geólogos alemanes eran más favorables a la teoría wegneriana pues entendían que la idea era potencialmente interesante si bien, para tomarla realmente en serio, necesitaba más pruebas que la avalaran. En Alemania, en las ciencias de la tierra había una tradición de labor teórica llevada a cabo por geólogos de salón que no hacían trabajo de campo sino que reunían sus datos a partir de la literatura. En cambio, en Gran Bretaña y América se daba por sentado que todo aquel que se atreviera a proponer una teoría nueva debía pagar primero el peaje de la práctica, por lo que se tachaba a Wegener de intruso que se aventuraba en un territorio ya reivindicado por otros (Oreskes, 1999). En la ya famosa reunión de la Asociación Americana de Geólogos del Petróleo celebrada en 1926, se rechazó de manera mayoritaria la teoría de la deriva y, en algunos casos, se la ridiculizó abiertamente. Para explicar las pruebas fósiles aún se utilizaba la vieja idea de los puentes de tierra sumergidos pese a su incompatibilidad con los datos geofísicos. Se calificó a Wegener de entusiasta falto de sentido crítico que había rastreado en la literatura en busca de pruebas favorables a su causa mientras pasaba por alto un montón de argumentos en contra. También parecía que la teoría debilitaba la lógica del uniformitarianismo, pues parecía dar a entender que había un punto de partida arbitrario para la totalidad del proceso de deriva en el Mesozoico.

Fue difícil convencer incluso a los geofísicos, y en ese sentido re-

sultaron cruciales los puntos débiles de los mecanismos reales propuestos por Wegener. En su prestigioso libro de texto *The Earth* [La tierra], publicado en 1924, el geofísico británico Harold Jeffreys sostenía que las fuerzas postuladas por Wegener eran demasiado pequeñas —en muchos órdenes de magnitud— para superar el rozamiento que debía producirse si el continente era empujado a través de una corteza subyacente estática.

Unos cuantos geólogos sí tomaron la teoría en serio, aunque durante varias décadas fueron como voces clamando en el desierto. R. A. Daly, geólogo de la Universidad de Harvard, propuso para la deriva un mecanismo basado en el deslizamiento de los continentes desde un «bulto» polar de la superficie terrestre. El más entusiasta de todos era el geólogo sudafricano Alexander Du Toit, que reparó en las semejanzas entre la estructura de su país y Sudamérica. En su *Our Wandering Continents* [Nuestros continentes errantes], de 1937, moderó algunas de las afirmaciones exageradas de Wegener sobre la rapidez de la deriva y defendió la idea de dos supercontinentes antiguos, Laurasia y Gondwana, en vez de uno.

Para los historiadores de la ciencia que querían entender por qué se rechazó entonces una teoría tan cercana a la moderna, la ayuda más interesante procedió del geofísico Arthur Holmes, que gozaba de una considerable reputación por sus trabajos sobre datación radiactiva de la tiérra (Frankel, 1978). Holmes calculó que el calor producido por radiactividad en las honduras del planeta era tan elevado que hacía falta algún mecanismo de conducción para llevarlo a la superficie. Los numerosos volcanes constituían una posibilidad evidente. En 1927, Holmes sostenía que en la corteza terrestre podía haber corrientes de convección en las que ascendía material caliente a la superficie mientras en otra parte material frío experimentaba subducción al interior. De hecho, se creaba corteza nueva a partir de roca fundida sobre un «punto caliente», se destruía corteza vieja por subducción, y entretanto el conjunto se movía horizontalmente. Holmes pronto reparó en que esas corrientes de convección procurarían un mecanismo para la deriva continental, pues si la balsa flotaba en un área de corteza en movimiento, se desplazaría con ésta. Los argumentos contra Wegener basados en el nivel de rozamiento entre continente y corteza subyacente quedaban

debilitados por ese nuevo modelo de lo que estaba pasando dentro de la misma corteza.

Holmes creía que tenderían a acumularse puntos calientes bajo los continentes que, por tanto, se fragmentarían mediante la deriva. No se dio cuenta de que, como consecuencia de ello, la mayoría de dichos puntos se hallarían ahora bajo los mares creados por la ruptura del continente original. En lo que a esto se refiere, su idea no preveía la noción de expansión del lecho marino que llegó a ser fundamental para la tectónica de placas, pese a que la teoría de las corrientes de convección en la corteza terrestre era una asombrosa previsión de avances posteriores. Aun así, nadie hizo mucho caso, y las sugerencias de Holmes no sirvieron para mejorar en nada la suerte de la teoría de Wegener. Por eso los historiadores han acabado preguntándose por qué una teoría que, a esas alturas, había llegado a estar tan cerca de lo que sería aceptado en la década de 1960 siguió siendo rechazada durante otra generación. Una posibilidad es que la primera versión de Holmes de la teoría era inverificable, de ahí que no pudiera ser utilizada como base de un programa viable de investigación. Aunque hubiera comprendido que los puntos calientes había que buscarlos en medio del mar, entonces no se disponía de técnicas para estudiar el lecho marino profundo. De todas formas, aún era más importante la continuada influencia de la vieja comunidad geológica, que seguía estando muy poco dispuesta a permitir que los advenedizos geofísicos impusieran su visión del mundo.

Tectónica de placas

Los avances que revolucionaron las ciencias de la tierra en las décadas de 1950 y 1960 derivaron en parte indirectamente de la tecnología militar desarrollada durante la segunda guerra mundial y la guerra fría. Debido a la amenaza de los submarinos, para las marinas de todo el mundo fue vital saber más sobre el lecho de las profundidades del mar, por lo que recurrieron a los geofísicos en busca de información. Se crearon instrumentos más perfeccionados para cartografiar la estructura magnética del fondo del mar, de lo cual surgieron nuevas

ideas que transformarían los modelos teóricos de los científicos sobre la corteza terrestre. Eso permitió al concepto de deriva continental disfrutar de una tardía victoria mientras iba montado en el carro de la nueva teoría de la tectónica de placas. Pero lo que se reemplazaba no era sólo un paradigma. Gracias a su nueva situación en cuanto a financiación e influencia, la joven ciencia de la geofísica fue capaz de darle la vuelta al equilibrio de poder que hasta entonces la había mantenido subordinada a la geología tradicional. El triunfo del nuevo orden fue proclamado por el Año Geofísico Internacional (en realidad de julio de 1957 a diciembre de 1959), que tuvo gran repercusión incluso fuera de la comunidad científica. Durante la década siguiente al menos, los departamentos universitarios de geología empezaron a adoptar el nuevo nombre de departamentos de «ciencias de la tierra», lo que equivalía a reconocer que la disciplina ya no estaba dominada por la geología de la vieja guardia. La revolución que generó la teoría de la tectónica de placas no era una transformación producida en un solo ámbito, sino una consecuencia del intento de una nueva comunidad investigadora por controlar un área que hasta la fecha había estado dominada por la vieja tradición. Según un estudio reciente, lo que cambió —al menos para los científicos americanos— fue la definición de lo que se consideraba realmente ciencia en esa área (Oreskes, 1999).

Las novedades más importantes en la tecnología de lo que pudieron disponer los geofísicos fueron las que posibilitaron un estudio detallado del campo magnético de la tierra. Enre los físicos hubo importantes controversias sobre la naturaleza del magnetismo y, por tanto, sobre la constancia del campo terrestre. El físico británico P. M. Blackett había ayudado a fabricar un magnetómetro sumamente sensible para detectar minas magnéticas durante la segunda guerra mundial, y ahora usaba esas destrezas para localizar campos magnéticos diminutos atrapados en las rocas de la corteza terrestre. Se daba por supuesto que esos campos estaban grabados en las rocas desde que éstas se formaron, lo que efectivamente proporcionaba un registro del campo magnético terrestre a lo largo de todo el tiempo geológico. Con gran sorpresa para todos, cuando se compararon detalles de los restos de magnetismo de rocas de diferentes áreas, quedó claro que no todas estaban alineadas con el estado actual del campo de la tierra ni unas con

otras. O bien las rocas se habían movido desde su formación, o bien los polos magnéticos habían cambiado. Como los campos remanentes diferían en rocas de distintas partes del mundo, la explicación más probable era que los continentes ya no se hallaban en la posición que habían ocupado en períodos geológicos anteriores.

Igual de desconcertante fue el hecho de que, en muchas rocas, los restos de magnetismo tenían una polaridad inversa respecto a la actualmente observada. Los geofísicos empezaron a sospechar que de vez en cuando debía invertirse el campo magnético de la tierra, con un intercambio de posiciones entre los polos magnéticos norte y sur. Al reunir un gran número de observaciones, fue posible crear un calendario de esos cambios geomagnéticos. Al mismo tiempo, técnicas perfeccionadas de datación radiométrica permitieron la construcción de un calendario detallado de la formación de las rocas durante el Pleistoceno. Tras combinar las dos líneas de prueba, un equipo de Berkeley encabezado por Richard Doell, Alan Cox y G. Brent Dalrymple fue capaz de resolver una secuencia para las inversiones magnéticas correlacionada con la escala temporal geológica existente. La última inversión se precisó partiendo de ensayos con rocas en Jaramillo, Nuevo México, y fue publicada en 1966 (Glen, 1982). Pronto desempeñaría un papel esencial en la cuestión de la deriva continental.

En el ámbito de la oceanografía tuvo lugar un desarrollo análogo. Durante la segunda guerra mundial y luego en la guerra fría, la detección de submarinos enemigos llegó a ser de capital importancia para los militares. Si se trataba de detectar submarinos ocultos, era crucial disponer de mayor información sobre la naturaleza del lecho marino, por lo que se realizaron importantes esfuerzos para ampliar la gama de magnetómetros nuevos y más sensibles con el fin de poder confeccionar mapas magnéticos detallados del fondo del mar. Esos estudios trastocaron completamente las expectativas basadas en la idea de una tierra estática, pues las rocas del lecho marino resultaron ser considerablemente uniformes y sumamente recientes en términos geológicos. Las investigaciones con sonar y otras técnicas revelaron un patrón de cordilleras en mitad del mar, cadenas de montañas extendiéndose por lechos marinos por lo demás llanos. Las cordilleras eran lugares de una gran actividad sísmica y volcánica. Cuando se sacaron a la luz ro-

cas de esas montañas, se observó que eran más jóvenes que cualquiera de las otras: hacía poco que se habían solidificado a partir de un estado fundido. Ahí, en una ubicación totalmente inesperada, Holmes predijo los puntos calientes.

Una figura destacada de esa transformación de las ideas sobre las profundidades marinas fue el geofísico americano Harry Hess. Estando al mando de un barco en la guerra del Pacífico contra Japón, había utilizado su sistema de sonar para trazar mapas del lecho marino. A mediados de la década de 1950, comenzó a sugerir que las cordilleras del mar eran los sitios por los que surgían rocas calientes del interior de la tierra. Era ahí donde se estaba creando nueva corteza, y era en las hondas zanjas oceánicas donde la corteza vieja estaba siendo empujada a las profundidades. El lecho marino era joven porque se estaba renovando continuamente: sólo los continentes, elevados debido a su menor densidad, constituían un testimonio palpable del pasado remoto. La teoría de Holmes de las corrientes de convección en la corteza era correcta, pero toda la actividad se estaba produciendo en el fondo del mar, donde nadie antes había podido observarla. El término «expansión del lecho marino» fue acuñado por Robert Dietz en 1961.

Al principio, las ideas de Hess fueron recibidas con escepticismo, aunque entusiasmaron a Fred Vine y Drummond Matthews, de la Universidad de Cambridge, que intentaban comprender los patrones de magnetismo que estaban apareciendo en el fondo del mar y quedaron desconcertados ante la existencia de franjas paralelas de magnetismo normal e inverso junto a las cordilleras en pleno océano. En 1963, publicaron un informe en el que sostenían que ese patrón era exactamente lo que cabría esperar si en la cordillera se estuviera produciendo constantemente nuevo lecho marino que luego se viera forzado a alejarse en una u otra dirección. A medida que surgían rocas nuevas, quedaba grabada en ellas la dirección actual del campo magnético terrestre, pero cuando el campo se invertía, empezaba a formarse una nueva franja de rocas magnetizadas a la inversa, lo que alejaba continuamente de la cordillera la franja original. Aquélla, por tanto, debía estar rodeada en ambos lados por un patrón de franjas magnéticas normales e inversas (figs. 10.2 y 10.3).

Vine y Matthews ya tenían algunas pruebas de ese efecto de las

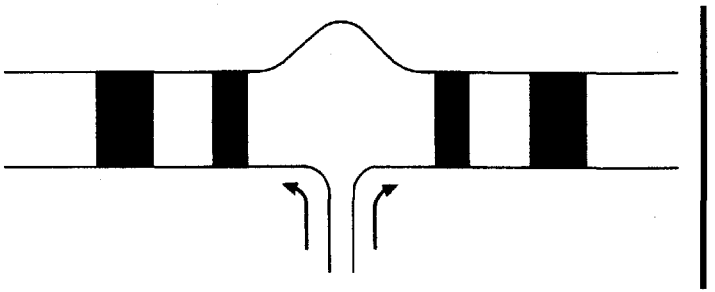


FIGURA 10.2. Sección transversal del fondo del mar en una cordillera en mitad del océano, donde se aprecia el efecto de la expansión del lecho marino. El material caliente que brota en la cadena montañosa se expande por igual a un lado y a otro. Las franjas claras y oscuras representan el magnetismo del campo terrestre impuesto sobre la roca cuando se enfría, sea normal (blanco) o inverso (negro). El efecto es la generación de bandas paralelas de magnetismo normal e inverso en uno y otro lado de la cordillera, como se ve en la figura 10.3. Los continentes forman bloques de rocas ligeras situadas sobre la corteza más densa del fondo del mar. A medida que la corteza se propaga hacia fuera desde el centro, los continentes se ven obligados a separarse.

franjas, pero era demasiado confuso para convencer a la mayoría de sus colegas geofísicos. Los que trabajaban en el Observatorio Geológico Lamont se mostraban escépticos. Su barco de estudios *Eltanin* era el que estaba confeccionando los mejores mapas magnéticos del fondo del mar. En 1965 se hallaban explorando la región de la cordillera Juan de Fuca, frente a la costa occidental de Norteamérica (la famosa falla de San Andrés, en California, tiene que ver con esa cadena montañosa). Un barrido magnético, *Eltanin* 19, puso de manifiesto las franjas paralelas con tal claridad que las opiniones empezaron a cambiar y a ponerse del lado de la expansión del lecho marino (fig. 10.4). Vine fue capaz de demostrar que la escala temporal más nítida de las inversiones magnéticas obtenidas en los ensayos de Jaramillo encajaba perfectamente con el patrón de franjas magnéticas. Al mismo tiempo, el geofísico canadiense J. Tuzo Wilson desarrolló el concepto de «fallas de transformación», que explicaba por qué las cordilleras marinas y sus patrones magnéticos asociados pasaban de vez en cuando en

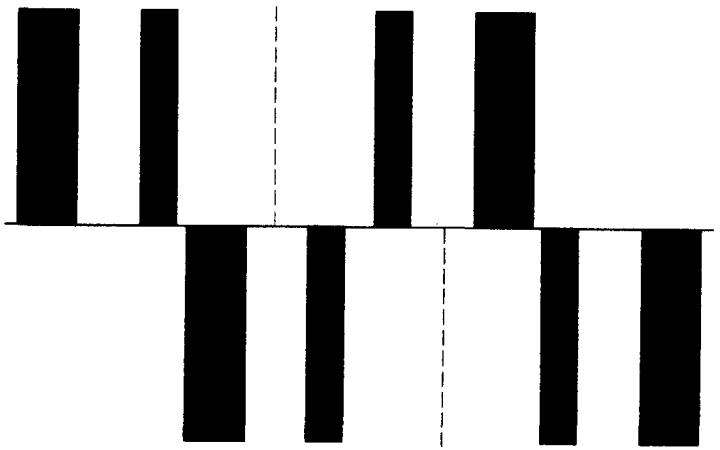


FIGURA 10.3. Franjas paralelas de magnetismo normal e inverso producidas por el proceso que aparece en la figura 10.2. La división horizontal en mitad del dibujo es una falla de transformación, en que toda la cordillera y su patrón asociado de rocas están desplazados formando ángulo recto con la primera.

masa a un lado o a otro, lo que creaba un aparente efecto de zigzag.

La versión final de la teoría de la tectónica de placas fue llevada a cabo a mediados de la década de 1960 por Jason Morgan, Dan McKenzie y Xavier Le Pichon, que se dieron cuenta de que la forma esférica de la tierra imponía limitaciones a la forma de las placas definidas por cordilleras marinas y zonas de subducción asociadas, lo que explicaba muchos efectos que resultaban confusos cuando se observaban en un mapa bidimensional. Le Pinchon elaboró una versión simplificada de la teoría, según la cual había seis placas importantes, cada una de ellas en continuo movimiento al estar definidas por la sección horizontal de una célula de convección de la corteza subyacente. Al igual que en la teoría de Holmes, los continentes simplemente eran transportados por el movimiento de las placas —América se está separando de Eurasia y África porque el océano Atlántico está expandiéndose a medida que prosigue la actividad de la cordillera de su parte central para producir corteza nueva—. Se forman montañas o bien donde un continente se eleva sobre una zona de subducción, como

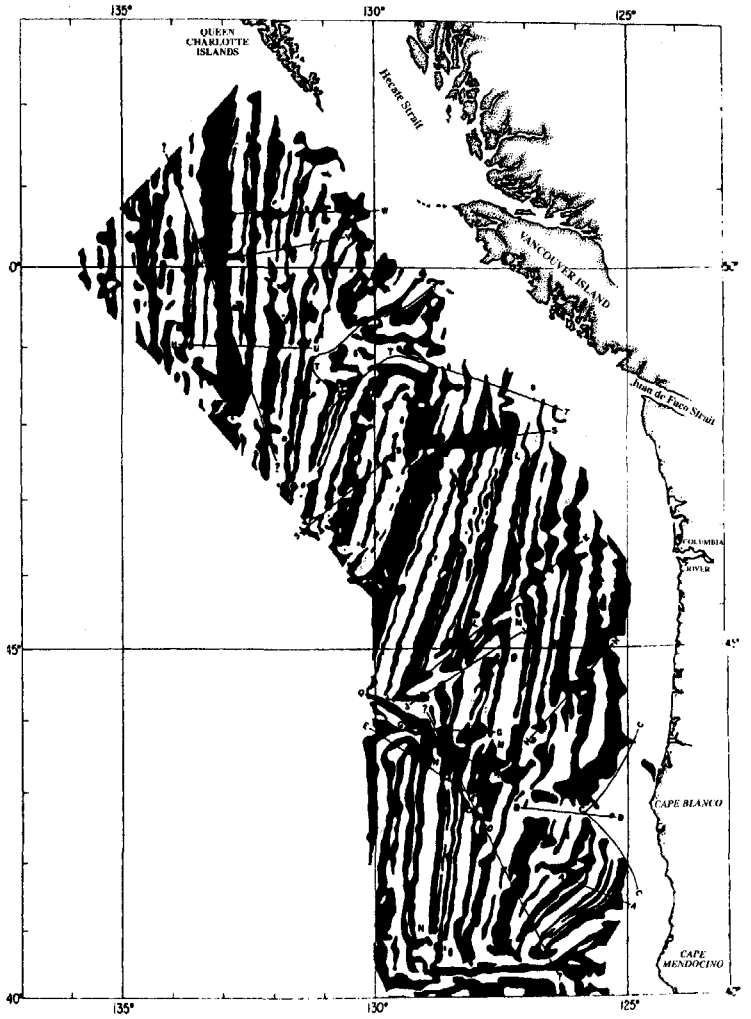


FIGURA 10.4. Mapa que muestra las anomalías magnéticas del lecho marino en torno a la cordillera Juan de Fuca, frente a la costa de la isla de Vancouver, elaborado en 1961 por el barco de estudios *Eltanin*, de R. Masson y A. Raff en *Bulletin of the Geological Society of America*, nº 72 (1961), pp. 1267-1270. Comparemos esto con los patrones idealizados de las figuras 10.2 y 10.3. Fue ese estudio el que convenció a muchos geofísicos de que la hipótesis de la expansión del lecho marino, combinada con el descubrimiento de las inversiones magnéticas, ofrecía una explicación de la deriva continental.

en el caso de las Rocosas o los Andes, o bien donde dos masas continentales se ven forzadas a juntarse debido al movimiento de dos placas separadas, como sucede con el Himalaya.

Conclusiones

La aceptación generalizada de la teoría de la tectónica de placas a finales de la década de 1960 desde luego supuso una revolución en las ciencias de la tierra. Gracias a una completa reformulación de las ideas sobre lo que pasaba debajo de la corteza terrestre, ahora la tesis de Wegener de la deriva continental —ridiculizada durante tanto tiempo— era perfectamente razonable. Sin embargo, no se trataba de un cambio de paradigma en el seno de una ciencia establecida. Los geólogos ortodoxos se habían centrado en reconstruir la historia de la tierra, pero no habían sido muy atrevidos a la hora de intentar explicar los movimientos de la tierra en los que se basaban sus teorías para esclarecer fenómenos como la formación de las montañas. Fueron los geofísicos los que comenzaron a formularse nuevas preguntas sobre la estructura de la tierra y a buscar nuevas pruebas que avalaran las respuestas. Aunque la comunidad geológica oficial de finales del siglo XIX y principios del XX los consideraba colegas subalternos, empezaron a socavar la lógica en la que se apoyaba buena parte de las viejas teorías. Para empezar, los geólogos ortodoxos, no tenían ninguna alternativa seria que proponer, e incluso cuando Wegener ofreció los primeros indicios de la misma, siguieron mostrándose remisos a admitir que sus ideas eran vulnerables. En honor a la verdad, podríamos decir incluso que algunos geofísicos estaban escasamente convencidos, pues sin un replanteamiento más radical de las ideas sobre el interior de la tierra, la propuesta de Wegener era inverosímil. La revolución tuvo lugar cuando los geofísicos recobraron su vigor gracias a la tecnología oceanográfica que tuvieron a su alcance en las décadas de 1950 y 1960. Simultáneamente, las nuevas pruebas precipitaron una revolución teórica y al mismo tiempo redujeron la influencia de la vieja comunidad, que habría estado menos dispuesta a aceptarla.

En cierto sentido, de todas formas, la revolución ayudó a restablecer

un principio otrora polémico de la metodología geológica. En el siglo XIX, el uniformitarianismo de Charles Lyell había logrado sólo una influencia limitada porque muy pocos estaban preparados para creer que la tierra no se estaba enfriando. De la enorme expansión de la escala temporal geológica posibilitada por la teoría del calentamiento radiactivo resultó la idea por fin verosímil de una tierra en estado estacionario. La tectónica de placas reforzó ese mensaje al poner de manifiesto que las fuerzas que separaban los continentes estaban todavía funcionando actualmente en las cordilleras marinas. Todos los movimientos de la tierra eran lentos y graduales, exactamente equivalentes a los que aún observamos. Es con esta referencia como debemos evaluar la posterior revolución de la década de 1980 —fuera del alcance de este estudio—, en la que el uniformitarianismo fue puesto en tela de juicio una vez más por los defensores de las extinciones masivas provocadas por impactos de meteoritos (Glen, 1994). Aunque los procesos internos del planeta sean lentos y uniformes, hay pruebas inequívocas de catástrofes debidas a sucesos externos, astronómicos. Además, contamos cada vez con más indicios de que, en ciertos períodos del pasado, los volcanes estaban tan activos que generaron traumas ambientales de dimensiones similares a las de cualquier cataclismo atribuido a impactos. La ciencia moderna se ha visto obligada a tomar en serio algunas de las ideas más inquietantes promovidas en los primeros tiempos del catastrofismo.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Glen, W., (ed.), *Mass Extintion Debates: How Science Works in a Crisis*, Stanford University Press, Stanford, CA, 1994.

Greene, Mott T., *Geology in the Nineteenth Century: Changing Views of a Changing World*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1982.

Frankel, Henry, «Arthur Holmes and Continental Drift», *British Journal for the History of Science*, n.º 11 (1978), pp. 130-150.

—, «The Career of Continental Drift Theory: An Application of Imre Lakatos' Analysis of Scientific Growth to the Rise of Drift Theory», *Studies in the History and Philosophy of Science*, n.º 10 (1979), pp. 10-66.

—, «The Continental Drift Debate», en *Resolution of Scientific Controversies: Theoretical Perspectives on Closure*, A. Caplan y H. T. Englehart,

eds., Cambridge University Press, Cambridge, 1985, pp. 312-373.

Glen, William, *The Road to Jaramillo: Critical Years of the Revolution in Earth Science*, Stanford University Press, Stanford, CA, 1982.

Hallam, Anthony, *A Revolution in the Earth Sciences*, Oxford University Press, Oxford, 1983.

—, *Great Geological Controversies*, Oxford University Press, Oxford, 1983 (hay trad. cast.: *Grandes controversias geológicas*, RBA, Barcelona, 1994).

LeGrand, Homer, *Drifting Continents and Shifting Theories*, Cambridge University Press, Cambridge, 1988.

Oreskes, Naomi, *The Rejection of Continental Drift: Theory and Method in American Earth Science*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Schwarzbach, Martin, *Alfred Wegener, the Father of Continental Drift*, Science Tech, Madison, WI, 1989.

Stewart, James, *Drifting Continents and Colliding Paradigms: Perspectives on the Geoscience Revolution*, Indiana University Press, Bloomington, 1990.

Wegener, Alfred, *The Origin of Continents and Oceans*, trad. de la 4ª rev. alemana, ed. por John Biram (1920), Dover, Nueva York, 1966 (hay trad. cast.: *El origen de los continentes y océanos*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1996).

Wood, Robert Muir, *The Dark Side of the Earth*, Allen & Unwin, Londres, 1985.

11

La física del siglo XX

¿Qué le pasó a la física a principios del siglo XX? En muchos aspectos, parece un ejemplo bastante sencillo de cambio revolucionario en la ciencia. El modo de examinar el mundo, que generalmente se denominaba «física clásica», fue reemplazado por las nuevas teorías de la relatividad y la mecánica cuántica. Esas teorías no se limitaron a proponer nuevas técnicas matemáticas para comprender la naturaleza o maneras diferentes de llevar a cabo e interpretar experimentos, sino que inauguraron perspectivas filosóficas totalmente inéditas. Las teorías de la relatividad general y especial requerían un replanteamiento absoluto de la relación entre espacio y tiempo. La mecánica cuántica exigía una reconsideración sistemática de la relación entre causa y efecto, amén de una nueva evaluación de lo que sería posible conocer sobre la estructura fundamental de la materia. Así que, lógicamente, a mediados del siglo XX los físicos estaban formulándose preguntas sobre la naturaleza primordial de la materia que habrían sido inconcebibles —si no del todo ilegítimas— menos de un siglo antes. El éter luminoso —el centro de atención de tantas investigaciones físicas del siglo XIX— estaba muerto y enterrado. No obstante, como veremos en este capítulo, es fácil trazar continuidades y discontinuidades entre las preocupaciones de los físicos de finales del siglo XIX y las de sus sucesores (véase cap. 4, «La conservación de la energía»).

Y naturalmente también a lo largo del pasado siglo tuvieron lugar

importantísimos cambios institucionales (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»), los cuales estaban estrechamente relacionados con las nuevas vías mediante las que los físicos empezaban a conocer el mundo que les rodeaba, tanto es así que resulta difícil considerar cualquier aspecto enteramente por separado. Si podemos decir que la profesionalización de la física (como otras ciencias) comenzó durante el siglo XIX, entonces sin duda alguna el proceso se aceleró en el siglo XX. Al mismo tiempo, el proceso de especialización iniciado en el siglo XIX prosiguió hasta el punto de que a mediados del XX era más y más difícil considerar la física como una disciplina autosuficiente. Costaba cada vez más distinguir la física teórica de la experimental (no digamos ya las subdisciplinas, como la teoría de la relatividad, la mecánica cuántica o la física de las partículas). Eso tuvo importantes consecuencias para la práctica y el contenido de la física. Ésta y sus subdisciplinas se estaban volviendo esotéricas por momentos, de tal modo que un físico que trabajara en un laboratorio quizá no comprendía del todo lo que estaba haciendo otro del laboratorio contiguo del mismo instituto. La física también se volvió una ciencia crecientemente dependiente de recursos muy elevados. A finales del siglo XIX —e incluso hasta la década de 1930—, los experimentos podían hacerse sobre una mesa. En las décadas de 1950 y 1960 la escala había cambiado totalmente: cuando los físicos se referían al tamaño de sus aparatos hablaban de kilómetros y no de metros.

Comenzaremos este capítulo volviendo a la década de 1890, cuando J. J. Thompson realizó los experimentos que más adelante serían aclamados como el «descubrimiento del electrón». Esos experimentos, como los que permitieron descubrir los rayos X y la radiactividad, plantearon a los físicos un conjunto nuevo de problemas al tiempo que les procuraban las herramientas con las cuales ponerse a resolverlos. De ahí resultaron conocimientos inéditos sobre la estructura del átomo. La publicación de la teoría de Albert Einstein de la relatividad especial, seguida unos años después por la de la relatividad general, proporcionó otra serie de eficaces instrumentos y conceptos para replantearse la estructura del universo. Pero otra vez, como veremos, la importancia de las nuevas ideas no fue reconocida de inmediato. Para los contemporáneos de Einstein no estaba claro que sus teorías fueran

tan revolucionarias como nos han parecido a posteriori. También supuso un gran avance la teoría de los cuantos de Niels Bohr sobre la estructura del átomo, que incorporaba la idea de que, en el nivel atómico, se producían intercambios de energía en bloques separados (o cuantos). No obstante, fue el descontento con ese modelo (en especial por parte del propio Bohr) lo que dio origen al desarrollo de la mecánica cuántica durante la década de 1920. Tras la segunda guerra mundial, la atención se centró en explorar más a fondo la estructura de la materia, de lo que resultó una proliferación de partículas elementales. Descubrir y localizar esas partículas nuevas exigía enormes recursos, lo que por consiguiente convirtió la física de las partículas en la macrociencia fundamental.

Dentro del átomo

Durante gran parte del siglo XIX, la teoría atómica —la idea de que la materia se componía de átomos separados, fundamentales— fue una teoría sin más. Para bastantes físicos, los átomos eran, en el mejor de los casos, una hipótesis útil; no se podían considerar objetos reales. Procuraban a los químicos un modo práctico de hacer cuadrar las cuentas en las reacciones químicas, pero nada más (véase cap. 3, «La revolución química»). A muchos les parecía que indagar en la estructura esencial de la materia —por ejemplo, averiguar si se componía de unidades separadas como los átomos o era continua e indefinidamente divisible— estaba fuera del alcance del experimento. Al final, las teorías sobre la estructura de la materia no eran más que teorías. Sin embargo, desde finales de la década de 1850, a algunos investigadores, como el alemán Julius Plücker o los ingleses William Robert Grove y John Peter Gassiot, les pareció que sus experimentos con tubos luminosos brindaban nuevas percepciones o al menos nuevas herramientas para investigar la estructura primordial de la materia. En experimentos como ésos, en los que pasaban corrientes eléctricas a través de gases atenuados por tubos cerrados herméticamente (algo parecido a los modernos tubos de neón), aparecían brillos extraños. En la década de 1870, el físico experimental William Crookes soste-

nía que esos rayos catódicos, como él los llamaba, abrían una nueva vía para conocer la composición básica de la materia (fig. 11.1). En el decenio de 1880, los experimentos con rayos catódicos formaban parte del repertorio estándar de la investigación fundamental de los físicos.

Un lugar donde se acogieron con entusiasmo los experimentos con rayos catódicos fue el Laboratorio Cavendish de Cambridge, dirigido entonces por el físico J. J. Thomson (fig. 11.2). Desde mediados de la década de 1880, Thomson experimentó con descargas gaseosas buscando el modo de desvelar la relación entre la materia, los campos eléctricos y el éter. También quería encontrar pruebas empíricas de que la materia de su modelo se componía de vórtices entrelazados en el éter. En 1897, Thomson anunció que, según sus últimos experimentos con rayos catódicos, éstos estaban formados por una corriente de pequeñas partículas con carga negativa, cada una de ellas con una masa aproximadamente mil veces menor que un átomo de hidrógeno, que por lo general se consideraba la unidad más pequeña de materia. Ese hallazgo resultó de medir la proporción de carga eléctrica con respecto a la masa desviando los rayos catódicos en un campo magnético y, en otros experimentos, también en un campo electrostático. Thomson sugirió asimismo que sus partículas, o corpúsculos, eran los elementos de que se componían los átomos. Teóricos del éter como Joseph Larmor y George FitzGerald señalaron que los corpúsculos que había identificado Thomson eran «electrones», palabra que Larmor había acuñado unos años antes para describir bloques de energía eléctrica pura en el éter. Su idea se debía en parte a que no estaban conformes con la sugerencia de Thomson de que sus corpúsculos, como los átomos, eran los constituyentes esenciales de la materia.

Un año antes del anuncio de Thomson, el físico alemán Wilhelm Röntgen había reinvindicado el descubrimiento de unos rayos totalmente nuevos, que pronto recibieron el nombre de rayos X. Igual que Thomson, había hecho su descubrimiento mientras experimentaba con rayos catódicos de tubos luminosos; de hecho, Thomson inició sus propios experimentos con rayos catódicos a raíz del trabajo de Röntgen. Los nuevos rayos X parecían tener algunas propiedades asombrosas. Por lo visto, atravesaban objetos sólidos como si fueran láminas de vidrio transparente. El propio Röntgen descubrió enseguida su utilidad

FIGURA 11.1. Caricatura de William Crookes con un tubo de rayos catódicos, de *Vanity Fair* (imagen por cortesía del Archivo de Imágenes de Ciencia y Sociedad, Londres).

FIGURA 11.2. J. J. Thomson en el Laboratorio Cavendish de Cambridge, trabajando con el aparato que utilizó para descubrir el electrón en 1897 (fotografía por cortesía del Departamento de Física/Laboratorio Cavendish, Universidad de Cambridge).

para fotografiar el interior del cuerpo humano y publicó una foto de la estructura esquelética de una mano. Los investigadores se pusieron de inmediato a experimentar para comprender las propiedades de los nuevos rayos. Éstos podían reflejarse y refractarse como los rayos de luz pero, por lo que parecía al principio, no podían difractarse. Uno de esos experimentadores, Henri Becquerel, muy pronto descubrió un nuevo tipo de rayo, que al parecer emanaba de sales de uranio. Inspirándose en los descubrimientos de Becquerel, la estudiante de la Sorbona Marie Curie y su esposo, Pierre, se dedicaron a estudiar también radiaciones nuevas. En 1898, anunciaron la existencia de otros dos elementos «radiactivos», el polonio y el radio, que emitían esos rayos nuevos en grandes cantidades. Los Curie afirmaban que la fuente de la radiactividad parecía estar en el interior de los átomos de sus recién descubiertos elementos.

Igual que en el caso de los rayos X, los investigadores se pusieron a estudiar las propiedades de esa misteriosa radiación. Becquerel logró desviarla en un campo magnético, lo que indicaba que tenía carga negativa. Thomson consiguió calcular la relación entre la carga y la masa y señaló que era muy parecida a la de los rayos catódicos. El neozelandés Ernest Rutherford, alumno de Thomson en Cavendish, pronto observó que había más de una radiación de esa clase. Láminas de aluminio de distinto grosor detenían diferentes clases de radiación. Los rayos alfa se paraban con relativa facilidad; los beta eran más persistentes. En 1900, el francés Paul Villard puso de manifiesto que había un tipo de rayo aún más penetrante —gamma— que parecía atravesarlo todo. A principios de la década de 1900, Rutherford y su colega Frederick Soddy sostenían que la radiactividad emanaba del interior del átomo y —lo que aún era más controvertido— que en el proceso unos elementos se transformaban en otros. Por lo visto, la radiactividad era una fuente de energía procedente del interior de la propia materia; enseguida se sugirió que era la fuente primordial de la energía del sol. Se estableció que los rayos beta eran corrientes de electrones de Thomson. En 1905, Rutherford señaló que los rayos alfa eran flujos de iones positivos de helio. Ahora instalado en Manchester, Rutherford utilizó pantallas de centelleo para contar partículas individuales de radiación y se dedicó a medir sus desviaciones en diferentes campos magnéticos y eléctricos. Cada vez daba más la sensación de que el estudio de las nuevas partículas podría desentrañar los secretos del interior del átomo.

En 1911, Rutherford, hizo público su modelo del átomo, que se basaba en sus últimos experimentos. Mediante la observación de centelleos en una pantalla fosforescente, había estado investigando las distintas maneras en que las partículas alfa se dispersaban tras atravesar láminas metálicas delgadas. Se trataba de experimentos difíciles y delicados que exigían estar largas horas analizando destellos de luz a través de un microscopio en una habitación a oscuras. También dependían del acceso a las poco asequibles fuentes radiactivas; sólo podían desarrollar una labor así los que se aseguraban el suministro del preciado radio. En el curso de los experimentos citados daba la impresión de que algunas partículas alfa rebotaban en la lámina de metal.

Rutherford estaba convencido de que cada desviación individual derivaba de una única interacción entre una partícula alfa y un átomo. Las partículas alfa seguramente rebotaban porque se encontraban con una carga positiva grande y concentrada. Ésa era la prueba en la que basó su nuevo modelo de estructura atómica. Sugirió que los átomos constaban de un centro relativamente grande que tenía carga positiva —el núcleo— y estaba rodeado por un número de electrones relativamente pequeños que describían órbitas, como los planetas alrededor del sol. Aunque aparentemente simple, el modelo no carecía de problemas. Concretamente, el modelo de Rutherford parecía inestable. Según los conocimientos de los físicos, los electrones en órbita alrededor del núcleo central tenían que emitir energía, como así sucedía. No obstante, a medida que irradiaran esa energía también tendrían que perder velocidad y acabar enseguida bajando en espiral al núcleo. En otras palabras, de acuerdo con el modelo de Rutherford, los átomos no debían existir —al menos no por mucho tiempo.

Un joven físico danés, Niels Bohr, planteó una solución a ese problema. Bohr había trabajado con Thomson en el Cavendish y con Rutherford en Manchester. En 1913, propuso un modelo de estructura atómica muy parecido al de Rutherford, pero con una diferencia importante. Bohr sugería que los electrones que describían órbitas alrededor del núcleo central sólo podían liberar su energía en bloques diferenciados, cada uno con una frecuencia característica (fig. 11.3). Así fue como resolvió el problema de la estabilidad atómica. Los electrones que daban vueltas en torno al núcleo no estaban irradiando continuamente sino sólo a determinadas frecuencias. Bohr estaba sacando provecho de una idea ya formulada por el físico alemán Max Planck (de quien hablaremos más adelante), según la cual la energía se liberaba en cuantos (es decir, en bloques separados) definidos por un factor constante, denominado constante de Planck (h) en honor a su inventor. Albert Einstein ya se había valido de la constante de Planck para sostener que era posible concebir la luz como un conjunto de partículas, cada una con una energía definida por la frecuencia lumínica multiplicada por h. Lo que decía Bohr era que los átomos podían existir en diversos estados estables, cada uno de ellos definido como un múltiplo de h. Sólo liberaban energía cuando pasaban de un estado a

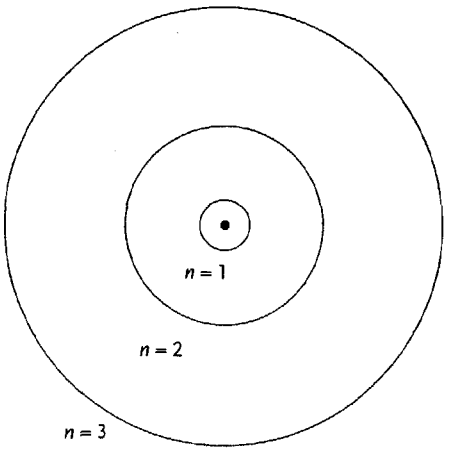


FIGURA 11.3. Modelo del Niels Bohr del átomo de hidrógeno, en el que un electrón sólo puede dar vueltas alrededor del núcleo central en órbitas definidas por la constante de Plank, *h*.

otro, y esa energía liberada en ese proceso era un múltiplo de *h* y su cambio de frecuencia.

Un rasgo crucial del modelo de Bohr de la estructura atómica era que procuraba una explicación de los espectros de emisión y absorción característicos de los diferentes elementos. Se sabía desde hacía décadas que éstos tenían espectros particulares: diferentes elementos mostraban líneas oscuras diferenciadas en partes concretas del espectro. Los físicos usaron así la espectroscopia para identificar los elementos que constituían las diferentes sustancias: comparando una muestra con elementos conocidos y contrastando sus espectros, podían valerse de las líneas espectrales para establecer la identidad de los elementos desconocidos. Según el modelo de Bohr, eso se debía a que los átomos individuales integrantes de un elemento sólo vibraban a determinadas frecuencias, que correspondían a las líneas espectrales. De manera específica, el modelo de Bohr explicaba la fórmula de Balmer, obtenida empíricamente por el matemático suizo Johann Balmer, según la cual la posición de esas líneas en el espectro seguía un patrón

regular. Bohr se las arregló para demostrar que sus ecuaciones también encajaban con la fórmula de Balmer. Puso asimismo de manifiesto que la constante de Rydberg que regulaba las relaciones entre las líneas espectrales derivaba de la constante de Planck. Bohr había conseguido conciliar la teoría de la radiación discontinua promovida por Planck y el modelo de Rutherford de la estructura atómica. Sólo había un problema: la teoría infringía la mayoría de las leyes de la física aceptadas en la época. Algunos físicos británicos, como lord Rayleigh —antecesor de J. J. Thomson en el Cavendish—, estaban descontentos con la introducción del misterioso cuanto. Físicos teóricos alemanes que habían asumido las ideas de Planck sobre el cuanto de energía mostraban su disconformidad con la idea de que el átomo fuera una entidad real, no digamos ya con algo de lo que se pudiera conocer su estructura física (Pais, 1991).

Redefinición del espacio y el tiempo

Una de las cuestiones más destacadas de la física del siglo XIX era la del movimiento de la Tierra con respecto al éter luminoso. Según algunas teorías, debía ser posible detectar el movimiento de la Tierra a través del éter midiendo diferencias en la velocidad de la luz. Resumiendo, cuando la Tierra se desplaza hacia la fuente de luz, ésta debe parecer que se mueve despacio; cuando la Tierra se aleja a través del éter, la luz ha de parecer más rápida. En 1888, dos físicos americanos, Albert Michelson y Edward Morley, publicaron los resultados de experimentos en los que no se detectaba ninguna desviación tal en la velocidad de la luz (fig. 11.4). A menudo, historiadores, filósofos y físicos han considerado el experimento como una refutación concluyente de la existencia del éter. Más adelante volveremos sobre este punto. De momento debería bastarnos con decir que ningún físico de la época —incluidos los propios investigadores— aceptaba que existiera tal cosa. En el peor de los casos era un problema que había que resolver; en el mejor, para algunos incluso una confirmación potencial de sus propias versiones de la teoría del éter. El grado en que el experimento de Michelson-Morley desempeñó algún papel en las reflexiones teóri-

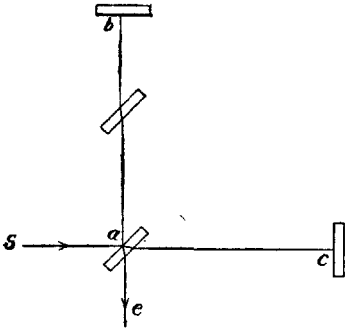


FIGURA 11.4. Diagrama del aparato de Michelson-Morley, utilizado para intentar medir el movimiento de la Tierra a través del éter. Si la Tierra (y, por tanto, los aparatos) se desplaza por el éter, entonces los dos rayos de luz dirigidos al detector han de llegar ahí ligeramente desfasados, lo que originará un patrón de interferencias, pues un rayo se habrá desplazado algo más rápido que el otro. Michelson y Morley no detectaron interferencia alguna.

cas del joven Albert Einstein también sigue siendo objeto de una notable controversia; volveremos sobre ello.

En 1905, cuando Albert Einstein publicó su trabajo sobre «La electrodinámica de los cuerpos móviles» en *Annalen der Physik*, era un desconocido investigador de patentes en Zúrich tras haberse licenciado en la Politécnica de esa ciudad unos años antes. Ya tenía en su haber unas cuantas publicaciones, pero nada parecía indicar que estaba a punto de darle un vuelco total al mundo de la física. En su informe de 1905, Einstein introdujo en la física dos principios nuevos que a la larga dieron lugar a una concepción totalmente novedosa de la naturaleza del espacio y el tiempo. De acuerdo con su principio de la relatividad, no existía una perspectiva absoluta, privilegiada, desde la que observar los sucesos del universo. Los movimientos sólo podían medirse con respecto a cierto marco concreto de referencia. Todo era relativo salvo la velocidad de la luz, que era siempre la misma en todos los marcos de referencia. Ése era el segundo principio: la constancia de la velocidad de la luz en todos los sistemas de coordenadas. No existía algo como el tiempo absoluto o el espacio absoluto newto-

nianos que se ajustara a ese modelo. De los cálculos de Einstein resultaba que, según esos parámetros, el propio tiempo era relativo. El tiempo experimentado en un marco de referencia transcurría a un ritmo distinto del experimentado en otro que se desplazara a una velocidad diferente. En otras palabras, en el universo de Einstein todo era relativo.

La teoría de Einstein no surgía totalmente de la nada. El físico holandés Hendrick Antoon Lorentz había sugerido la existencia de un efecto de contracción en las cargas eléctricas que se mueven a velocidades elevadas para así dar cuenta de ligeras variaciones en las fuerzas que ejercían unas en otras. Algo parecido había propuesto el físico irlandés George FitzGerald, quien también señaló que ese efecto de contracción explicaba que Michelson y Morley no hubieran podido medir el movimiento de la tierra con respecto al éter. Según FitzGerald, el citado efecto contrarrestaba perfectamente la diferencia prevista en la velocidad medida de la luz. Las ecuaciones matemáticas que expresaban las dimensiones aparentes de un objeto desplazándose a una determinada velocidad desde la perspectiva de alguien en reposo (o moviéndose a una velocidad distinta) recibieron el nombre de transformaciones de Lorentz-FitzGerald. De hecho, cuestiones como ésas, que tenían que ver con la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (el título del trabajo de Einstein), estuvieron muy presentes en los estudios teóricos sobre las propiedades del éter, especialmente por parte de físicos matemáticos formados en Cambridge como FitzGerald o Joseph Larmor. No obstante, lo que distinguía el trabajo de Einstein era el modo como éste se valía de cálculos electrodinámicos para plantear una ruptura radical no sólo con el éter sino también con la perspectiva newtoniana de que el espacio era absoluto.

Las reacciones ante la teoría de Einstein fueron muy diversas y tardaron en llegar. Para algunos comentaristas, en la formulación parecía haber relativamente pocas cosas nuevas. Para los físicos matemáticos de formación británica desde luego resultó muy fácil considerar que las aportaciones de Einstein eran sólo otro estudio sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento, aunque quizá escrito en un lenguaje innecesariamente confuso. La revista científica *Nature*, por ejemplo, mencionó las ideas de Einstein sobre la relatividad colocándolas al mismo nivel que las de Larmor y el más destacado defensor

de la teoría del éter, sir Oliver Lodge. Los físicos teóricos de formación alemana, más favorables a la tradición investigadora en la que había aprendido Einstein, confiaron más en las posibilidades de que su teoría de la relatividad tuviera éxito. A lo largo de los años siguientes, Einstein publicó varios artículos en los que desarrolló y perfeccionó su teoría. Uno de esos trabajos adicionales contenía sus primeras pruebas de la famosa ecuación que relacionaba la masa y la energía: la energía de un cuerpo es igual a su masa multiplicada por el cuadrado de la velocidad de la luz. Uno de los primeros en responder positivamente a la teoría de Einstein fue Max Planck, que en 1905-1906 presentó en Berlín un seminario sobre la misma. En 1908, Hermann Minkowski, antiguo profesor de Einstein en Zúrich, pronunció en Gotinga una conferencia en la que comenzó a desarrollar un enfoque matemático simplificado de la relatividad y expuso la posibilidad de expresar la relación entre el espacio y el tiempo en términos de geometría no euclidiana.

En 1907, Einstein publicó una revisión en la que resumía el trabajo sobre la teoría de la relatividad durante los dos años anteriores. En ella planteaba primero la posibilidad de que se ampliara el alcance de la teoría para considerar que los sistemas que experimentan una aceleración relativa son también sistemas que se desplazan a velocidades recíprocamente constantes. También sugería que la relatividad podía expandirse y convertirse en una teoría de la gravitación. Hubo que esperar a 1915 para que él y otros resolvieran del todo las repercusiones de esas sugerencias y crearan lo que hoy se conoce como teoría general de la relatividad de Einstein. Según la teoría de Einstein, el principio de la relatividad era efectivamente aplicable a sistemas que estaban acelerándose —unos en relación con otros—. Con la ayuda de Marcel Grossman, colega y profesor de la Politécnica de Zúrich, Einstein también desarrolló un sistema matemático para aplicar las sugerencias de Minkowski que relacionaban las geometrías euclidianas del espacio y el tiempo con la teoría de la gravitación. Ambos encontraron un modo de describir la gravitación en función de la curvatura del espacio-tiempo. La teoría de Einstein también señalaba que, bajo la influencia del campo gravitatorio, el espectro de luz debía cambiar al rojo. Otra sugerencia predijo memorablemente que los rayos de luz se

curvarían debido a la influencia de la gravedad. En términos minkovskianos, la luz seguiría pasando por la ruta más corta entre dos puntos, pero bajo la influencia de la gravedad el propio espacio sería curvo por lo que también lo sería el camino más corto seguido por la luz. La relatividad general planteaba asimismo que un observador experimentaría el tiempo de manera diferente en campos gravitatorios de intensidades distintas.

Una ventaja que Einstein y otros físicos vieron en la teoría de la relatividad general era que su confirmación empírica parecía sencilla. El propio Einstein ya había demostrado que era posible utilizar la teoría para dar razón de ciertas anomalías en la órbita de Mercurio que no se podían explicar mediante la teoría gravitatoria newtoniana. No obstante, el verdadero avance se produjo cuando el astrónomo británico y entusiasta de la relatividad general Arthur Eddington hizo pública su intención de verificar, durante el venidero eclipse solar de 1919, la predicción de Einstein de que la luz se curvaba en un campo gravitatorio. Eddington se proponía aprovechar la oportunidad del eclipse para fotografiar las posiciones de las estrellas alrededor de la corona del sol que normalmente no se verían a causa de la luz. Al comparar esas posiciones con las que parecían ocupar cuando el sol no estaba en su porción de cielo, pudo determinar si la luz se curvaba debido al campo gravitatorio del sol. El resultado fue anunciado a bombo y platillo como un éxito sensacional de Einstein y la relatividad general. Fue esa confirmación aparentemente decisiva de su teoría lo que convirtió a Einstein en un nombre muy conocido al tiempo que periódicos de Europa y América publicaban crónicas en primera plana de la reunión conjunta de la Royal Astronomical Society y la Royal Society en la que hicieron el anuncio sus principales portavoces.

Los historiadores, filósofos y físicos han dedicado ríos de tinta a la relación entre las teorías de Einstein y sus aparentes confirmaciones empíricas. Un foco importante de controversia ha sido el papel que ha desempeñado el experimento de Michelson-Morley en las ideas de Einstein que prepararon el terreno para el anuncio de su relatividad especial. En el artículo no se menciona el experimento, y en años posteriores Einstein dio explicaciones contradictorias sobre si en su momento había estado al corriente del estudio de Michelson-Morley. De

cualquier modo, el experimento se cita con frecuencia como factor decisivo en la formulación y la acogida de la teoría de la relatividad. También se alude a él como refutación concluyente del éter al tiempo que se ridiculizan los esfuerzos de los teóricos del éter para acomodarlo a su marco teórico calificándolos de toscas racionalizaciones a posteriori (*post hoc*, por correlación coincidente). Otro aspecto polémico es el papel que desempeñó el eclipse observado por Eddington. Historiadores y filósofos han sostenido que los datos proporcionados por Eddington y otros son, de hecho, ambiguos. Podían haber sido interpretados de manera distinta para que respaldaran la teoría clásica newtoniana (que también predice cierta curvatura de la luz) y no la relatividad general (Earman y Glymour, 1980). En casos como éstos, lo importante para el historiador es cómo se utilizó en su momento la información pertinente, y no cómo se podía (o se debería) haber utilizado, de modo que indudablemente el experimento de Michelson-Morley no fue decisivo mientras que las observaciones de Eddington sí lo fueron.

La aceptación relativamente rápida de las teorías de Einstein —al menos en algunos círculos— se describe a menudo como una refutación concluyente de la teoría del éter. Como hemos señalado, se suele decir que el experimento de Michelson-Morley dio el primer golpe mientras que la teoría de Einstein asestó el golpe de gracia. No obstante, como hemos visto, la realidad fue bastante más compleja. Algunos teóricos del éter acogieron positivamente los resultados de Michelson-Morley como confirmación de las versiones de su teoría. Así fue como algunos contemporáneos entendieron inicialmente la teoría de Einstein: otra hipótesis que parecía respaldar la idea de algunos de que no podía medirse el movimiento de la tierra a través del éter. Lo más determinante en la aceptación de las teorías de Einstein fueron las cambiantes instituciones de la propia física. La tradición de la física matemática, como se enseñaba en Cambridge, por ejemplo, estaba desapareciendo. Por otro lado, se apreciaba el ascenso de la nueva tradición alemana de la física teórica (Jungnickel y McCormmach, 1986). A los cada vez más numerosos físicos que recurrían a las nuevas técnicas y prácticas teóricas alemanas, las teorías de Einstein les ofrecían mejores expectativas que los anticuados enfoques de la generación anterior. Nuevos centros de investigación en física —otra vez sobre todo

en Alemania y en países que habían asimilado el planteamiento alemán— estaban también dando origen a una nueva generación de físicos formados en las técnicas matemáticas sumamente sofisticadas y difíciles de dominar que Einstein había adoptado. Para esa nueva generación, el enfoque de Einstein y de otros como él parecía más familiar, convincente y prometedor.

El principio de la incertidumbre

El mismo año que Einstein hizo público su trabajo sobre la relatividad especial publicó también otra aportación revolucionaria, esta vez sobre la conducta anómala de la luz. Se sabía que un rayo de luz proyectado sobre determinadas sustancias provocaba cierta clase de emisión eléctrica. Hertz había advertido el fenómeno en 1887, en el transcurso de los experimentos que lo conducirían hasta las ondas electromagnéticas (véase cap. 4, «La conservación de la energía»). En 1899, J. J. Thomson sugirió que ese efecto fotoeléctrico resultaba de un flujo de electrones emitidos por la sustancia. Un rasgo de ese efecto era que, por lo visto, dependía de la frecuencia de los rayos de luz más que de su intensidad. Hertz había observado que el fenómeno parecía ser una propiedad concretamente de la luz ultravioleta. Lo que señaló Einstein en su informe de 1905 era que se podía entender el fenómeno suponiendo que, bajo esas circunstancias, la luz actuaba más como una partícula que como una onda. A continuación puso de manifiesto que la energía necesaria para que un electrón abandonara la superficie del metal venía dada por la frecuencia de la luz multiplicada por una constante. Era como si la luz se desplazara en bloques y cada uno de ellos transportara exactamente esa cantidad de energía. Cuando esos cuantos de luz, o fotones, tropezaban con un electrón, la energía se transfería a éste.

La constante de la ecuación de Einstein era la constante de Planck que hemos visto unos párrafos atrás. El físico Max Planck había inventado el número en el transcurso de sus investigaciones sobre el fenómeno de la radiación de cuerpo negro. Un cuerpo negro era un constructo que absorbía y emitía radiación en todas las frecuencias.

En la década de 1890, el físico Wilhelm Wien resolvió las ecuaciones referidas a esa situación hipotética al tratar la radiación como un ejemplo de equilibrio térmico y aplicar las leyes de la termodinámica, especialmente las relacionadas con la entropía. Sin embargo, cuando los investigadores comenzaron a crear montajes experimentales que se asemejaban a un cuerpo negro perfecto, enseguida quedó claro que los datos no encajaban. Lord Rayleigh y James Jeans idearon una formulación alternativa que funcionaba bien a frecuencias de radiación bajas, si bien a frecuencias altas era propensa a la «catástrofe ultravioleta»: la energía liberada era proporcional al cuadrado de la frecuencia, lo que significaba que a frecuencias elevadas (como la de la luz ultravioleta) viraba al infinito. Planck acabó encontrando su propia solución al problema, la cual eludía la catástrofe ultravioleta a expensas de lo que a muchos pareció una patraña muy poco convincente. Tuvo que dar por supuesto que la energía se liberaba en bloques que dependían de la frecuencia de la radiación multiplicada por un factor constante. Ese factor era la constante de Planck, lo que él llamaba el cuanto de acción.

Como ya hemos visto, Niels Bohr aprovechó bien el cuanto de acción de Planck cuando estaba armando su modelo de estructura atómica. Bohr se valió de la constante de Planck para ayudar a definir los diferentes estados de energía en que los electrones que giran alrededor del núcleo central de un átomo pueden permanecer estables. Pese al éxito del modelo a la hora de explicar los datos empíricos derivados de experimentos como los llevados a cabo por Rutherford en Manchester, amén de su valor heurístico al sugerir nuevos avances teóricos, muchos físicos —incluido el propio Bohr— se sintieron muy insatisfechos con él. El problema era simple. Al parecer, el modelo de Bohr —y la teoría de los cuantos incorporada— era un término medio entre la física clásica y algo más. El modelo era «clásico» porque en gran medida cumplía con las reglas y los supuestos de la mecánica newtoniana. El átomo constaba de partículas separadas —electrones— que daban vueltas alrededor de un núcleo central —el núcleo— en órbitas bien definidas. La única diferencia era que podían cambiar de órbita, de hecho sólo podían cambiar de órbita, con arreglo a supuestos que infringían principios mecánicos fundamentales. En la década de 1920, Bohr y otros

físicos estaban intentando activamente encontrar principios físicos nuevos y fundamentales que les permitieran entender la teoría de los cuantos. El problema no lo tenían con la física del modelo, sino con su metafísica.

Uno de los primeros intentos de avanzar hacia una formulación alternativa fue el trabajo del joven físico alemán Werner Heisenberg. En 1924, Heisenberg pasó seis meses en Copenhague investigando en el Instituto de Física Teórica fundado por Bohr. Ese trabajo en estrecha colaboración iba a ser crucial para los hechos que seguirían, pues los protagonistas clave se conocieron y colaboraron en coloquios, conferencias y centros de investigación. Frustrado por la apariencia ad hoc de la teoría de los cuantos, Heisenberg quería volver a los principios iniciales y crear una tecnología matemática completamente nueva para abordar los fenómenos. Pretendía suprimir conceptos teóricos como los orbitales atómicos que, en principio, no tenían atributos observables. En su mecánica cuántica (como él la llamaba), Heisenberg sustituyó la noción de orbitales atómicos por la suposición de que los átomos existen en diferentes estados cuánticos que se pueden definir matemáticamente. Siguiendo la sugerencia de su mentor Max Born, Heisenberg utilizó la notación matemática del cálculo de matrices para expresar los distintos estados cuánticos posibles. Aproximadamente al mismo tiempo, en Cambridge, otro joven físico, Paul Dirac, estaba tratando de elaborar una teoría similar. Heisenberg y sus aliados estaban deshaciéndose bastante conscientemente de todos los arreos de la física clásica e intentando cimentar sus procedimientos en una base observacional totalmente nueva.

También se estaba desarrollando un enfoque distinto de las anomalías de la teoría de los cuantos a partir de la idea del joven aristócrata francés Louis de Broglie. Inspirado en la sugerencia de Einstein, recogida en su trabajo de 1905, de que de vez en cuando la luz se comportaba como una partícula, en 1923 De Broglie señaló que, en determinadas circunstancias, acaso fuera posible tratar las partículas (específicamente los electrones) como si fueran ondas. Según él, podía decirse que los electrones que daban vueltas alrededor del núcleo existían en una onda estacionaria, estando los diferentes orbitales posibles definidos como el abanico de posibles frecuencias a las que la onda estacio-

naria podía oscilar. La propuesta fue asumida y desarrollada unos años después por el físico vienés Erwin Schrödinger, cuyo logro concreto en su formulación de la mecánica ondulatoria (como denominaba a su teoría) de 1926 fue obtener una función de ondas para el átomo de hidrógeno, en virtud de la cual se podían calcular estados ondulatorios estacionarios que corresponderían a cada uno de los niveles orbitales de Bohr. Si Heisenberg se veía a sí mismo suprimiendo muy conscientemente la física clásica, Schrödinger consideraba su mecánica ondulatoria como una continuación de la tradición. No obstante, estaba claro que, como sostenía el físico Wolfgang Pauli y admitía Schrödinger, la mecánica ondulatoria y la mecánica cuántica eran, cuando menos formalmente, expresiones diferentes aunque matemáticamente distintas de la misma situación. Lo que seguía sin estar claro era de qué situación se trataba.

El propio Schrödinger brindó una primera respuesta a la cuestión de cómo interpretar esa nueva física. Sugirió que los paquetes de ondas descritos por su teoría se mantenían unidos a lo largo del tiempo y que había que imaginar sus partículas sólo como conjuntos de ondas fuertemente unidos. En tal caso, no había discontinuidad entre la mecánica clásica y la ondulatoria. Max Born propuso una interpretación más radical. A su juicio, la mejor manera de entender la mecánica cuántica era recurriendo a la estadística. En un artículo publicado en 1926 sobre la mecánica cuántica de un rayo de partículas esparcidas por un centro de fuerza, Born sugería que la mejor forma de interpretar las ecuaciones era como expresiones de probabilidades. En otras palabras, lo que sus ecuaciones revelaban en cuanto al efecto de partículas individuales chocando con el centro de fuerza no era lo que pasaba sino lo que probablemente pasaba. Si Schrödinger quería preservar el vínculo con los enfoques clásicos deshaciéndose de las partículas, Born pretendía conservar la utilidad de las explicaciones físicas basadas en las partículas mientras definía un significado concreto para las ecuaciones de ondas. Su conclusión fue que esas ecuaciones eran expresiones de distribución de probabilidades. Los frentes de batalla cada vez se trazaban más en torno a esta cuestión: ¿qué significaba la mecánica cuántica? ¿Qué imagen del mundo proyectaba?

Los protagonistas se reunieron en Copenhague en 1926 y 1927. Bohr,

Schrödinger y Heisenberg se vieron en octubre de 1926, cuando Schrödinger, invitado por Bohr, pronunció allí una conferencia sobre las bases de la mecánica cuántica. Heisenberg ya le había oído en una charla parecida en Múnich y se mostró horrorizado ante los intentos de su colega de elaborar una interpretación clásica de la disciplina. A Schrödinger le parecían asimismo muy poco convincentes los saltos de Bohr y Heisenberg entre estados cuánticos y la interpretación de la probabilidad de Born. Heisenberg regresó a Copenhague a principios de 1927 y siguió trabajando en una descripción satisfactoria de la nueva física. El resultado fue el abandono de las leyes de la causalidad clásica y el establecimiento del principio de la incertidumbre. Según Heisenberg, en el mundo cuántico no era posible afirmar de manera rotunda que una situación concreta originaba categóricamente otra. Antes del suceso, sólo podían conocerse probabilidades. Eso era así porque había límites respecto a lo que, en principio, podía llegar a saberse de cualquier situación. Era imposible conocer con la misma precisión la posición y la velocidad de una partícula. Era también imposible conocer con la misma exactitud el estado de energía de un objeto y el momento en que se halla en ese estado. Se centraba la atención en los fenómenos observables. Bohr lo expresaba diciendo que la cuestión de si un electrón era una partícula o una onda ya no venía al caso. Lo que importaba era si se comportaba como una partícula o una onda y en qué circunstancias.

La interpretación de Copenhague fue y sigue siendo controvertida. Schrödinger jamás la aceptó, de ahí la famosa paradoja del gato, en la cual Schrödinger describía un experimento hipotético en el que un gato encerrado en una caja estaba sometido a un proceso que lo mataría o no, según cual fuera el resultado de un hecho determinado en el nivel cuántico, por ejemplo, un vial de veneno que se liberaría sólo si se producía la emisión de un electrón individual de un átomo. Según la interpretación de Copenhague, no se podía afirmar justificadamente que había tenido lugar el suceso cuántico decisivo hasta observar realmente el resultado. Mientras tanto sólo podía afirmarse que había una superposición de estados cuánticos. Pero eso significaba que hasta que alguien abriera la caja y mirara dentro, no sería posible afirmar de manera justificada que el gato estaba vivo o que estaba muerto: existiría en una superposición de estados, muerto y vivo. Schrödinger con-

sideraba eso un argumento por reducción al absurdo que ponía de manifiesto el desatino de la postura de Copenhague (Wheaton, 1983, Darrigol, 1992).

Otro disidente famoso fue Albert Einstein, que nunca aceptó que la mecánica cuántica fuera realmente «el secreto de Dios... que *Él* no juega a los dados». Algunos historiadores han sostenido que el rechazo general de las ideas clásicas de la causalidad que sustentaba la interpretación de Copenhague se puede rastrear hasta el pesimismo cultural de posguerra de la República de Weimar. De acuerdo con esa idea, habría que contemplar la mecánica cuántica desde el mismo prisma que el rechazo filosófico, literario y artístico de las formas clásicas de la racionalidad que se produjo tras la derrota de Alemania en la Gran Guerra (Forman, 1971). En la sugerencia hay sin duda cierta verdad, aunque no sirve de mucho para justificar el éxito de la mecánica cuántica en otras partes o su vínculo constante con la física teórica contemporánea. La explicación seguramente reside —como hemos dicho que sucede con la teoría de la relatividad— en la atracción que tecnologías matemáticas nuevas, eficaces y esotéricas ejercieron en una generación nueva (casi la primera formada así) de físicos teóricos y en el poder de las tradiciones institucionales creadas por éstos. También conviene tener en cuenta el tamaño relativamente pequeño y la movilidad del grupo implicado en la fundación de la mecánica cuántica. Se conocían unos a otros; viajaban continuamente a los respectivos centros de investigación y se reunían a menudo en eventos internacionales recién inaugurados, como las Conferencias de Solvay. A ese respecto, la mecánica cuántica tuvo éxito precisamente porque fue un trabajo en equipo.

Macrofísica

En la década de 1920, Ernest Rutherford, a la sazón sucesor de J. J. Thomson como director del Laboratorio Cavendish de Cambridge, gozaba de una sólida reputación como uno de los más destacados investigadores mundiales del interior del átomo. Según los patrones modernos para esos experimentos con los que actualmente estamos fami-

liarizados, el aparato que él y sus compañeros utilizaron era engañosamente modesto y sencillo. Rutherford y su equipo bombardearon láminas metálicas con radiación procedente de una fuente radiactiva como el radio. Su objetivo era averiguar cómo cambiaba la ruta de los rayos cuando atravesaban la lámina, por lo que utilizaron pantallas fosforescentes para captar los destellos individuales a medida que llegaban las partículas. El problema del estudio de las trayectorias y propiedades de esas partículas subatómicas era simple: cómo detectarlas. Hans Geiger, colega de Rutherford de Manchester, había creado diversas técnicas para registrar la incidencia de la radiación. A partir de 1912 trabajó en el Physikalisch-Technische Reichsansalt, donde inventó lo que acabó conociéndose como contador Geiger para contabilizar partículas alfa. El licenciado por Cambridge C. T. R. Wilson creó otro artefacto importante. En el proceso de intentar producir nubes artificiales en el laboratorio, observó que se acumulaban diminutas gotas de agua en torno a iones individuales, lo que dejaba un rastro visible. Mediante las cámaras de nubes de Wilson, como se las conocía, fue posible rastrear efectivamente movimientos de partículas individuales de radiación.

Quizá el triunfo más importante de la escuela de Cambridge de físicos nucleares creada alrededor de Rutherford fue la identificación de una nueva partícula subatómica, el neutrón, a cargo de James Chadwick. En 1928, los físicos alemanes Walter Bothe y Herbert Becker habían observado que cuando se bombardeaba una muestra del elemento metálico berilio con partículas alfa, emitía una radiación eléctricamente neutra que tomaron por rayos gamma. Unos años después, en 1932, Irene Joliot-Curie (hija de Marie Curie) y su esposo Frederic advirtieron que esa radiación hacía que una diana de parafina emitiera protones (partículas subatómicas positivas que, según se creía entonces, integraban el núcleo junto al mismo número de electrones). Chadwick repitió los experimentos de Joliot-Curie utilizando otros elementos además de dianas. Tras comparar las energías de las partículas cargadas emitidas por los distintos blancos, llegó a la conclusión de que la radiación eléctricamente neutra no eran rayos gamma sino un flujo de partículas neutras de más o menos la misma masa que los protones: los neutrones. El descubrimiento —por el que Chadwick re-

cibió en 1935 el premio Nobel— no sólo proporcionó más información sobre la estructura del átomo sino que también procuró nuevas herramientas para investigaciones futuras. Al ser eléctricamente neutros, los flujos de neutrones eran muy penetrantes y podían utilizarse para ahondar aún más en el átomo.

En 1928, el físico soviético George Gamow publicó una explicación de la radiación de partículas alfa en el marco de la mecánica cuántica. Era uno de los primeros intentos de aplicar las nuevas herramientas de la física teórica para comprender las partículas y los procesos subatómicos que los expertos en radiactividad habían estado investigando durante la década anterior. Gamow puso de manifiesto que la emisión de partículas alfa no derivaba de cierta inestabilidad aleatoria y arbitraria en el núcleo atómico sino que era una simple consecuencia de las leyes de la mecánica cuántica (un efecto actualmente conocido como «fluctuación cuántica»). Durante la década de 1930, los físicos teóricos mostraron cada vez más interés en saber cómo interpretar la nueva información proporcionada por los físicos nucleares, especialmente la relativa al interior del núcleo que pudiera obtenerse mediante el uso del recién descubierto neutrón. Heisenberg sugirió que el contenido del núcleo se mantenía unido gracias a un nuevo tipo de fuerza, y que esas fuerzas nucleares seguramente tenían un radio de acción limitado y su magnitud era más o menos un millón de veces superior a la de las fuerzas electrostáticas que mantenían el átomo unido. A partir de la década de 1930, Niels Bohr elaboró su teoría del núcleo según la cual éste se parecía en muchos aspectos a una gota de líquido. Según Bohr y su colega Fritz Kalchar, el núcleo atómico hace lo mismo que las gotas de líquidos que vibran cuando se les aplica una fuerza. Podemos considerar que esos distintos estados de vibración son estados cuánticos.

Con el estallido de la guerra, muchos físicos teóricos y nucleares acabaron trabajando para sus respectivos bandos. Heisenberg colaboró con el régimen nazi en sus esfuerzos por fabricar armas nucleares. Einstein fue uno de los instigadores de una carta dirigida a Franklin Roosevelt, presidente de Estados Unidos, que resultó decisiva para llevar a cabo el Proyecto Manhattan. A finales de la segunda guerra mundial, sobre física nuclear se sabía muchísimo más que al princi-

pio. Los bombardeos de Hiroshima y Nagasaki habían hecho espantosamente explícitas las consecuencias de la desintegración del átomo. También en ambos bandos los esfuerzos bélicos se habían traducido en una enorme inversión de recursos humanos y económicos en física nuclear. Por primera vez, la física comenzaba a consistir en un esfuerzo colectivo a gran escala (véase cap. 20, «Ciencia y guerra»). Cuando en 1946 los físicos nucleares se reunieron en el Laboratorio Cavendish de Cambridge con motivo de la primera conferencia desde el inicio de la guerra, su disciplina parecía estar en auge. Desde luego, el número de partículas subatómicas elementales había proliferado. En la lista había ahora electrones, mesones, neutrones, neutrinos, fotones, positrones y protones. Los mesones habían sido anunciados en 1935 por el físico japonés Hideki Ukawa para explicar la transmisión de fuerzas nucleares; unos años después se identificaron en estudios con rayos cósmicos. Los positrones (electrones con carga positiva) habían sido vaticinados por Paul Dirac en Cambridge y observados en Cal-Tech a principios de la década de 1930. Los neutrinos eran partículas hipotéticas, a las que se recurría para preservar la conservación de la energía en ciertas interacciones que involucraban a partículas beta. Al principio no fueron aceptados de manera general. Inicialmente, Bohr había preferido abandonar el principio de la conservación de la energía antes que admitir la existencia de partículas de cuya existencia no había ninguna prueba. En 1936, no obstante, acabó aceptando la realidad física de los neutrinos.

En la década de 1940, los experimentos en física nuclear habían dejado atrás rápidamente las mesas de los primeros tiempos. En las décadas de 1920 y 1930, los instrumentos experimentales fueron de dimensiones relativamente pequeñas. La pieza principal del aparato usado por Chadwick para identificar el neutrón tenía sólo quince centímetros de largo. El suyo fue el último descubrimiento de una partícula subatómica que se hizo en un artilugio así. En las décadas de 1950 y 1960, para buscar esas partículas hacían falta equipos muy grandes y también enormes inversiones en trabajo y dinero. A principios de la segunda guerra mundial la tendencia ya estaba plenamente en marcha. Cuando el físico italiano Enrico Fermi llevó a cabo en 1942 la primera reacción nuclear controlada en cadena, precisó un la-

boratorio del tamaño de una pista de squash (de hecho, era una pista de squash que había debajo del estadio de fútbol americano de la Universidad de Chicago). Después de la guerra, Fermi fue nombrado director del Instituto de Física Nuclear de Chicago, donde en 1951 desempeñó un papel clave en la creación del sincrociclotrón, un aparato inmenso en el que las partículas subatómicas experimentaban una aceleración hasta alcanzar velocidades altísimas antes de dar en una diana para así poder estudiar sus propiedades y su constitución. Fue uno de los primeros de una nueva generación de aparatos experimentales cada vez más potentes. A finales de la década de 1950, había instrumentos como el citado que ya medían siete metros de diámetro. Debido a esos experimentos en física de las partículas, términos como «elemental» o «fundamental» empezaron a ser cada vez más peligrosos.

A principios de la década de 1960, en general se reconocían dos clases de partículas elementales: los hadrones —por ejemplo, los protones y los neutrones que constituyen el núcleo— y los leptones —por ejemplo, los electrones—. Hacia 1964, sin embargo, ese cuadro empezó a desmoronarse. Ciertos experimentos con aceleradores de partículas cada vez más potentes parecían sugerir que, después de todo, los hadrones no eran partículas elementales sino que se componían de otras partículas que con el tiempo recibieron el nombre de quarks. La sugerencia la hizo primero por razones teóricas un físico americano, Murray Gell-Mann, que trabajaba en el Instituto de Tecnología de California, junto con George Zweig, de origen ruso, a la sazón en el Laboratorio del Consejo Europeo para la Investigación Nuclear, en Suiza. Había tres tipos de quarks: «up» (arriba), «down» (abajo) y «strange» (extraño). Distintas combinaciones de quarks generaban la variedad de hadrones. Los quarks enseguida llegaron a ser entidades teóricas muy útiles. Se podían usar para explicar muchas cosas sobre los diferentes estados cuánticos de las partículas nucleares. De cualquier modo, la cuestión de si los quarks existían realmente fue objeto de un gran debate. Muchos físicos sostenían que eran simplemente maneras útiles de organizar la información y no verdaderos objetos físicos. El problema obedecía en parte a que los quarks eran difíciles de encontrar pese a que, dadas sus propiedades —sobre todo, el hecho

de que se suponía que tenían cargas eléctricas fraccionarias—, debían ser relativamente llamativos. Hasta bien entrada la década de 1970 no se aceptó su realidad física de forma generalizada (Pickering, 1986).

El tipo de física que creó los quarks era cada vez más esotérica y técnica. También necesitaba recursos enormes. En la década de 1950, la contribución europea a la física de las partículas precisó cooperación internacional. Los aceleradores de partículas CERN construidos en Suiza, cerca de la frontera con Francia, eran (y todavía son) literalmente empresas inmensas, con instrumentos de varios kilómetros de diámetro. Esas iniciativas de tan grandes dimensiones también requerían muchísimo personal. Se calcula que, a principios de la década de 1960, había en ejercicio en Europa unos 685 físicos de partículas y otros 850 en Estados Unidos. En la década de 1970, las cifras europeas se habían más que cuadruplicado y las americanas doblado. A lo largo de las décadas de 1960 y 1970, sucesivos gobiernos americanos y europeos invirtieron cada vez más dinero en la física de las partículas de alta energía (fig. 11.5). Mediaba un abismo entre eso y los experimentos de Rutherford y Chadwick realizados sobre una mesa del Laboratorio Cavendish aproximadamente medio siglo antes. La física de las partículas de alta energía era ciencia de colaboración por excelencia. También se puso de manifiesto un elevado grado de separación entre experimentadores y teóricos. Si a principios del siglo XX, J. J. Thomson o los Curie aunaban en su actividad las teorías y la experimentación, esa combinación fue cada vez más inusual en la segunda parte del siglo. Para elaborar teoría o realizar experimentos se llegaron a exigir conocimientos totalmente distintos.

Conclusiones

Los creadores de la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica de principios del siglo pasado indudablemente se veían a sí mismos implicados en un proceso revolucionario. Estaban poniendo patas arriba la física clásica y sustituyéndola por un edificio intelectual completamente nuevo. En muchos aspectos, no obstante, la noción de física clásica se consolidó como un conjunto de ideas coherentes y autóno-

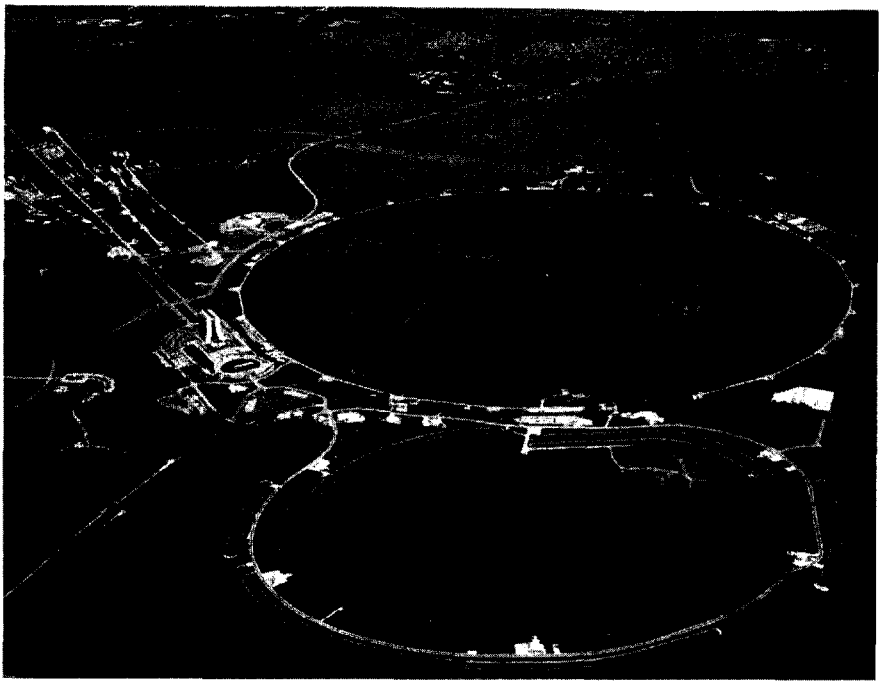


FIGURA 11.5. Emplazamiento de un acelerador de partículas de finales del siglo XX (foto por cortesía de Fermilab, Batavia, IL). Si comparamos la imagen con el aparato de la figura 11.2, tendremos un ejemplo gráfico del cambio de proporciones producido en la física experimental durante el siglo pasado.

mas gracias precisamente a ese desmantelamiento. Se decía que era lo que no era la nueva física. De todas formas, esa ruptura con el pasado no resultó tan nítida e inevitable como sostenían al menos algunos de sus defensores. Hemos visto que había claras continuidades entre los avances en las teorías cuántica y relativista y los planteamientos anteriores. Algunos de los fundadores de la nueva física tenían sentimientos encontrados respecto al abandono de las viejas certezas. Como hemos comprobado, Einstein y Schrödinger, por ejemplo, jamás se resignaron del todo a que la física abandonara la causalidad. Ante esa perspectiva, incluso Niels Bohr se mostraba bastante más ambivalente que Heisenberg, el verdadero entusiasta de la incertidumbre. A lo

largo del siglo, la física también llegó a ser una práctica crecientemente esotérica (o, dicho con más precisión, un conjunto de prácticas). Para ser físico hacían falta años de formación prolongada y gran dedicación, lo cual ahora naturalmente no nos sorprende, pues ésta es la cultura científica en la que también nosotros vivimos. Es fácil olvidar que antes no había existido nada parecido. La física se convirtió asimismo en una actividad cada vez más fragmentada, en la que investigadores y teóricos se desenvolvían en diferentes institutos y cosmovisiones. Se crearon nuevas especializaciones, como la física del estado sólido, que rompieron las viejas barreras entre ciencia académica e industrial.

Por otra parte, está claro que es imposible separar las historias intelectuales y las institucionales de la física del siglo XX. Las instituciones donde se practicaba la física ejercieron una gran influencia en lo que fue la disciplina. La práctica muy especializada, intensiva y matemáticamente abstrusa que llegó a ser la física teórica a lo largo del siglo XX dependía totalmente de la existencia de investigación intensiva y especializada así como de centros de formación donde aquélla tenía lugar en buena parte. Era una actividad que no podía llevarse a cabo sin los cuadros preparados, expertos y de gran dedicación generados por esos centros. Igualmente, la experimentación ya no fue más el terreno de un científico individual con un pequeño equipo de técnicos y ayudantes. Un experimento en CERN o Fermilab requería la movilización de cientos, si no miles, de científicos. Durante el siglo XX, la física llegó a ser un gran negocio que demandaba recursos de proporciones inauditas hasta el momento. A lo largo del siglo, el número de personas que se denominaban a sí mismas físicos profesionales creció en varios órdenes de magnitud. Ése no era un aspecto menor del desarrollo de la física moderna. Sin esos recursos e instituciones, la disciplina como se ha practicado simplemente no habría sido posible. La forma institucional de la física moderna fue una condición *sine qua non* de su contenido intelectual.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Cassidy, David, *Uncertainty: The Life and Science of Werner Heisenberg*, Freeman, Nueva York, 1992.

Darrigol, Oliver, *From C-Numbers to Q-Numbers: The Classical Analogy in the History of Quantum Theory*, University of California Press, Londres y Berkeley, 1992.

Earman, John, y Clark Glymour, «Relativity and Eclipse: The British Expeditions of 1919 and Their Predecessors», *Historical Studies in the Physical Sciences*, n.º 11 (1980), pp. 49-85.

Forman, Paul, «Weimar Culture, Causality, and Quantum Theory, 1918-1927: Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment», *Historical Studies in the Physical Sciences*, n.º 3 (1971), pp. 1-115.

Galison, Peter, *How Experiments End*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.

Galison, Peter, y Bruce Hevly (eds.), *Big Science: The Growth of Large-Scale Research*, Stanford University Press, Stanford, 1992.

Heilbron, John, y Thomas Kuhn, «The Genesis of the Bohr Atom», *Historical Studies in the Physical Sciences*, n.º 1 (1969), pp. 211-290.

Jungnickel, Christa, y Russell McCormmach, *The Intellectual Mastery of Nature*, vol. 2, University of Chicago Press, Chicago, 1986.

Keller, Alex, *The Infancy of Atomic Physics*, Clarendon Press, Oxford, 1983.

Kragh, Helge, *Dirac: A Scientific Biography*, Cambridge University Press, Cambridge, 990.

Kuhn, Thomas S., *Black Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894-1912*, Clarendon Press, Oxford, 1978.

Nye, Mary Jo, *Before Big Science*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1996.

Pais, Abraham, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*, Clarendon Press, Oxford, 1982 (hay trad. cast.: *El señor es sutil: la ciencia y la vida de Albert Einstein*, Ariel, Barcelona, 1984).

—, *Niels Bohr's Times in Physics, Philosophy and Polity*, Clarendon, Press, Oxford, 1991.

Pickering, Andrew, *Constructing Quarks*, University of Chicago Press, Chicago, 1986.

Segré, Emilio, *From X Rays to Quarks: Modern Physicists and Their Discoveries*, W. H. Freeman, San Francisco, 1980.

Wheaton, Bruce, *The Tiger and the Shark: The Empirical Roots of Wave-Particle Dualism*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

Whitaker, Edmund, *History of the Theories of Aether and Electricity*, vol. 2, Nelson, Londres, 1993.

12

Revolución en la cosmología

Solemos dar por supuesta la idea moderna del cosmos y nuestro lugar en el mismo. Los astrónomos actuales consideran que la Tierra no pasa de ser un planeta mediocre que gira alrededor de una estrella bastante corriente y moliente en la periferia de una galaxia que no tiene nada de particular —una de las infinitas galaxias en el universo infinito—. En palabras de los Monty Python en *El sentido de la vida*:

> Nuestra galaxia contiene cien mil millones de estrellas,
> de un lado a otro mide cien mil años luz,
> se abomba por el centro con un grosor de dieciséis mil años luz,
> pero en nuestra zona sólo tiene tres mil años luz.
> Estamos a treinta mil años luz del centro de la galaxia.
> Damos una vuelta cada doscientos millones de años,
> y nuestra galaxia es una más de entre billones
> en este increíble universo en expansión.

No obstante, esta idea del universo y del lugar de los seres humanos en el mismo es muy reciente. Hasta la década de 1930, entre los astrónomos no había consenso respecto al tamaño y la forma de la Vía Láctea (nuestra galaxia) o la ubicación en ella de la Tierra. No había acuerdo sobre si la Vía Láctea era una estructura única en el universo o si existían otras galaxias. Al menos según un astrónomo, «la idea... de que nuestra galaxia no es única ni central en el universo está al mismo ni-

vel que la aceptación del sistema copernicano como uno de los grandes avances del pensamiento cosmológico» (Berendzen, Hart y Seeley, 1976).

Así, partiendo de esta perspectiva, la aparición de la idea moderna del cosmos puede calificarse como una revolución comparable a los sucesos definitorios de la propia revolución científica. Sin duda hay paralelismos entre el cambio de enfoque ocasionado por el desarrollo de la cosmología moderna y la revolución copernicana, al menos como se ha descrito tradicionalmente. Copérnico puso en entredicho los supuestos medievales tardíos sobre el lugar de la humanidad en el cosmos al quitar a la Tierra del centro del mismo. La cosmología moderna completó la tarea y eliminó los últimos vestigios de unicidad humana al relegar incluso la galaxia en que vivimos al lugar más apartado del universo. Desde luego hay aspectos en los que esta revolución cosmológica del siglo XX podría tomarse como un caso clásico de revolución científica kuhniana. Concretamente, como veremos, ilustra la idea de Kuhn referente a la subjetividad de la prueba observacional. Los astrónomos enzarzados en discusiones sobre el tamaño y la forma del universo interpretaban los datos de manera distinta en función de sus diversos puntos de vista sobre cómo era realmente el cosmos, igual que cuando Kuhn sugiere que diferentes observadores con opiniones dispares sobre lo que «hay realmente ahí» pueden ver un pato o un conejo en el mismo dibujo (Kuhn, 1962). También es un buen ejemplo de otros aspectos sociológicos más recientes relativos a la importancia de cuestiones como la formación, la afiliación institucional y la relación personal en la resolución de las controversias científicas (Barnes, 1974; Collins, 1985).

Como hemos visto antes, entre los antiguos griegos la idea predominante sobre el universo era la finitud de éste, con la Tierra en el centro y rodeada por la esfera de estrellas fijas. En la Baja Edad Media y el Renacimiento, este cuadro fue cada vez más cuestionado con la llegada del sistema heliocéntrico de Copérnico. Para Newton, el espacio —y, por tanto, el universo— era infinito. Durante los siglos XVIII y XIX, acerca de la estructura del universo se desarrolló un abanico de opiniones opuestas. Algunos, como Immanuel Kant, sostenían que las nebulosas eran galaxias como la de la Tierra. Otros afirmaban que

las nebulosas consistían en nubes de gases en las que, con el tiempo, se originaron otros sistemas solares como el nuestro. Durante la segunda mitad del siglo XIX, se utilizaron nuevas herramientas como la fotografía y la espectroscopia para observar más a fondo en el espacio e identificar los elementos que constituían los objetos celestes. En las primeras décadas del siglo XX, las discusiones acerca del tamaño y la forma del universo giraban en torno a distintas opiniones relativas a la naturaleza de las nebulosas y la distancia a la que se encontraban. La consolidación de la nueva teoría de Einstein sobre la relatividad general durante las décadas de 1910 y 1920 también tuvo importantes repercusiones en las polémicas sobre el tamaño del cosmos. Einstein creía que podía utilizar sus ecuaciones de campo relativistas para entender la estructura geométrica del espacio y el tiempo. El universo de Einstein era estático. Había quienes discrepaban: según las pruebas, decían, el universo estaba expandiéndose.

A mediados del siglo XX se habían creado dos modelos contrarios de un universo en expansión. Según una postura, era posible valerse de observaciones del ritmo de expansión del universo para remontarnos hasta sus inicios. Es lo que llegó a conocerse como teoría del «big bang». Para los defensores del big bang, originariamente toda la materia del universo estaba concentrada en un punto; y lo que había creado el cosmos moderno era la explosión y la posterior expansión de ese punto —el big bang original—. Los contrarios al big bang, como el astrónomo británico Fred Hoyle, sostenían que el espacio cósmico no tenía un comienzo diferenciado: siempre había existido y seguiría existiendo de forma indefinida. En todo el universo se estaba produciendo continuamente materia nueva para abastecer su expansión constante. Era el modelo del «estado estacionario». No obstante, en las últimas décadas del siglo XX, predominó cada vez más el modelo del big bang. En las descripciones del universo moderno, éste aparecía poblado cada vez más por entidades singulares, como los agujeros negros, los púlsares o los agujeros de gusano. A finales del siglo XX, se habían desarrollado nuevas tecnologías gracias a las cuales los astrónomos afirmaban ser literalmente capaces de ver de manera retrospectiva el inicio del cosmos.

La forma del universo

¿El universo es algo de lo que puede decirse en serio que tiene forma o tamaño? Para los antiguos griegos, la respuesta seguramente sería afirmativa. El universo era esférico, con la tierra en el centro y la esfera de estrellas fijas como límite exterior. Cuando en la Europa medieval se adoptó y adaptó ese modelo aristotélico básico, el cielo quedó ubicado más allá de la esfera de estrellas. A finales de la revolución científica y con la aceptación gradual del universo heliocéntrico de Copérnico y, luego, de las opiniones de Kepler y Newton sobre los mecanismos del firmamento, ya hacía tiempo que se había abandonado la idea de que las esferas celestes cristalinas eran entidades físicas reales (Kuhn, 1966). A mediados del siglo XVIII, los astrónomos estaban mayoritariamente de acuerdo en que la teoría de la gravitación de sir Isaac Newton era la que mejor explicaba los movimientos de los objetos celestes. El universo de Newton era inmenso, absoluto e inmutable. Había nacido en el momento de la Creación. No tenía límites de ninguna clase, simplemente se extendía hasta el infinito. Más allá de los confines del propio sistema de la tierra, donde ésta y los otros planetas describían órbitas alrededor del sol central, no había nada salvo estrellas distribuidas más o menos de modo uniforme y en un número incalculable. Partiendo de esa óptica, desde luego no estaba claro ni mucho menos que las cuestiones relativas al tamaño y la forma del universo tuvieran algún sentido.

En 1750, no obstante, el inglés Thomas Wright publicó *An Original Theory or New Hypothesis of the Universe* [Una teoría original o nueva hipótesis del universo], donde proponía una estructura específica para el universo, el cual, según su modelo, constaba de dos esferas concéntricas con las estrellas intercaladas. En el centro estaba el trono de Dios. Wright tenía pruebas observacionales que respaldaban su hipótesis. La muy luminosa banda de estrellas visible en el cielo nocturno —la Vía Láctea— resultaba de mirar a lo largo de la tangente de las esferas. En 1755, el filósofo alemán Immanuel Kant, más conocido como autor de la *Crítica de la razón pura*, publicó su *Universal Natural History and Theory of the Heavens* [Historia natural universal y

teoría de los cielos], donde sostenía que la Vía Láctea era sólo uno entre muchos «universos insulares» similares diseminados por el cosmos. Tras leer una descripción un tanto ambigua de la teoría de Wright, entendió que, según éste, la Vía Láctea era un disco de estrellas visto longitudinalmente, y adoptó la idea. Cuando el astrónomo anglo-germano William Herschel —famoso por haber descubierto el planeta Urano— empezó a cartografiar el firmamento con sus nuevos y potentes telescopios y a identificar en el cielo diversas nubes estelares, o nebulosas, que brillaban, éstas fueron a menudo descritas como universos insulares. Al principio, el propio Herschel aceptaba que las nebulosas eran sistemas extragalácticos de estrellas, aunque observaciones posteriores le hicieron dudar de la afirmación (Hoskin, 1964).

Las concisas observaciones de William Herschel sobre las nebulosas proporcionaron importantes pruebas para una teoría de los orígenes del sistema solar que durante la primera mitad del siglo XIX fue siendo cada vez más aceptada en algunos círculos astronómicos. Según la denominada hipótesis nebular propuesta por el físico francés Pierre-Simon Laplace, las nebulosas eran enormes nubes de materia gaseosa que constituían los lugares de nacimiento de estrellas y planetas. Las turbulentas nubes de gases poco a poco se fusionaron y formaron terrones de materia que giraban alrededor de una masa central y que, con el tiempo, se transformaron en planetas que describían órbitas en torno a una estrella. La hipótesis nebular gozó de especial popularidad en Gran Bretaña, donde fue defendida por divulgadores radicales como John Pringle Nichol y Robert Chambers. En su conocido *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la Creación], publicado en 1844, Chambers se valió de la hipótesis nebular para sostener que el universo se hallaba en un estado de evolución y progreso continuo, dando a entender que eso mismo era aplicable a los seres humanos y sus sociedades. La hipótesis nebular dependía de la afirmación de que las nebulosas eran nubes de gas estelar y no grupos de estrellas. En la década de 1840, el astrónomo anglo-irlandés lord Rosse utilizó con gran acierto el enorme telescopio reflector de casi dos metros construido en Birr Castle, su residencia familiar, para descomponer la nebulosa Orión en sus estrellas constituyentes en un intento de refutar la hipótesis nebular (fig. 12.1).

FIGURA 12.1. Representación de lord Rosse de una nebulosa espiral como se observa en el Leviatán de Parsonstown.

No obstante, pese a los esfuerzos de Rosse, siguió habiendo dudas acerca de si todas las nebulosas podían descomponerse en conjuntos de estrellas o si algunas eran «verdaderas» nebulosas compuestas por nubes de gases (Jaki, 1978).

Durante la segunda mitad del siglo XIX, ciertos avances en fotografía y espectroscopia también aportaron nuevos argumentos a los debates en curso sobre la verdadera constitución de las nebulosas y

otros cuerpos celestes. Algunos astrónomos esperaban que la fotografía fuera capaz de captar, en el cielo nocturno, rasgos de objetos lejanos que el falible ojo humano acaso pasara por alto o malinterpretara. Determinadas sustancias químicas que reaccionaban a la luz quizá se mostraran más sensibles que la mera vista y procuraran datos permanentes y objetivos de lo que había realmente. Tal vez podrían distinguir entre grupos de estrellas y nubes de gases de un modo inaccesible para los sentidos humanos. La espectroscopia, la otra incorporación al arsenal de los astrónomos durante ese período, tenía su origen en la observación de que diferentes sustancias quemaban mostrando diferentes colores o despedían chispas eléctricas coloreadas si se usaban como electrodos. Cuando se observaba esa luz a través de un prisma, formaba un espectro exclusivo para cada elemento concreto. El fabricante de instrumentos alemán Josef von Fraunhofer también señaló que la luz del sol presentaba en su espectro líneas características si se miraba a través de un prisma (Jackson, 2000). Al enfocar los objetos celestes con sus espectroscopios y comparar los espectros generados con los obtenidos de elementos terrestres, los astrónomos trataban de identificar los elementos que constituían las estrellas y las nebulosas. Como veremos más adelante, al analizar el cambio de esas líneas al extremo rojo del espectro (denominado «corrimiento al rojo»), que se consideraba debido a fuentes de luz que se alejaban de la tierra, los astrónomos podían incluso efectuar cálculos aproximados de las velocidades a las que estrellas lejanas y otros objetos celestes se desplazaban a través del firmamento. A principios del siglo XX, la fotografía y la espectroscopia eran herramientas habituales de la astronomía observacional, esenciales en la tarea de distinguir distintas clases de objetos en el cielo nocturno.

Durante las primeras décadas del siglo XX, hubo sobre la naturaleza de las nebulosas dos teorías predominantes y en competencia que tuvieron importantes repercusiones en las opiniones de los astrónomos respecto al tamaño y la forma del universo. Según una de ellas, al menos algunas nebulosas —especialmente las espirales— eran galaxias semejantes a nuestra Vía Láctea. Según la otra, las nebulosas eran conjuntos compactos de estrellas o nubes gaseosas dentro de los confines de la Vía Láctea. La diferencia entre esas dos opiniones opues-

tas dependía en gran parte de los dispares puntos de vista de los astrónomos sobre el tamaño de la Vía Láctea, la posición del sistema solar en la misma y las distancias entre éste y las diversas nebulosas. La cuestión llegó a un punto crítico en un famoso encuentro en Washington, DC, en 1920 —el denominado «gran debate»—, entre Harlow Shapley, del observatorio del monte Wilson, y Heber D. Curtis, del observatorio Lick. Según Shapley, nuestra galaxia tenía un tamaño enorme, de unos 300.000 años luz de diámetro y su centro se hallaba a unos 65.000 años luz de la tierra; grupos de estrellas globulares y nebulosas espirales formaban parte de la galaxia y no constituían sistemas separados de estrellas. Curtis, por su parte, abogaba por una galaxia local bastante más pequeña (de unos 30.000 años luz de diámetro) y sugería que lo más adecuado era considerar las nebulosas espirales como galaxias lejanas. El «gran debate» no aportó mucho a la resolución del problema. La discusión relativa al tamaño y la estructura del universo proseguiría durante la década de 1920 y aún más allá (Smith, 1982).

Ambos bandos del debate podían aludir a un gran número de pruebas observacionales que respaldaban sus posturas respectivas. Buena parte de la cuestión dependía de diversas estimaciones de las distancias de las distintas características celestes respecto a la Tierra. Por supuesto, no había un modo directo de medir esas distancias, por lo que generalmente los astrónomos utilizaban una variedad de aproximaciones basándose en rasgos como la aparente magnitud (luminosidad) de estrellas de diferentes tipos y el aspecto de sus espectros. No obstante, a principios de la década de 1920 era como si la prueba clave estuviera en poder de los contrarios a la teoría de que las nebulosas (o al menos algunas) eran galaxias aparte. El astrónomo holandés Adriaan van Maanen aseguraba poder identificar «movimiento propio» de componentes de nebulosas espirales. Van Maanen, astrónomo observacional muy respetado que trabajaba en el prestigioso observatorio del monte Wilson (fig. 12.2), había llegado a la conclusión de que se podía detectar movimiento propio en los brazos de nebulosas espirales partiendo de comparaciones minuciosas de fotografías nebulares tomadas durante períodos prolongados. Los contrarios a la teoría de las galaxias independientes sostenían que si había movimientos pro-

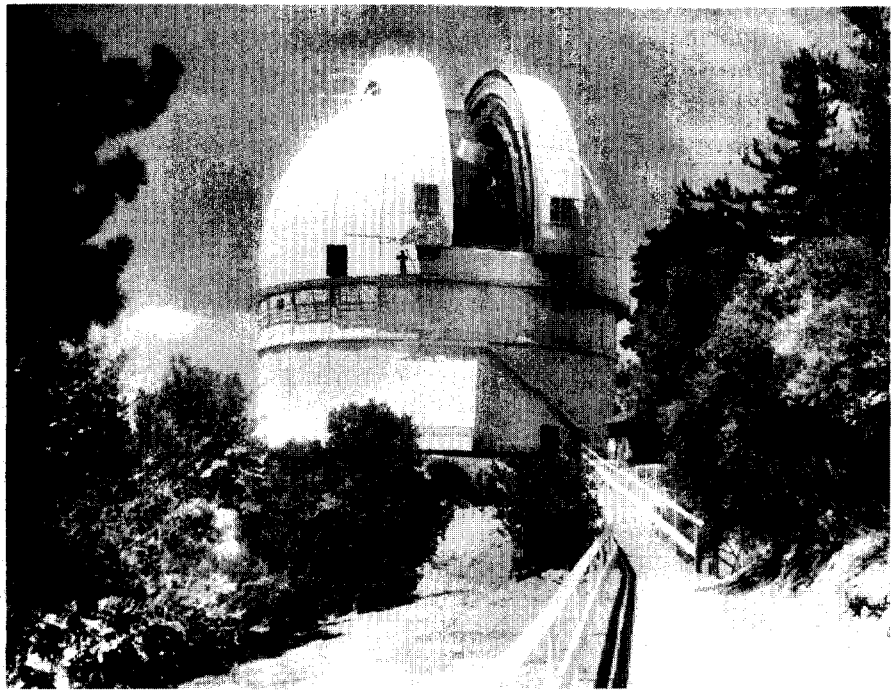


FIGURA 12.2. El observatorio del monte Wilson como era a principios del siglo XX. Allí se llevaron a cabo muchas de las observaciones astronómicas utilizadas para determinar el tamaño del universo.

pios de esa magnitud detectables en objetos situados tan lejos como los defensores de la teoría suponían que estaban las nebulosas espirales, entonces los brazos de las espirales se desplazarían a velocidades superiores a la velocidad de la luz. Una propuesta así era claramente absurda, y por tanto las nebulosas debían estar, de hecho, bastante más cerca, como planteaban quienes decían que aquéllas se encontraban dentro de la propia Vía Láctea.

Pese a las pruebas aparentemente terminantes de Van Maanen, en general los defensores de la teoría de las galaxias independientes siguieron en sus trece. En 1923, una nueva observación del joven astrónomo americano Edwin Hubble pareció aportar pruebas decisivas en

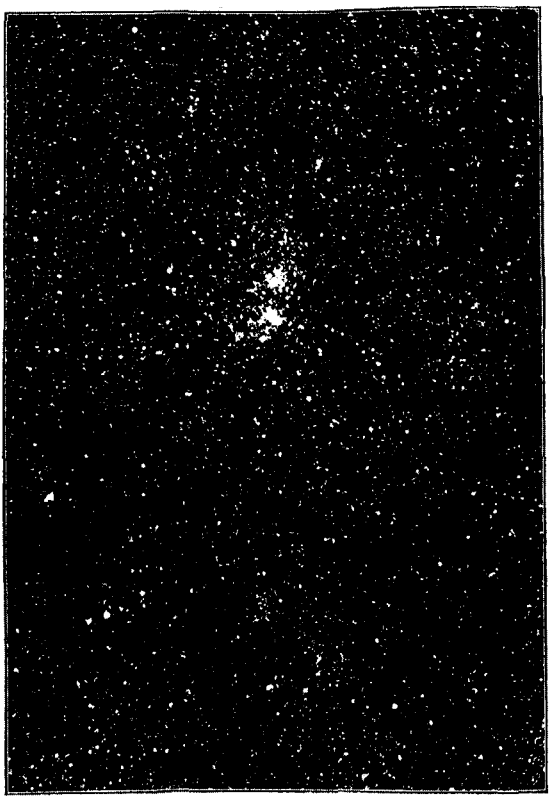


FIGURA 12.3. Fotografía de principios del siglo XX de una nebulosa lejana.

su favor. En el observatorio del monte Wilson (como Van Maanen) y mediante lo que entonces era el telescopio más potente del mundo, Hubble identificó una estrella variable cefeida en la nebulosa Andrómeda. Estudios anteriores sobre variables cefeidas realizados en 1908 por la astrónoma de Harvard Henrietta Swan Leavitt habían determinado una relación constante entre el período de una variable cefeida (el tiempo transcurrido entre sus momentos de máxima luminosidad) y su luminosidad. Eso significaba que era posible usar las medidas del período de una de esas estrellas para evaluar su luminosidad absoluta. A continuación, ésta se podía comparar con la luminosidad aparente (lo brillante que parecía en el cielo nocturno) para calcular aproxima-

damente la distancia, pues distintos objetos con los mismos niveles absolutos de luminosidad aparecen relativamente menos brillantes cuanto más lejos están. En consecuencia, Hubble pudo valerse de su descubrimiento de una variable cefeida en la nebulosa Andrómeda para calcular su distancia aproximada: unos 300.000 parsecs (un parsec equivale a 3,26 años luz), muy superior a lo que afirmaban Van Maanen o Shapley. Con distancias como ésta parecía inconcebible que nebulosas como la Andrómeda pudieran formar parte de la Vía Láctea (fig. 12.3).

Así pues, los astrónomos disponían de dos conjuntos de observaciones aparentemente muy fiables y sin embargo contradictorias. Si había que hacer caso a Van Maanen, sus medidas de los movimientos verdaderos internos de las nebulosas espirales indicaban que éstas debían de estar relativamente cerca (fig. 12.4). Si, por el contrario, había que creer a Hubble, la nebulosas espirales como la Andrómeda se hallaban muy lejos de las posibles fronteras de la Vía Láctea. A finales de la década de 1920, la mayoría de los astrónomos coincidían en que había triunfado la teoría de las galaxias independientes —la hipótesis de los «universos insulares», como se la conocía—; consideraban que las variables cefeidas de Hubble eran más convincentes que las pruebas fotográficas de movimiento verdadero de Van Maanen. Al final se trataba de decidir qué tipo de dato observacional —y qué astrónomo individual— era más digno de crédito.

El modelo de los universos insulares también se utilizó como fundamento de otra transformación más de la cosmovisión tradicional. Al estudiar la luz procedente de galaxias lejanas, los astrónomos observaron que las líneas espectrales (descritas antes) cambiaban hacia el extremo rojo del espectro. La explicación más clara apareció en función del efecto Doppler, según el cual la frecuencia de un movimiento ondulatorio resulta afectada por la velocidad del cuerpo que emite la onda (en el caso del sonido, esto origina la familiar disminución de tono cuando un tren pasa silbando junto a un observador situado al lado de la vía). Esa explicación del «corrimiento al rojo» daba a entender que las galaxias están alejándose de nosotros. En 1929, Hubble fue más lejos al sugerir una ley reguladora de la relación entre la distancia de una galaxia respecto a la tierra y su velocidad de alejamiento. No sólo vivimos en un universo en expansión, sino que cuanto más

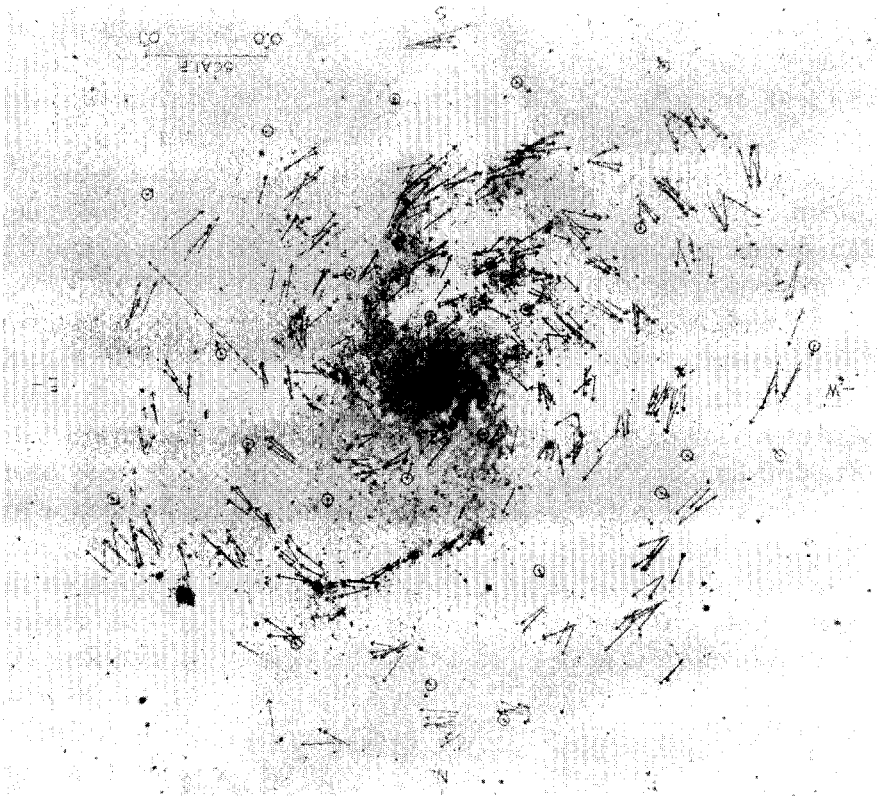


FIGURA 12.4. Observaciones de Van Maanen de movimientos nebulares internos.

lejos están las galaxias que vemos, más deprisa se alejan de nosotros.

Así pues, en la década de 1930 los astrónomos estaban en gran parte de acuerdo sobre el tamaño y la forma del universo y habían empezado a considerarlo como un sistema dinámico, no estático. Se admitía que la Vía Láctea era sólo una más de entre un número inmenso de galaxias similares, con la tierra y su sistema solar ubicados cerca de los bordes exteriores de uno de sus brazos en espiral. La galaxia habitada por los seres humanos dejó de ser para siempre el centro del universo. Con arreglo a ese punto de vista, sin duda podría entenderse que el cambio era realmente revolucionario en el mismo sentido en que lo fue la re-

volución copernicana. El que los participantes en el debate vieran o no el asunto en los mismos términos apocalípticos ya es otra cuestión.

El universo de Einstein

Las nuevas tecnologías y técnicas observacionales no fueron la única fuente de ideas y conocimientos sobre la forma del universo. Ciertos avances teóricos en la física a principios del siglo XX también tuvieron un impacto importante en el modo como los astrónomos interpretaban el cosmos. Según hemos visto, muchos historiadores de la física han calificado de revolucionarios los cambios acaecidos en la disciplina a principios del siglo XX. La tradicional cosmovisión asociada a Newton fue suprimida y sustituida por una física nueva, relativista (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). La idea de que el espacio y el tiempo eran absolutos, independientes de la ubicación y la velocidad del observador, fue abandonada y reemplazada por la de que el tiempo y el espacio estaban vinculados a esa ubicación y esa velocidad. La figura clave de esa transformación fue el físico alemán Albert Einstein. Sus teorías de la relatividad especial, publicada en 1905, y de la relatividad general (sobre sistemas con aceleración), publicada una década después, tuvieron un enorme impacto en la nueva disciplina de la física teórica. Los astrónomos reconocieron enseguida las repercusiones de las opiniones de Einstein y sus seguidores en el conocimiento de la estructura del universo (Pais, 1982). Al fin y al cabo, dos de las pruebas clave de la teoría de la relatividad general —el cambio anómalo en el perihelio (punto más cercano al Sol) del planeta Mercurio y la curvatura de la luz durante un eclipse observada por el astrónomo Arthur Eddington— eran de naturaleza astronómica.

El propio Einstein comprendió enseguida que sus teorías tenían importantes consecuencias para el modo como los astrónomos interpretaban el universo. En los años siguientes a su anuncio de la teoría de la relatividad general trató de hallar, para sus ecuaciones de campo relativistas, soluciones que proporcionaran una descripción estable de la estructura del universo. Éste, como lo describía Einstein en sus ecuaciones, tenía una geometría no euclidiana. En otras palabras, no

seguía las leyes de la geometría clásica según las cuales, por ejemplo, una línea recta es siempre la distancia más corta entre dos puntos. El espacio de Einstein era curvo. La solución a sus ecuaciones de campo era un espacio de cuatro dimensiones finito y sin límites. Esto podemos entenderlo por analogía con una esfera tridimensional. Una entidad que viviera en la superficie de una esfera así, y que se desplazara el tiempo suficiente en la misma dirección, volvería al punto de partida. En principio, sería posible recorrer todos los puntos de la superficie de la esfera. Esa superficie, por tanto, debía ser finita. Al mismo tiempo, la entidad no encontraría ningún límite en ningún tramo, de modo que la superficie tampoco tendría límites. Según Einstein, el universo de cuatro dimensiones era así. También estaba firmemente convencido de que debía ser estático, invariable en su estructura. Por consiguiente, introdujo un componente adicional —la constante cosmológica— en sus ecuaciones de campo para garantizar ese rasgo. Más adelante, Einstein describió de forma memorable la constante cosmológica como el mayor error que había cometido en su carrera de físico.

No todo el mundo se mostraba satisfecho con la solución de Einstein a sus ecuaciones de campo. En 1917, el astrónomo holandés Willem de Sitter propuso un modelo geométrico alternativo del universo que, en cualquier caso, también obedecía las ecuaciones de campo relativistas de Einstein. Tras estudiar en la Universidad de Groningen, De Sitter había pasado unos años trabajando en el Royal Observatory del Cabo de Buena Esperanza, Sudáfrica, antes de regresar a Holanda y finalmente llegar a ser profesor de astronomía de la Universidad de Leyden en 1908. Sus principales intereses investigadores residían en la mecánica celeste, pero a partir de 1911 le llamaron cada vez más la atención las repercusiones de la teoría de la relatividad en la astronomía. A diferencia del universo de Einstein, el modelo sugerido por De Sitter era infinito. Su equivalente en tres dimensiones sería una forma de silla de montar que se extendía hasta el infinito en todas direcciones. De Sitter estaba convencido, como Einstein, de que cualquier modelo del universo debía ser estático. Para preservar ese rasgo en su modelo tenía que presuponer que el cosmos no contenía materia. Con toda evidencia, el universo real no se ajustaba a ese supuesto, pero De Sitter sostenía que la densidad global de materia era suficientemente baja

para que su modelo procurara una aproximación razonable. A Einstein le preocupaba en especial ese aspecto de la solución de De Sitter a sus ecuaciones. La sugerencia de que era posible un universo sin masa parecía dar a entender que el propio espacio tenía propiedades absolutas, una idea contraria a su interpretación de la teoría de la relatividad.

El modelo de De Sitter del universo tenía en especial un rasgo que despertó el interés de algunos astrónomos, sobre todo del británico Arthur Eddington. Si en ese modelo matemático se introducían átomos a grandes distancias entre sí, parecía que, debido a la dilatación temporal, cualquier luz que aquéllos emitieran sería percibida con una frecuencia inferior a la que tuviera en realidad. Trasladado esto al universo real, la idea es que la luz procedente de fuentes lejanas se desplazaría al extremo rojo del espectro. Asimismo, parecía que masas de puntos introducidas en ese universo matemático hipotético empezarían a acelerar espontáneamente alejándose unas de otras como consecuencia de la constante cosmológica que De Sitter, igual que Einstein, había incorporado a su ecuación. En su *Mathematical Theory of Relativity* [Teoría matemática de la relatividad] publicada en 1923, Eddington señalaba que esos rasgos del modelo de De Sitter podían servir para resolver el problema de la gran velocidad radial (velocidad aparente lejos de la tierra) de muchas nebulosas espirales. En primer lugar, el modelo de De Sitter explicaba el movimiento aparente como el resultado de la tendencia general de los elementos de materia de su modelo a alejarse unos de otros. En segundo lugar, generalmente ciertos cálculos aproximados de la velocidad radial se basaban en medidas del cambio al extremo rojo del espectro (corrimiento al rojo) de objetos lejanos debido a la velocidad. Si De Sitter estaba en lo cierto, al menos parte del corrimiento observado se debía a la distancia y la dilatación del tiempo, más que a la velocidad, por lo que, después de todo, las nebulosas espirales no se alejaban a velocidades tan grandes (Smith, 1982).

Eddington hizo otro comentario al modelo de De Sitter: «A veces se objeta que el mundo de De Sitter se vuelve no estático en cuanto se introduce en el mismo alguna clase de materia. Pero esta propiedad quizá sea más favorable que desfavorable a su teoría». Eddington estaba

comenzando a adoptar la postura de que el universo acaso no era estático sino que estaba expandiéndose. En 1929, el astrónomo americano Edwin Hubble (fig. 12.5) presentó ante la Academia Nacional de Ciencias un informe en el que, basándose en diversas observaciones, ponía de manifiesto una relación lineal simple entre la velocidad radial y la distancia de las nebulosas espirales, relación que actualmente se conoce como ley de Hubble. Hubble afirmaba haber emprendido las investigaciones que desembocaron en la nueva generalización como un intento, al menos en parte, de verificar el modelo de De Sitter del universo. La mayoría de los astrónomos interpretaron que la ley de Hubble era una prueba concluyente a favor del universo en expansión (Crowe, 1994). A Einstein le preocupaba tanto la cuestión que llegó a visitar a Hubble en el observatorio del monte Wilson antes de anunciar, en 1930, que había abandonado la idea del universo estático y la constante cosmológica que llevaba aparejada. Sobre la visita de Einstein y su esposa al observatorio se cuenta una anécdota. Les enseñaron los telescopios, y a ella alguien le explicó que se utilizaban para descubrir la estructura del universo. Y Elsa Einstein respondió: «Vaya, vaya, pues mi esposo hace lo mismo en el reverso de un sobre viejo» (Berendzen *et al.*, 1976). La historia quizá sea falsa, pero aun así revela las crecientes diferencias intelectuales y profesionales entre teóricos y astrónomos observacionales y las distintas técnicas adoptadas para abordar las mismas cuestiones.

¿Big bang o estado estacionario?

En la década de 1930, los astrónomos y los físicos se mostraron cada vez más de acuerdo en que el universo parecía estar expandiéndose. Eso era lo que las ecuaciones de campo relativistas, privadas de la constante cosmológica, sugerían en principio. Fue también la conclusión que muchos sacaron de las observaciones de Hubble sobre la relación entre la velocidad y la distancia de las nebulosas espirales. Algunos teóricos comenzaron a plantear que si el universo se estaba expandiendo, debería haber tenido un inicio definido. Según ellos, si extrapoláramos retrospectivamente el actual ritmo de expansión del

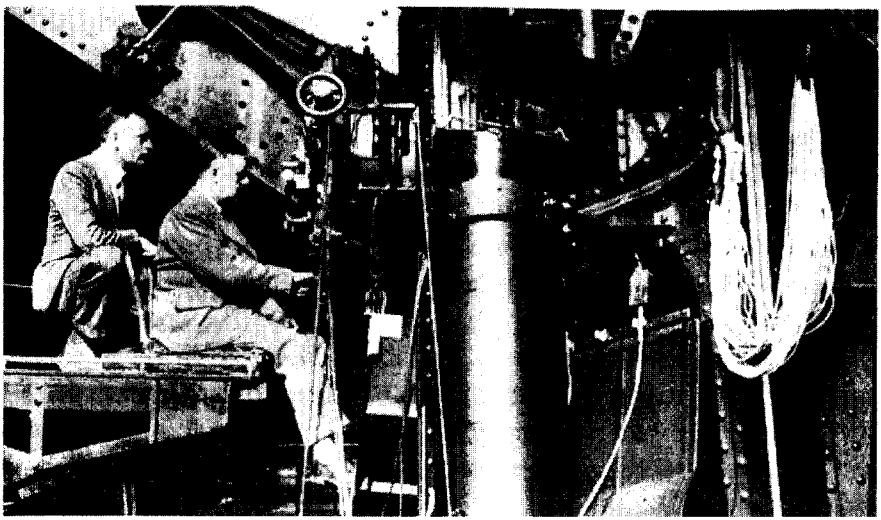


FIGURA 12.5. Edwin Hubble y James Jeans realizando observaciones astronómicas, *Fortune* (julio de 1932).

universo, sería posible llegar a un momento en el que toda la materia hubiera estado concentrada en un punto (Kragh, 1996). La explosión de ese punto representaba los orígenes del cosmos. A principios de la década de 1920, el físico soviético Alexander Friedman había propuesto un modelo matemático del universo en expansión. No obstante, ni el autor ni nadie sugirió que el modelo fuera otra cosa que una curiosidad matemática. En 1927, el astrónomo belga Georges Lemaître, alumno del astrónomo británico Arthur Eddington en Cambridge, antes de realizar su doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts dio efectivamente con un modelo del universo en expansión. De cualquier modo, no fue hasta la década de 1930 cuando se tomó en serio el modelo de Lemaître, que sugería que el cosmos había empezado siendo un solo átomo inmenso. Ese átomo único habría sido sumamente inestable y se habría descompuesto debido a «algún tipo de proceso super-radiactivo», lo que dio lugar a un universo en expansión (Kragh, 1996).

Durante la década de 1940, otro científico soviético, el físico nuclear George Gamow, se puso a trabajar en su propia versión de la teo-

ría del big bang sobre el universo y sus orígenes. El interés de Gamow por la cosmología arrancaba de sus investigaciones en mecánica cuántica y física nuclear. En 1928, Gamow había alcanzado cierta fama con su teoría de la fluctuación cuántica, que explicaba el hecho de que cierta materia radiactiva emitiera partículas alfa. Junto con colegas como Fritz Houtermans y Robert Atkinson, Gamow pronto llegó a la conclusión de que su teoría de la fluctuación cuántica podía servir también para ayudar a comprender procesos nucleares que tenían lugar dentro de las estrellas. Especialmente después del descubrimiento de nuevas partículas subatómicas a principios de la década de 1930, a las estrellas cada vez se las consideró más como un banco de pruebas para teorías nuevas en física nuclear (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). En la década de 1940, a Gamow le interesó sobre todo elaborar una teoría que explicara los orígenes de los elementos pesados, y como parecía cada vez más improbable que éstos se hubieran producido dentro de las estrellas, recurrió al big bang en busca de un marco alternativo. Primero sugirió que al principio el universo constaba de una sopa espesa y fría (hablando en términos relativos) de neutrones, que se expandió formando configuraciones más complejas que a la larga generaron los elementos químicos conocidos mediante la emisión de radiación beta. En 1948, junto con Ralph Alpher y Hans Bethe, Gamow presentó a *Physical Review* una versión revisada de su teoría del big bang (el denominado informe αβγ). En realidad, Bethe no había hecho una aportación importante al trabajo —se incluyó su nombre para conservar la «gracia» de αβγ—. En esa nueva versión, el universo había nacido a la vida como un gas de neutrones caliente y muy comprimido que con el tiempo se descompuso en protones y electrones, lo que a la larga originó el cosmos moderno.

Para muchos de sus primeros defensores, una buena razón para respaldar le teoría del big bang sobre el origen del universo era su trascendencia teológica. Mientras algunos, como el propio Gamow, eludían explícitamente los argumentos teológicos, otros los adoptaban. Edward Arthur Milne, profesor de matemáticas de la Universidad de Manchester y contumaz adversario de la teoría de Einstein de la relatividad, sostenía en 1947 que lo que no fuera un universo creado a partir de un único punto era una contradicción lógica. El matemático y fí-

sico Edmund Whittaker hizo afirmaciones similares; según él, saber que el universo tenía un inicio diferenciado en el tiempo demostraba la existencia de Dios como causa primera de aquél. Vale la pena señalar que Georges Lemaître, uno de los primeros astrónomos que elaboró una teoría física del big bang, era sacerdote católico. En 1951, el papa Pío XII dirigió una alocución a la Academia Pontificia de las Ciencias en la que aludió explícitamente a la teoría del big bang calificándola de refrendo científico de la postura de la Iglesia Católica. De acuerdo con el Papa, en las nuevas teorías cosmológicas no había nada nuevo para los cristianos; eran tan sólo una reafirmación de la primera frase del Génesis: «En el principio Dios creó el cielo y la tierra» (citada en Kragh, 1996).

La conexión explícita de la teoría cosmológica y la religión brindó al menos una explicación de lo incómodos que se sentían con la teoría del big bang los defensores de una alternativa cada vez más sólida: la denominada teoría del estado estacionario del universo, formulada por tres licenciados por Cambridge —Hermann Bondi, Thomas Gold y Fred Hoyle— a finales de la década de 1940, precisamente cuando estaban tomando forma las teorías de Gamow relativas al big bang. Hoyle, en concreto, era un ateo declarado para quien los análisis científicos resultaban incompatibles con las creencias religiosas y la teoría del big bang sólo tenía sentido en un contexto religioso. Según la nueva teoría de Bondi, Gold y Hoyle, el universo había existido desde siempre y siempre existiría. A medida que se expandía, se creaba continuamente materia nueva para sustentar la expansión. En dos trabajos publicados en la *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* en 1948, uno de Hoyle y el otro escrito conjuntamente por Bondi y Gold, expusieron los principios de su nueva teoría. En concreto introdujeron lo que Hoyle denominaba el «principio cosmológico amplio» y Bondi y Gold conocían como «principio cosmológico perfecto», según el cual el universo era homogéneo e invariable a gran escala a través del espacio y el tiempo. En 1949, Hoyle participó en una serie de programas radiofónicos de la BBC en los que explicó su teoría del estado estacionario. En 1950, las charlas se recogieron en un libro, *The Nature of the Universe* [La naturaleza del universo], que suscitó una gran controversia. Muchos astrónomos opinaban que la descripción

de Hoyle del estado de la cosmología había sido demasiado parcial y favorable a su propia teoría del estado estacionario.

Durante la década de 1950, la polémica y nueva teoría del estado estacionario llamó la atención de poca gente, especialmente fuera del círculo estrecho de Cambridge de sus defensores. Al mismo tiempo, diversos seguidores de la teoría del big bang hallaron nuevos argumentos teóricos que podían utilizar para abogar por la superioridad de su teoría. Muchos astrónomos mostraron poco interés por esas grandilocuentes teorías cosmológicas, que, a su juicio, tenían poca trascendencia para las tareas astronómicas cotidianas de observar y catalogar. Desde una perspectiva observacional, parecía haber pocas pruebas disponibles que ayudaran a escoger entre ambas teorías. A principios de la década de 1960, sin embargo, a los teóricos del big bang les pareció que nuevas medidas de la radiación de fondo del universo daban una clara ventaja a sus ideas sobre el origen del mismo. En 1961, el radioastrónomo de Cambridge Martin Ryle presentó los resultados del último estudio sobre fuentes de radio extragalácticas, según el cual la gama de energías de éstas respaldaban la teoría del big bang más que la del estado estacionario. Muchos seguidores de la primera (entre ellos el propio Ryle) consideraban que ése era otro paso hacia la eliminación de la segunda. Los defensores de la teoría del estado estacionario no estaban de acuerdo y sugerían que un perfeccionamiento del resultado de Ryle volvería a alinear con las predicciones de la teoría del estado estacionario. El descubrimiento de los cuásares en la primera mitad de la década de 1960 también parecía plantear un problema a la mencionada teoría. Por lo visto, esos objetos estelares sólo existían a enormes distancias en el tiempo y el espacio, observación que estaba en desacuerdo con el supuesto de la teoría del estado estacionario respecto a la homogeneidad del universo en el espacio y el tiempo.

Numerosas descripciones de astronomía y cosmología de los libros de texto presentan esas observaciones de la década de 1960 como si fueran refutaciones terminantes de la teoría del estado estacionario y clamorosas confirmaciones de la del big bang. Naturalmente, la realidad histórica es bastante más compleja. La mayoría de los partidarios de la teoría del estado estacionario —y por supuesto sus padres fundadores— seguían convencidos de que ésas no eran más que difi-

cultades domésticas que a la larga se resolverían mediante mejoras observacionales y teóricas. Hoyle, por ejemplo, planteó una teoría alternativa sobre la naturaleza física de los cuásares que permitía concebirlos como objetos locales y no lejanos. En la segunda mitad de la década de 1960, sin embargo, la teoría del estado estacionario era un ámbito crecientemente marginado en el que sus defensores parecían estar cada vez más enfrentados con las corrientes dominantes de su profesión. La controversia aún hoy se mantiene vigente. Hoyle y sus partidarios siguieron, y aún siguen, argumentando en favor del estado estacionario. Este episodio es un instructivo ejemplo de las dificultades (históricas y filosóficas) implicadas en la identificación de sucesos decisivos que determinan en exclusiva el resultado del debate científico. Lo que los teóricos del big bang consideraban medidas ad hoc cada vez más desesperadas para defender una teoría fallida y desacreditada eran, para los defensores del estado estacionario, simples perfeccionamientos adicionales de un marco muy fructífero y profundamente teórico además de sugerencias para nuevas elaboraciones.

Agujeros negros y el cosmos moderno

En el último cuarto del siglo XX, los cosmólogos lograron transformar su disciplina en una ciencia popular, aunque es cierto que había existido también una fuerte tradición cosmológica al menos desde principios de siglo (véase cap. 16, «Ciencia popular»). El proceso culminó en muchos aspectos con la publicación, en 1988, de *Historia del tiempo*, de Stephen Hawking. Durante buena parte del siglo, la mayoría de los astrónomos consideraron la cosmología —y en particular la cosmología teórica— como un asunto sumamente esotérico, muy distanciado de las preocupaciones de las corrientes dominantes en astronomía. Según un eminente astrónomo de principios de la década de 1960, «en cosmología hay sólo dos hechos y medio» (citado en Kragh, 1996). Los dos que él tenía en mente eran la percepción de que el cielo nocturno es oscuro y la observación de Hubble del retroceso de las galaxias. El «medio» hecho se refería a que el universo estaba evolucionando. El chiste era sintomático de una idea generalizada, entre los

astrónomos, de que los modelos teóricos conjeturados por los cosmólogos se basaban en muy pocas pruebas astronómicas concluyentes y, por tanto, no servían de mucho para entender fenómenos astronómicos conocidos. Desde principios de la década de 1960, también hubo cada vez más fenómenos que había que interpretar a medida que los astrónomos recurrían a nuevas tecnologías para examinar el cielo nocturno. Técnicas nuevas como la radioastronomía, basada en sistemas de vigilancia y aviso rápido desarrollados durante la segunda guerra mundial, generaron gran cantidad de información nueva que precisaba de una interpretación teórica (véase cap. 20, «Ciencia y guerra»). En la década de 1980, la nueva situación de un cosmos compuesto por diversos objetos singulares y desconocidos hasta la fecha, y de áreas en que se venían abajo las leyes conocidas de la física, despertaron el interés del público. Y a ello contribuyó un renovado auge de series de televisión de ciencia ficción como *Star Trek*.

A finales de la década de 1950 y principios de la de 1960, diversos astrónomos informaron de observaciones de objetos inusuales similares a estrellas que parecían tener propiedades específicas. En 1963, el astrónomo holandés Maarten Schmidt estudió el espectro de uno de esos objetos y llegó a la conclusión de que su luz estaba muy desplazada al rojo, lo que era indicativo de que se hallaba a una distancia inmensa. Eso también significaba que el objeto seguramente estaba liberando una enorme cantidad de energía. Posteriores observaciones indicaron que eso mismo sucedía con otras «estrellas de radio» que pronto fueron rebautizadas como «fuentes cuasiestelares» o, para abreviar, «cuásares». El hecho de que todas parecieran hallarse a distancias colosales era en sí mismo, como hemos visto, de gran importancia teórica, pues ponía en duda la viabilidad de la teoría del estado estacionario del universo. Diversos cosmólogos también intentaron averiguar cuál podía ser la fuente de las enormes cantidades de energía emitida por esos cuásares. A finales de la década de 1960, se sumó a la población cósmica otra misteriosa serie de objetos energéticos. En 1967, la licenciada Jocelyn Bell, que trabajaba en el observatorio de radioastronomía de Cambridge, observó un conjunto de señales regulares, aunque intermitentes, de origen desconocido. Dijo que destellaban como una «Belisha Beacon» (término popular para referirse a

la luz ámbar en un paso de peatones británico). Tras excluir todas las posibles fuentes terrestres de contaminación (y otras extraterrestres, entre ellas la de los hombrecitos verdes), ella y su director de tesis Anthony Hewish llegaron a la conclusión de que emitía las señales un objeto estelar desconocido hasta entonces que denominaron «púlsar». En 1974, Hewish y Martin Ryle, el director del observatorio radioastronómico de Cambridge, recibieron el premio Nobel por el descubrimiento de Bell.

En 1968, el teórico del estado estacionario Thomas Gold sugirió que los púlsares eran como estrellas de neutrones que giraban rápidamente. Varios cosmólogos teóricos habían pronosticado que acaso existieran entidades como las estrellas de neutrones debido a que estrellas de cierto tamaño encogían bajo la influencia de la gravedad a medida que, con el tiempo, se ralentizaba el impulso hacia fuera de su radiación. Empezaba a parecer como si algunos de los objetos desconocidos postulados por los cosmólogos pudieran tener equivalentes observacionales en el universo astronómico real. En 1916, el matemático alemán Karl Schwartzchild había propuesto una solución a las ecuaciones de campo relativistas de Einstein en las cuales había puntos en que la curvatura del espacio-tiempo se volvía infinita; en esos puntos, la fuerza de la gravedad también se tornaría infinita y no podría escapar luz alguna. Durante varias décadas, las especulaciones de Schwartzchild se consideraron curiosidades matemáticas interesantes hasta que, en la de 1960, el físico americano John Wheeler se puso a investigar las circunstancias en que podrían existir en el universo real. En 1968, Wheeler acuñó la expresión «agujero negro» para describir una estrella enorme que hipotéticamente había encogido bajo la fuerza de su propia gravedad y se había comprimido hasta tal punto que formaba una peculiaridad del tipo especificado por Schwartzchild. Las propiedades de esos agujeros negros llegaron a ser una cuestión cada vez más importante de la investigación teórica para una nueva generación de cosmólogos teóricos como Stephen Hawking, que en 1973 fue el primero en formular la hipótesis de que los agujeros negros podrían emitir radiación (Hawking, 1988).

A finales de la década de 1980, no sólo astrónomos profesionales sino también grandes sectores de la población cada vez estaban más

familiarizados con la fauna cosmológica de los agujeros negros, las estrellas de neutrones, las estrellas enanas blancas o los agujeros de gusanos. El superventas *Historia del tiempo*, de Stephen Hawking, tuvo mucho que ver en ese aumento del interés público por las teorizaciones cosmológicas. El best-séller de Hawking fue sólo la cresta de la ola de títulos similares, como *En busca de la frontera del tiempo*, de John Gribbin, o *God and the New Physics* [Dios y la nueva física], de P .C. W. Davies. Otro factor fue el éxito (final) del telescopio espacial Hubble, denominado así por el innovador astrónomo Edwin Hubble y concebido para transmitir al planeta Tierra imágenes del universo lejano de una nitidez sin precedentes hasta la fecha. Cuando la NASA lanzó por primera vez el telescopio al espacio en 1990, los astrónomos pronto repararon en que los importantes defectos de diseño en el espejo reflectante (tenía una forma errónea) lo volvían prácticamente inútil para lo que en principio había sido creado. No obstante, en cuanto se corrigieron esos fallos, los telespectadores del mundo occidental fueron bombardeados por imágenes espectaculares del cosmos remoto comparables a las perspectivas espaciales de ficción observadas a través de la visionadora del puente de mando de la nave espacial *Enterprise* de *Star Trek* (Smith, 1993). El resultado fue que buena parte del otrora léxico para iniciados de la cosmología teórica se incorporó al vocabulario cotidiano de sectores importantes de la población, al menos de Europa y Norteamérica.

Conclusiones

En el transcurso del siglo XX, el universo se transformó hasta volverse irreconocible. A finales del siglo XIX, en general, se consideraba que el espacio y el tiempo eran categorías absolutas, de propiedades inmutables e invariables con independencia de la posición y la velocidad del observador. Pocos astrónomos, si acaso alguno, contemplaban en serio la posibilidad de un universo que —en función de sus contenidos observables, en todo caso— se extendiera mucho más allá de lo visible utilizando la tecnología entonces existente. A efectos prácticos, el universo era sinónimo de Vía Láctea. Esa idea cambió radical-

mente en las primeras décadas del siglo XX. Nuevas técnicas y tecnologías —así como nuevas cosmovisiones teóricas— permitieron a los astrónomos obtener estimaciones convincentes de distancias estelares. El resultado final fue que la Vía Láctea era sólo una galaxia relativamente vulgar entre un sinnúmero de otras galaxias. La teoría de Einstein de la relatividad general dio un nuevo sentido a la cuestión de la forma del universo. Ciertas consideraciones extraídas de las teorías de Einstein indujeron a los cosmólogos teóricos a pensar en la edad y la duración del universo de manera distinta. Aproximadamente al mismo tiempo, nuevas pruebas observacionales llevaron a los astrónomos a replantearse su visión del universo como una entidad inalterable y estática en gran parte. Al iniciarse el siglo XXI, el universo era un lugar muy diferente —habitado por bestias muy distintas— del de principios del siglo XX.

Así pues, volviendo a nuestra conocida pregunta, ¿era eso una revolución? En muchos aspectos parece difícil evitar la conclusión de que sí lo fue. Desde luego, no cabe ninguna duda de que durante el siglo XX tuvo lugar una rigurosa puesta a punto de los conocimientos de los astrónomos sobre la naturaleza del universo y el lugar físico de la humanidad en el mismo. Asimismo, no obstante, las complejidades de la historia resumida aquí son una indicación de las dificultades implicadas en la imposición de una categoría tal en el pasado. Aunque puede parecer relativamente obvio que se produjo un cambio significativo a lo largo del siglo aproximado que abarca este capítulo, sería mucho más difícil determinar con exactitud qué hecho o momento concreto fueron decisivos. Sería igual de difícil identificar también una idea teórica nueva o un descubrimiento o técnica observacional que fueran el desencadenante crucial de una transformación de ese tipo en la visión del mundo. Para examinar avances en las instituciones y estructuras profesionales de la astronomía y la física, amén de otras modificaciones en ideas y prácticas, haría falta una descripción completa de los cambios en los conocimientos cosmológicos aquí perfilados. Deberíamos analizar también la formación recibida por las nuevas generaciones de astrónomos y el material y los recursos de que han dispuesto. Resumiendo, si hubo alguna revolución cosmológica, tendríamos que contemplarla como

una revolución en la cultura de la cosmología tanto como en sus contenidos.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Barnes, Barry, *Scientific Knowledge and Sociological Theory*, Routledge, Londres, 1974.

Berendzen, R., R. Hart y D. Seeley, *Man Discovers the Galaxies*, Science History Publications, Nueva York, 1976.

Collins, Harry, *Changing Order*, Sage, Londres, 1985.

Crowe, Michael J., *Modern Theories of the Universe: From Herschel to Hubble*, Dover, Nueva York, 1994.

Hawking, Stephen, *A Brief History of Time*, Bantam, Londres, 1988 (hay trad. cast.: *Historia del tiempo*, Crítica, Barcelona, 2003).

Hoskin, Michael, *William Herschel and the Construction of the Heavens*, Norton, Nueva York, 1964.

Jackson, M., *Spectrum of Belief: Joseph von Fraunhofer and the Craft of Precision Optics*, Harvard University Press, Cambridge, 2000.

Jaki, Stanley, *Planets and Planetarians: A History of Theories of the Origins of Planetary Systems*, Scottish Academic Press, Edimburgo, 1978.

Kragh, H., *Cosmology and Controversy: The Historical Development of Two Theories of the Universe*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1996.

Kuhn, Thomas S., *The Structure of Scientific Revolutions*, University of Chicago Press, Chicago, 1962 (hay trad. cast.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, Madrid, 2005).

—, *The Copernican Revolution*, University of Chicago Press, Chicago, 1966 (hay trad. cast.: *La revolución copernicana: la astronomía planetaria en el desarrollo del pensamiento occidental*, Ariel, Barcelona, 1996).

Pais, Abraham, *Subtle Is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein*, Clarendon Press, Oxford, 1982 (hay trad. cast.: *El señor es sutil: la ciencia y la vida de Albert Einstein*, Ariel, Barcelona, 1984).

Smith, R., *The Expanding Universe: Astronomy's «Great Debate», 1900-1931*, Cambridge University Press, Cambridge, 1982.

—, *The Space Telescope*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.

13

La aparición de las ciencias humanas

¿Es posible estudiar la sociedad y la naturaleza humanas mediante los métodos de la ciencia? En el siglo XVII, casi nadie habría aceptado esa posibilidad. La religión cristiana enseñaba que el espíritu humano era de origen sobrenatural, de modo que sus facultades mentales y morales estaban fuera del alcance de la ley natural y, en consecuencia, eran ajenas al ámbito de la ciencia. Descartes basó su compromiso con la filosofía mecanicista de la naturaleza en el supuesto de que la mente humana estaba totalmente separada del mecanismo del cuerpo. Debido a esa postura dualista, el estudio de la mente y las interacciones sociales correspondía a los filósofos y moralistas, no a los científicos.

Hay otras maneras de explicar por qué las ciencias humanas o conductuales no pudieron surgir en el período que siguió a la revolución científica. Según el historiador Michel Foucault (1970), sólo después de la aparición en el siglo XIX del Estado moderno fue posible reconocer la conducta humana como algo que había que comprender y controlar. Era preciso identificar a los desviados sociales (como los definía el Estado) y encerrarlos en cárceles y hospitales mentales. Había que vigilar y educar a las masas para que encajaran en la nueva sociedad industrial. Está muy claro que la aparición de la psicología, la antropología y la sociología como disciplinas científicas independientes debe muchísimo a la utilidad que podían darle los dirigentes de la industria y del Estado moderno. Sin embargo, el proceso de su crea-

ción fue lento. Como esferas de interés, estaban bien definidas a mediados del siglo XIX, si bien se hallaban todavía muy vinculadas a sus orígenes en la filosofía y la teoría moral. La fundación de disciplinas académicas con pretensiones científicas no tuvo lugar hasta las primeras décadas del siglo XX.

El problema era que había otros métodos para intentar comprender la conducta humana en términos científicos. El ataque más evidente contra la separación cartesiana de la mente y el cuerpo llegó de los partidarios del materialismo y de lo que ahora denominaríamos una metodología del reduccionismo. Alentados por la esperanza de que se conociera cada vez más el funcionamiento del cuerpo gracias a los métodos de investigación científica, predijeron que el sistema nervioso y el cerebro podían entenderse en términos parecidos. Para los materialistas, la mente no era más que un subproducto de la actividad del cuerpo —y era posible estudiar la sociedad mediante una simple extensión del mismo enfoque que incluyera las interacciones entre las mentes individuales—. Las teorías evolutivas reforzaban la misma esperanza: si los seres humanos habían surgido de los animales, podían ser interpretados siguiendo los mismos parámetros que en el caso de los animales o, al menos, ampliando las categorías de la naturaleza para que incorporaran los nuevos niveles de conciencia que aparecían a medida que el progreso generaba estructuras más complejas. Esas ideas trastornaron profundamente los modos tradicionales de pensamiento y fueron adoptadas por los radicales que pretendían echar abajo o reconfigurar los cimientos del orden social (véase cap. 18, «Biología e ideología»).

Indudablemente, el planteamiento reduccionista desempeñó un papel importante en las primeras fases de la aparición de las modernas ciencias humanas o conductuales. En el siglo XIX, el filósofo Herbert Spencer se valió de la perspectiva evolucionista para hacer importantes aportaciones a los ámbitos de la psicología y la sociología. Spencer también estaba al tanto de los nuevos avances en neurofisiología. Pero el problema de la óptica reduccionista era que podía ser aprovechada fácilmente para negar toda autonomía al estudio de la naturaleza humana. Si somos simplemente máquinas, no hace falta crear ciencias independientes dedicadas a comprender las actividades humanas

mentales y sociales. Las etapas finales de la consolidación de las ciencias humanas no surgieron del reduccionismo sino de una reacción deliberada contra el mismo. A finales del siglo XIX, se desarrollaron técnicas experimentales para estudiar procesos mentales sin hacer referencia a los correspondientes procesos fisiológicos del cerebro. Poco después de 1900, los psicólogos comenzaron a rechazar el modelo propuesto por el evolucionismo y a insistir en que el estudio de la conducta tenía que ser una disciplina científica autónoma. Ese rechazo de la biología cumplió una importante función en la institucionalización de la psicología en el sistema académico. Al mismo tiempo, los antropólogos y los sociólogos también organizaron una revuelta contra la biología: recalcaban que los modelos evolutivos no brindaban ideas apropiadas sobre el funcionamiento de las sociedades y culturas humanas. La aparición de las ciencias sociales como disciplinas independientes se produjo gracias a un rechazo deliberado del modelo que habría vuelto científicos esos estudios sólo si se hubieran subordinado a la biología y, en última instancia, a la física y la química (para visiones de conjunto más modernas, véase Smith [1997]; Porter y Ross [2003]).

La psicología se hace ciencia

En un principio, el estudio de los procesos mentales formaba parte de la filosofía. Los esfuerzos para entender el funcionamiento de la mente humana se basaban en la introspección y el intento autorreflexivo del filósofo de analizar sus pensamientos y sensaciones. Se daba por supuesto que muchas de esas funciones radicaban fuera del ámbito de la ley natural: la facultad moral o conciencia, por ejemplo, dependía del libre albedrío, aparentemente la mera antítesis del funcionamiento determinista del mundo físico. Eso no significaba que el filósofo no pudiera extraer conclusiones sobre la naturaleza de la mente, aunque dejaba el terreno libre para espectaculares diferencias de opinión a medida que surgían escuelas filosóficas nuevas. A finales del siglo XVII, la filosofía «sensacionalista» de John Locke transformó el empirismo de la revolución científica en una prestigiosa teoría de cómo funcionaba la mente. Para Locke y sus seguidores, la mente de un niño

pequeño era una pizarra en blanco, una tábula rasa, en la que la experiencia escribía para generar un conocimiento de las leyes de la naturaleza y de los hábitos necesarios para funcionar en los mundos natural y social. Sensaciones que normalmente aparecían juntas se conectaban mediante la «asociación de ideas» para procurar pautas de conducta y pensamiento habituales en el individuo que las experimentaba. Esa filosofía empirista consideraba que la mente era una máquina de aprender, si bien no especificaba los mecanismos cerebrales responsables de los procesos mentales que presuponía.

A finales del siglo XVIII, filósofos políticos como Jeremy Bentham estaban creando un sistema social reformista conocido como utilitarismo basado en la psicología asociacionista (Halévy, 1955), según la cual los individuos estarían adaptados a su entorno social al explotar su deseo de placer y su aversión al dolor para condicionar sus hábitos con arreglo a los fines deseados por sus gobernantes. Éstos, si fueran progresistas, modificarían las leyes para fomentar una sociedad en la que la conducta individual contribuyera a la «mayor felicidad para el mayor número». Así pues, la psicología asociacionista acabó vinculada al sistema liberal de la libre empresa favorecido por las clases medias en ascenso. La «ciencia oscura» de la economía política intentaba definir los límites en la mejora social impuestos por el mundo natural. El principio de la población de Thomas Malthus, que tan gran impacto causó en Darwin, surgió de ese intento de sintetizar lo que en la actualidad denominamos psicología, sociología y economía.

La tradición sensacionalista/asociacionista no se vio libre de oposición. Algunos filósofos, entre ellos Descartes, creían que, ya desde su creación, la mente individual contenía ideas innatas que no necesitaban ser generadas por la experiencia. Eso establecía un curioso paralelismo con los estudios de muchos naturalistas, convencidos de que los animales habían sido creados con patrones de conducta instintiva concebidos para la adaptación al entorno (igual que habían sido diseñados con las adaptaciones físicas adecuadas). Así pues, la mente era mucho más que una máquina de aprender, punto de vista que llevó mucho más lejos el filósofo Immanuel Kant, que sostenía que en realidad la mente impone las categorías de espacio y tiempo en el flujo de sensaciones que recibe. Esa postura generó la popular filosofía idealista

de la Alemania del siglo XIX, según la cual la mente desempeña un papel activo en la creación del mundo externo que experimenta. El sensacionalismo y el idealismo definieron dos percepciones radicalmente distintas que serían objeto de debate a lo largo de los siglos siguientes: la imagen de la pasiva máquina de aprender frente al modelo más activo en que la mente tiene una estructura que predetermina cómo percibirá e interaccionará con el mundo exterior.

Nuevos avances en las ciencias biológicas brindaron modos de resolver ese conflicto, pero sólo a un precio que los pensadores conservadores no estaban dispuestos a pagar. A la metodología reduccionista recurrieron los materialistas radicales, para quienes la mente era tan sólo un subproducto de las actividades físicas que tenían lugar en el cerebro y el sistema nervioso. En tal caso, el cerebro individual podría tener ciertos patrones predeterminados establecidos en la estructura heredada de los padres, pero también la capacidad de aprender de la experiencia al relacionar impulsos nerviosos que se produjeran rutinariamente juntos. A principios del siglo XIX, el movimiento conocido como frenología se valió de las repercusiones de que el cerebro fuera el órgano de la mente para lanzar un mensaje social radical. Como se describe en el capítulo «Biología e ideología», ese intento de llevar la psicología al mundo de la ley natural fue marginado por la élite de la comunidad científica, si bien conservó un considerable atractivo popular. Un pensador inspirado en la frenología fue Herbert Spencer, que estaba decidido a crear una nueva filosofía social para la época del agresivo capitalismo de la libre empresa. Spencer pronto se dio cuenta de que la teoría lamarckiana de la evolución ofrecía una posibilidad aún mejor de salir del punto muerto en el que se encontraba la psicología filosófica. En sus *Principles of Psychology* [Principios de psicología] de 1855 (cuatro años antes del *Origen de las especies* de Darwin) sugirió una teoría evolutiva de la mente que ligaba la autosuperación individual a la idea general del progreso biológico y social (Richards, 1987; Young, 1970). Spencer reparó en que si podía aplicarse a la mente la teoría lamarckiana de la herencia de rasgos adquiridos, entonces las características mentales adquiridas —hábitos aprendidos por los individuos de una generación— podían traducirse en instintos heredados automáticamente por sus descendientes. Nue-

vos hábitos e incluso nuevas capacidades mentales desarrolladas por la iniciativa y la actividad individuales llegarían a ser rasgos permanentes de la especie. Por tanto, el progreso mental y, en última instancia, social era inevitable como consecuencia de millones de acciones individuales de autosuperación.

Aunque Darwin trató de captar la atención hacia su teoría de que la selección natural podía actuar para transformar instintos y también rasgos físicos, a finales del siglo XIX predominó la idea lamarckiana de Spencer de la evolución mental (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»; véase también Boakes, 1984). Incluso George John Romanes, discípulo de Darwin en el ámbito de la evolución mental, aceptó la explicación lamarckiana de los instintos. Romanes respaldó asimismo otra teoría muy relacionada con el lamarckismo: la visión recapitulacionista del desarrollo individual que reproducía la historia evolutiva del género (Gould, 1977). Según ese modelo, el desarrollo psicológico del niño atravesaba fases equivalentes a la serie ascendente de mejoras mentales adquiridas por las especies animales en el largo progreso de la evolución hacia la especie humana.

Así pues, el evolucionismo brindaba a la psicología la oportunidad de ser considerada una rama de la ciencia más que de la filosofía, pero sólo si la nueva disciplina seguía el camino marcado por la biología. En su libro *Adolescence* [Adolescencia] (1911), el psicólogo americano G. Stanley Hall entendía que los traumas psicológicos de los adolescentes correspondían a una etapa clave de la evolución mental. Los animales se convirtieron en los modelos de los procesos mentales humanos, aunque las características mentales de los animales se exageraban a menudo, pues se dependía de datos anecdóticos aportados por observadores sin formación. La conducta tanto de los seres humanos como de los animales se explicaba en función de instintos, incluidos los sociales, determinados por el proceso de la evolución. Si conocía esos instintos, el psicólogo podía ofrecer a los gerentes de la industria y el Estado una nueva herramienta para controlar a la población laboral. A principios del siglo XX, algunos psicólogos americanos se valieron de los recién creados cuestionarios de inteligencia para aportar lo que parecían pruebas convincentes de una extendida deficiencia mental entre las clases inferiores (Gould, 1981). Ese dato fue muy ci-

tado para apoyar las afirmaciones del movimiento eugenésico en el sentido de que el Estado debía limitar la reproducción de los genéticamente «no aptos» (véase cap. 18, «Biología e ideología»).

Muchas historias convencionales en psicología (por ejemplo, Boring, 1950) son con frecuencia bastante evasivas respecto al conjunto del desarrollo de los acontecimientos y prefieren concentrarse en un hecho paralelo acaecido en Alemania que supuestamente sentó las bases de un enfoque experimental del estudio de la conducta. En las décadas centrales del siglo XIX, diversos fisiólogos alemanes habían comenzado a estudiar el funcionamiento del sistema nervioso sensorial, y en 1879 Wilhelm Wundt creó en Leipzig un laboratorio dedicado a una «psicología fisiológica» en el que se examinaban los procesos mentales de individuos humanos mediante aparatos mecánicos para controlar la presentación de estímulos sensoriales y el registro de las respuestas. El propio Wundt anunció que la psicología había llegado por fin a ser una ciencia por derecho propio, y sus discípulos trasladaron el planteamiento experimental a otros países, en especial a América. Sin embargo, la tradición que considera su laboratorio como la piedra angular de la psicología experimental moderna pasa por alto el hecho de que el mismo Wundt todavía alentaba la introspección como método válido para estudiar las facultades humanas superiores, mientras muchos otros psicólogos seguían adoptando abiertamente el enfoque más filosófico aún visible en los escritos de Spencer y los evolucionistas. Un ejemplo famoso es el de William James, cuyo *Principles of Psychology* [Principios de psicología] de 1890 llegó a ser un texto clásico para los que acogían con agrado las nuevas técnicas pero no querían que éstas acabaran con las viejas.

El resultado fue una lucha prolongada entre los que mantenían los vínculos tradicionales de la psicología con la filosofía y la teoría moral y los «jóvenes turcos» dispuestos a crear una disciplina nueva que tendría todos los atributos de una verdadera ciencia. Hacia 1900, la psicología empezaba a adquirir una identidad que la separaría de la filosofía, pero entre quienes la practicaban había diferencias sobre lo lejos que debía llevarse esa separación en los niveles intelectual y metodológico. Se estaban creando publicaciones, sociedades y departamentos universitarios, pero los grupos de intereses en competencia forcejeaban

por controlar el incipiente aparato de poder académico. En parte debido a ese conflicto, la psicología como ciencia tardó bastante tiempo en institucionalizarse. Los obstáculos se superaron más rápidamente en Estados Unidos, donde la expansión del sistema universitario en torno a 1900 facilitó la formación de departamentos nuevos. Pronto hubo más laboratorios de psicología en América que en Alemania. En Gran Bretaña, la creación de un marco académico para la psicología también fue lenta —en la década de 1920 sólo había media docena de cátedras—. La fundación, en 1892, de la Asociación Psicológica Americana se anticipó en doce años a la de la Sociedad de Psicología Experimental en Alemania y en nueve a la de la Asociación Psicológica Británica (Cravens, 1978; Degler, 1991).

Al final, no obstante, la creación de la psicología como disciplina independiente acabó basándose en la afirmación de que era una ciencia experimental, no una rama de la filosofía ni de la biología evolutiva. Desde aproximadamente 1910 en adelante, en los libros de texto de psicología empezó a predominar la retórica del rigor experimental. Una de las manifestaciones más visibles y controvertidas de ese movimiento fue la psicología conductista, que inicia en América John B. Watson con su artículo de 1913 titulado «La psicología como la ve el conductista». Para distanciarse de la introspección original, Watson insistía en que había que excluir de la psicología el concepto global de conciencia; sólo debía tener en cuenta los aspectos observados de la conducta. Watson también rechazaba el modelo evolutivo. Aunque él y sus seguidores estaban a favor de los animales como modelos de la conducta humana, no se valían de la idea de una secuencia evolutiva. Las ratas manipuladas para que adquirieran hábitos nuevos en los experimentos clásicos del laberinto eran sólo máquinas de aprender; quizá resultaban más simples que los seres humanos, pero funcionaban de acuerdo con los mismos principios (fig. 13.1). Los impulsos biológicos (para encontrar comida, etcétera) utilizados para procurar recompensas y castigos eran comunes a todos los organismos, incluidos los seres humanos, y tenían poco interés para el psicólogo. El impacto del conductismo, incluso en América, se ha exagerado, si bien en la década de 1930 un planteamiento en general experimentalista había acabado con los restos de los orígenes en la filosofía y la teoría

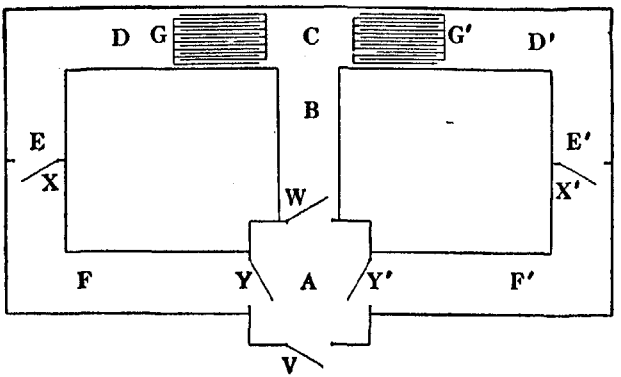


FIGURA 13.1. Diagrama de un laberinto utilizado para realizar experimentos sobre conducta animal, de *An Introduction to Comparative Psychology* (1914), p. 87, de John B. Watson. El animal empieza en C y ha de progresar hasta la caja de A y decidir su recorrido con arreglo al estímulo recibido, en este caso sonidos alternos procedentes de diapasones. Si escoge la ruta correcta, consigue comida en F antes de llegar a la caja, pero si elige la errónea, sufre una descarga eléctrica en las rejillas de castigo de G. Lógicamente, los animales pronto aprenden qué recorrido vincula el experimentador a cada tono.

moral. El nuevo enfoque dominaba la psicología científica porque reforzaba la idea de que la disciplina ofrecía un medio para explicar y controlar la conducta humana. Cuando Watson abandonó la vida académica tras un escándalo acaecido en 1920 (tuvo una aventura amorosa con una alumna), empezó a trabajar en la industria de la publicidad, en Madison Avenue. Su visión de la naturaleza humana brindaba la posibilidad de influir en los consumidores mediante el diseño científico de los estímulos presentados en los anuncios. Esa percepción fue caricaturizada por Aldous Huxley en su novela *Un mundo feliz* (1932), en la que se condicionada a una futura especie humana para que aceptara una jerarquía social rígida mediante la aplicación de la manipulación psicológica de corte conductista.

Sin embargo, para complicar más la situación surgió una corriente que rivalizaba con la «nueva» psicología, que estaba igualmente deseosa de distanciarse de la vieja tradición pero obtenía sus datos de la psi-

quiatría y el estudio de las enfermedades mentales más que de los experimentos. Se trataba de la psicología analítica, iniciada por Sigmund Freud y adoptada por sus discípulos (y con el tiempo rivales) Alfred Adler y Carl Jung. Freud había comenzado su carrera estudiando el sistema nervioso de diversos animales, pero pronto pasó a la psicología clínica y se interesó por la posibilidad de que las conductas desviadas se debieran a conflictos entre la mente consciente y un estrato oculto de impulsos y deseos inconscientes. Acabó convencido de que el subconsciente es un depósito del lado más recóndito de la personalidad, accionado por impulsos sexuales que la mente consciente se esfuerza por reprimir. Las neurosis eran simplemente enfermedades psicológicas sin ninguna base en trastornos del sistema nervioso: se debían exclusivamente a conflictos que surgían entre los niveles mentales consciente e inconsciente. Tras experimentar con drogas e hipnotismo como medio para resolver esos conflictos, al final Freud desarrolló su técnica de análisis mediante la asociación libre, lo que permitía al paciente poner al descubierto sus sentimientos ocultos a través de la relajación controlada de los límites normales en el diván del analista.

Como los conductistas, Freud y sus seguidores reiteraban decididamente que se habían liberado del yugo de la biología para crear una ciencia autónoma de la psicología. De cualquier modo, el enfoque analítico no era «científico» porque utilizaba experimentos y desde luego no rechazaba la idea de conciencia. La afirmación de que era una ciencia se basaba en su disposición a poner en entredicho opiniones convencionales sobre la naturaleza humana y hacer frente a las desagradables verdades que revelaba un estudio sincero del subconsciente. De hecho, como se explica en «Biología e ideología» (cap. 18), era otro producto más del modelo evolutivo, con el añadido del pesimista supuesto de que los niveles conscientes de la mente más evolucionados acaso no fueran capaces de controlar los instintos animales más antiguos aún presentes en el subconsciente (Sulloway, 1979). El que fuera verdaderamente una ciencia era entonces una cuestión abierta y aún hoy es objeto de debate (véase Cioffi, 1998; Webster, 1995). La visión de Freud del subconsciente tuvo una enorme repercusión en el pensamiento del siglo XX y fue ampliamente utilizada como fundamento de la psicoterapia, pero no logró ganarse un sitio en los depar-

tamentos académicos de psicología vinculados a la visión alternativa, experimentalista, de la futura disciplina. Para los críticos, las ideas de Freud eran un producto de su imaginación proyectado en la conducta trastornada de sus pacientes. No existía ningún método objetivo para verificar su particular percepción del subconsciente, y el movimiento que creó se disolvió enseguida, cuando Adler y Jung elaboraron interpretaciones opuestas sobre nuestros impulsos y deseos ocultos. Según muchos críticos actuales, el movimiento analítico representa un planteamiento falto de todo rigor científico, que mereció cierto crédito sólo porque en su óptica pesimista de la situación humana resonaban las inquietudes culturales de principios del siglo XX.

Antropología y el estudio de las culturas no occidentales

El paradigma evolutivo ejerció una influencia especialmente importante en la percepción que los pensadores occidentales tenían de otras culturas y sociedades. En las primeras décadas del siglo XIX, llegó a ser comúnmente aceptado que la sociedad europea moderna había evolucionado desde orígenes primitivos: tribus de cazadores-recolectores habían inventado la agricultura y, con el tiempo, fundado grandes imperios, actualmente sustituidos por la civilización industrial moderna (Bowler, 1989). Para los pensadores liberales como Spencer, el progreso social y cultural era consecuencia de iniciativas y proyectos individuales a lo largo de generaciones. En la década de 1860, la perspectiva evolutiva de la cultura se vio enormemente reforzada por diversos descubrimientos en arqueología prehistórica, los cuales confirmaron que había existido una larga Edad de Piedra anterior a la aparición de sociedades más estructuradas. Pero, a falta de pruebas aparte de las herramientas de piedra, ¿cómo reconstruirían los arqueólogos europeos las culturas de sus antepasados lejanos?

Para los colonizadores y comerciantes europeos (y pronto americanos) que extendían su influencia por el mundo, la respuesta a la pregunta anterior parecía evidente. En lugares como la India, se encontraron con imperios que recordaban a los de Egipto y Roma, cuya historia les resultaba familiar. En regiones más remotas, como Austra-

lia, vieron «salvajes» que aún vivían en la Edad de Piedra. Por tanto, se recurrió a la antropología, el estudio de otras culturas, para reafirmar la secuencia evolutiva: los salvajes eran vestigios culturales del pasado, paralizados en una fase del desarrollo que los europeos habían recorrido hacía miles de años (Burrow, 1966; Stocking, 1968, 1987). Para Edward B. Tylor, el primer antropólogo académico que dio clases en Gran Bretaña (Oxford) y Lewis Henry Morgan, que había estudiado lenguas indias americanas, parecía obvio que había una jerarquía lineal de la evolución cultural, que la raza blanca había ascendido más deprisa dejando a las razas «inferiores» atascadas en los niveles más tempranos de la secuencia. Según el arqueólogo John Lubbock, firme partidario de Darwin, las razas culturalmente primitivas también eran más primitivas desde el punto de vista biológico —no mucho más evolucionadas que los hombres mono cuyos restos hallados en fósiles completarían a la larga el «eslabón perdido» de los orígenes humanos (fig. 13.2)—. Pocos de esos antropólogos se aventuraban por países extranjeros en busca de información sobre los pueblos cuyas culturas menospreciaban tan alegremente. Confiaban en los informes de comerciantes, soldados y misioneros, las opiniones de los cuales desde luego reflejaban los prejuicios de los colonizadores blancos que estaban conquistando y, en algunos casos, prácticamente exterminando a los salvajes con que se tropezaban.

Así pues, la antropología alcanzó cierta notoriedad como disciplina, pero seguía siendo una subdivisión de un proyecto más amplio definido por la vieja tradición filosófica modernizada por el evolucionismo. El clásico *La rama dorada*, de James George Frazer (que se popularizó tras la publicación, en 1900, de una versión condensada en tres volúmenes), llevó el modelo evolutivo a un público más amplio al interpretar los mitos clásicos de Grecia y Roma como supervivientes de una era anterior. Aún había pocos antropólogos profesionales: la mayoría de los estudios sobre los pueblos nativos de Norteamérica, por ejemplo, los llevaron a cabo científicos que trabajaban para el Departamento de Etnología, creado por John Wesley Powell, de la Oficina Geológica de Estados Unidos.

La transición a una disciplina académica independiente llegó, igual que en la psicología, gracias a un intento deliberado de romper

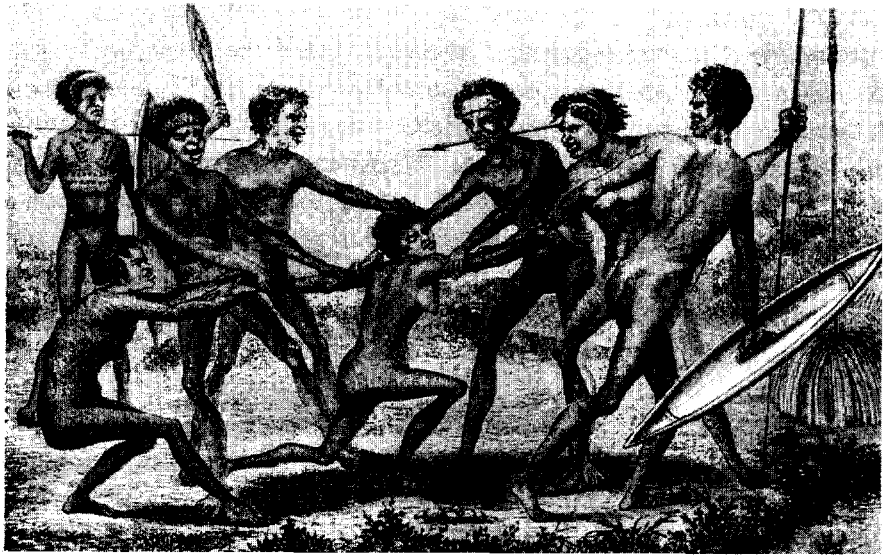


FIGURA 13.2. Ceremonia matrimonial de aborígenes australianos, frontispicio de *The Origin of Civilization and the Primitive Condition of Man* (1870), de John Lubbock. La ceremonia incluye una «captura» simbólica de la mujer de otra tribu, lo que para Lubbock era una señal clara de que los aborígenes todavía conservaban los instintos de nuestros antepasados primitivos.

las ataduras del evolucionismo. Donde ese cambio se produjo más bruscamente fue en América, cuando el inmigrante alemán Franz Boas creó, en la Universidad de Columbia, un sólido departamento para posgraduados con la finalidad de formar antropólogos especialistas (Cravens, 1978). Boas insistía en el trabajo de campo según la tradición moderna: el antropólogo tenía que vivir con la cultura escogida para absorber sus complejidades a través de la experiencia directa. Rechazaba el concepto de jerarquía evolutiva, haciendo hincapié en que todas las culturas debían ser tratadas como respuestas igual de complejas a una necesidad humana básica. También se oponía a la afirmación de que la cultura estaba predeterminada por instintos biológicos. Como los conductistas en psicología, recalcaba que el aprendizaje prevalecía sobre la herencia biológica. La cultura era un nivel diferenciado de actividad que no se podía explicar en términos biológicos. En

palabras de Hans Kroeber, discípulo de Boas, la cultura era lo «superorgánico». Uno de los alumnos más prestigiosos de Boas fue Margaret Mead, cuyo *Adolescencia y cultura en Samoa* (1928) puso explícitamente en entredicho la opinión de G. Stanley Hall de que el trauma adolescente tenía origen biológico. Mead aseguraba no haber observado ningún trauma así en los adolescentes samoanos, lo que daba a entender que los efectos estudiados por Hall resultaban de la represión sexual en la cultura occidental. Boas y sus alumnos también entraron en conflicto con los biólogos, que aún defendían la idea de que las razas no blancas eran genéticamente inferiores a los europeos.

A principios del siglo XX, en Gran Bretaña hubo un rechazo parecido al modelo evolutivo lineal (Stocking, 1996). El resultado final de esa reacción fue una escuela de antropología conocida como funcionalismo encabezada por el inmigrante polaco Bronislaw Malinowski, que en la década de 1920 dio clases en la London School of Economics. Los funcionalistas estudiaban las sociedades a través de un intensivo trabajo de campo, con el objetivo de entender cómo las culturas ayudaban a la gente a hacer frente a su entorno físico y económico. Acercaron mucho la antropología a la disciplina emergente de la sociología (que veremos más adelante). Su modelo de antropología era especialmente limitado, pues rechazaba no sólo las aportaciones de la biología sino también todo interés en la historia de las culturas estudiadas. Así pues, la antropología social británica rompió el vínculo con la arqueología, que en Estados Unidos se conservó porque Boas animaba a sus alumnos a conocer cómo cada cultura estaba determinada por su propia historia. (Curiosamente, ésta es una idea muy darwiniana —los antropólogos rechazaban la jerarquía evolutiva lineal, no el enfoque más ecologista de la visión de Darwin sobre la evolución—.) Otra diferencia entre las antropologías británica y americana era que mientras Boas y sus alumnos subrayaban la necesidad de recoger información de culturas amenazadas por la expansión del industrialismo moderno, la escuela británica se presentaba a sí misma como el campo de instrucción para los administradores coloniales que necesitaban comprender cómo funcionaba la cultura «nativa» a fin de gobernar con más eficacia (Kuklick, 1991).

Sociología: la ciencia de la sociedad

Para los antropólogos, insistir en que la cultura no se podía explicar exclusivamente en términos de psicología o biología quizá era más fácil que hacer lo propio con las leyes que regulan las interacciones sociales. Al final, la sociología llegó a ser un ámbito definido de estudio prácticamente igual que la antropología, pero le resultó incluso más difícil sacudirse de encima la influencia del paradigma evolucionista. A principios del siglo XIX, para los que estudiaban el funcionamiento de los seres humanos en conjunto no estaba ni mucho menos claro que hubiera leyes de actividad social que no pudieran reducirse a las leyes reguladoras de la conducta individual. Los economistas políticos de la escuela utilitarista, entre ellos pensadores tan influyentes como Bentham y Malthus, trabajaban en el seno de una ideología individualista, liberal, que alentaba la idea de que las actividades social y económica podían entenderse, e incluso regularse, valorando cómo actuaba el individuo en la comunidad. La conducta individual reflejaba las presiones económicas y sociales, pero lo hacía de forma tal que se podía explicar mediante la psicología asociacionista unida a las férreas leyes de la economía (incluido el principio de la población de Malthus). Incluso en la actualidad, esta forma de pensar debilita la idea de que la sociedad funciona según leyes que trascienden las de la psicología individual. Margaret Thatcher, primera ministra conservadora de Gran Bretaña en la década de 1980, declaró en una ocasión que no existía eso de la «sociedad», sino sólo masas de individuos que intentaban satisfacer su interés personal.

Fue el filósofo francés Auguste Comte quien acuñó el término «sociología» y recalcó que denotaba un área de la ciencia que tenía leyes propias. El *Discurso de filosofía positiva; discurso sobre el espíritu positivo* de Comte (1830-1842) definía un nuevo enfoque de la ciencia, que abandonaba la búsqueda de causas e insistía en que el único objetivo debía ser la elaboración de leyes relativas a fenómenos observables. Aceptaba que, aunque los seres vivos están claramente regidos por las leyes de la física y la química, la biología tenía normas particulares que no podían ser rebajadas al nivel inferior. También la

sociología tendría que buscar preceptos que regularan las interacciones humanas sin presuponer simplemente que aquéllos pudieran explicarse en función de la fisiología del cuerpo (Comte rechazaba la idea de un nivel intermedio correspondiente a la psicología individual).

A mediados del siglo XIX se disponía cada vez de más técnicas que ponían de manifiesto cómo podía la nueva ciencia prevista por Comte obtener su información. El estadístico belga Lambert Quetelet empezó a reunir datos del conjunto de la población, incluyendo cifras correspondientes a índices de criminalidad, suicidio, etcétera, que revelaban que esas actividades se producían en todas las sociedades con una notable regularidad. Darwin quedó impresionado por los esfuerzos de Quetelet por mostrar que cualquier rasgo de una población se podía interpretar en función de la variación respecto a un valor promedio (Quetelet había inventado el concepto «hombre medio»). En años posteriores del siglo, el primo de Darwin, Francis Galton, recogió gran cantidad de información sobre variaciones humanas físicas y mentales e inició el desarrollo de herramientas estadísticas para analizar los datos. Su trabajo desempeñó un papel relevante en la creación del darwinismo moderno, pero más a corto plazo procuró los fundamentos a partir de los cuales el movimiento eugenésico abogaría por una base hereditaria de las diferencias de rasgo.

La aparición de la verdadera sociología se apoyaba, en última instancia, en el rechazo de la preponderancia biológica de Galton y la materialización del objetivo de Comte de una ciencia autónoma de la sociedad. Los primeros pasos en esa transformación surgieron de la obsesión del siglo XIX con la idea de la evolución o desarrollo histórico. En formas muy diferentes, Karl Marx y Herbert Spencer crearon una ciencia de la sociedad en la que la aparición de niveles superiores de organización en el transcurso del tiempo se consideraba una consecuencia inevitable de la dinámica social. Según la perspectiva revolucionaria de Marx, el proletariado (la mano de obra de la nueva economía industrializada) era un producto de la historia social y una fuerza que a la larga transformaría la sociedad en un paraíso socialista mediante la expropiación a los capitalistas que habían puesto en marcha la Revolución Industrial. A finales de siglo, su «socialismo científico»

había entusiasmado a los pensadores de izquierdas, y a mediados del siglo XX los regímenes soviéticos de Rusia y otros países proclamaban que el marxismo era la única explicación de la dinámica social que concordaba con la metodología de la ciencia. No obstante, fuera del bloque soviético el marxismo no logró presencia institucional, si bien siguió siendo una importante fuente de argumentos críticos para los que se oponían a la ideología predominante del capitalismo.

Fue Herbert Spencer quien puso en práctica el programa de Comte de una manera que proporcionó al capitalismo su propio marco científico, si bien abordó la tarea a través de su compromiso con la teoría de la evolución. Spencer admitía que había leyes de actividad social aparte de la mera psicología individual, aunque entendía que el nivel superior de conducta surgía del inferior por la influencia de leyes más generales de desarrollo universal. La percepción de Spencer de la dinámica social daba por sentado el individualismo de la vieja tradición utilitarista, pero concedía a la inciativa y el esfuerzo individuales el papel de fuerza motriz del cambio. Como para Spencer y sus seguidores la competencia era el estímulo que generaba la autosuperación y, por tanto, el progreso social, acabaron siendo calificados de «darwinistas sociales» por sus adversarios (véase cap. 18, «Biología e ideología»). Desde luego, su sociología inspiró el movimiento evolucionista, pero tenía raíces más diversas en la biología. Spencer hacía hincapié concretamente en la «metáfora orgánica», según la cual la sociedad tomaba como modelo un organismo individual: igual que muchos órganos especializados del cuerpo cooperan inconscientemente para que éste pueda llevar a cabo sus actividades de nivel superior, así los individuos de una sociedad realizan sus cometidos especializados por el bien del conjunto (aunque su motivación inmediata sea el interés personal). El popular *The Study of Sociology* [El estudio de la sociología] de Spencer, de 1873, exponía argumentos a favor de una ciencia independiente de acción social, reafirmados posteriormente en sus más importantes *Principles of Sociology* [Principios de sociología].

A pesar de esas iniciativas, se consideraba que la sociología de Spencer era parte integral de su filosofía evolutiva, lo que inevitablemente quitaba fuerza al mensaje de que la primera debía ser una dis-

ciplina científica independiente de la psicología y la biología. Como pasó con la antropología, la aparición de una disciplina especializada de sociología, con el aparato académico de departamentos universitarios, publicaciones y sociedades, dependió de un rechazo deliberado del modelo evolutivo. En Europa, esa transición se produjo de forma brusca en la década de 1890, cuando eruditos como Émile Durkheim, en Francia, comenzaron a insistir en que las leyes rectoras de la sociedad no se podían entender reduciéndolas a un nivel inferior de actividad. Como a Comte, a Durkheim le interesaba poco la psicología. Se propuso descubrir las leyes en virtud de las cuales las condiciones sociales determinaban la conducta. En un estudio sobre el suicidio publicado en 1897, pasó por alto la psicología del individuo y se valió de datos estadísticos para mostrar cómo diferentes situaciones sociales afectaban a los índices de suicidio. Durkheim era un ferviente librepensador muy preocupado por la cuestión de cómo desarrollan las personas un sentido de finalidad en el seno de su sociedad: un índice de suicidio elevado era una señal de que la sociedad no estimulaba el espíritu solidario. En el cambio de siglo, había empezado a crear en Francia una prestigiosa escuela de sociología. En 1898 se fundó una revista, *Année Sociologique*, y en 1902 Durkheim se trasladó de Burdeos a París, con lo que se situó en el centro de la vida académica e intelectual francesa. En 1913, su propia cátedra, originariamente de educación, fue rebautizada para que incluyera la sociología. Aun así, la escuela de Durkheim tuvo prestigio debido más a la gran influencia que ejerció sobre los intelectuales europeos que a la creación de un programa de investigación formal. Se fundaron pocos departamentos académicos, y en muchos países europeos la disciplina siguió siendo marginal. En la década de 1930, fue enérgicamente rechazada por los regímenes nazis y fascistas que llegaron al poder en Alemania, Italia y España.

Como sucedió con la psicología y la antropología, fue en la rápida expansión del sistema universitario de Estados Unidos donde halló la sociología su lugar más seguro (Cravens, 1978; Degler, 1991). Ahí, en una sociedad que estaba transformándose rápidamente debido a la inmigración y la industrialización, el anuncio de un estudio científico de la acción social brindaba nuevas esperanzas de control de los complejos intereses en juego. Las universidades podían solicitar ayuda tanto

a las grandes empresas como al gobierno para desarrollar una ciencia que ofrecía la posibilidad de prevenir el descontento o incluso la revolución. La sociología conservaría su papel tradicional como instrumento de acción política, pero éste se perfeccionaría gracias a la aplicación de un riguroso método científico en la recogida y el análisis de su información. Fue por la necesidad de especialización por lo que se hizo necesario subrayar el carácter diferenciado de la disciplina y la no dependencia del viejo modelo evolutivo. El papel del sociólogo como experto al que las clases dirigentes podían acudir en busca de consejo fue recalcado por Franklin H. Giddings, el primer profesor de sociología en una universidad americana (Columbia, en 1894). William Harper, de la Universidad de Chicago, logró que el magnate John D. Rockefeller tuviera interés en apoyar las ciencias sociales, mientras Daniel Coit Gilman, de la Universidad Johns Hopkins, se sirvió también del interes despertado por la nueva ciencia para conseguir financiación. En 1895 se fundó la *American Journal of Sociology*, y en 1905 la Sociedad Sociológica Americana.

En las primeras décadas del nuevo siglo XX, la sociología se unió a la antropología y la psicología en el sistema académico americano, llegando a ser las tres socios firmemente asentados en las nuevas áreas de las ciencias humanas o conductuales. Seguía habiendo tensiones entre las viejas tradiciones humanistas mantenidas por pensadores como William James y la necesidad de recalcar el carácter científico de las disciplinas al hacer hincapié en el experimento (en el caso de la psicología) y el análisis estadístico de datos recogidos de manera objetiva (en sociología). En cierta medida, la aportación de fondos por parte de las empresas imponía restricciones a las nuevas ciencias y planteaba dudas relativas a la libertad académica. Los que ofrecían financiación querían ciencia, no filosofía moral, y la querían en una forma que pudiera utilizarse como herramienta de manipulación social. En un sentido estricto, el hueco ideológico que las ciencias humanas explotaban para adquirir influencia en la vida académica americana de principios del siglo XX seguiría definiendo tanto las disciplinas implicadas como los desafíos que afrontarían.

Conclusiones

Las ciencias humanas o conductuales no fueron en absoluto productos lógicos como consecuencia de la aparición de la ciencia moderna. En realidad, constituyeron una respuesta muy tardía a las oportunidades profesionales y sociales que, tal como advertía Foucault, ofrecía el muy organizado Estado moderno. Para muchos resultaba difícil creer que la conducta humana podía ser regulada por leyes y, en consecuencia, comprendida mediante los métodos de la ciencia. Y aunque eso fuera posible, el atractivo del reduccionismo y el evolucionismo brindaba modos de explicar la naturaleza humana sin crear disciplinas independientes para estudiar la mente y la actividad social. Gracias a sus innovadores trabajos, Spencer contribuyó a que ciencias como la psicología y la sociología aparecieran como una posibilidad, aunque no tuvo en cuenta la necesidad de programas de investigación que evitaran la más amplia síntesis ofrecida por el evolucionismo y los nuevos avances en neurofisiología. Al final, fue el impulso hacia una autonomía profesional dentro de un sistema académico en rápida expansión lo que llevó a psicólogos, antropólogos y sociólogos americanos a empezar a romper los vínculos que habían sido esenciales al desarrollo temprano de esas disciplinas. Era posible apropiarse de los métodos de la biología científica pero no de los paradigmas teóricos del área. La afirmación de que se podían crear verdaderas ciencias de la conducta humana sacaba provecho de ciertas fuentes de financiación e influencia que permitían a esas ciencias ser reconocidas como participantes importantes en el juego de la política académica. Cuanto más se insistiera en las credenciales científicas de las nuevas disciplinas, así como en su independencia de la vieja tradición de la filosofía moral, más respaldo se podría obtener. En Europa las ciencias humanas tardaron más en alcanzar la identidad profesional de la que, en comparación disfrutaron sus colegas americanos y en perder las pasadas conexiones con las preocupaciones morales y filosóficas.

Las tensiones generadas en el sistema americano llegaron a un punto decisivo en la Guerra Fría, cuando los fondos económicos del complejo militar-industrial se encauzaron tanto a las ciencias sociales

como a las físicas. Debido a ello, áreas como la psicología y la sociología se vieron empujadas más firmemente al terreno de quienes insistían en sus credenciales científicas y en su utilidad en ámbitos de control social (Simpson, 1998). A partir de la década de 1960, se produjo una previsible reacción violenta por parte de grupos radicales, más notoria en Europa, donde las ciencias humanas por fin habían empezado a seguir el modelo americano de profesionalización.

Al final, la cuestión más interesante acaso sea la siguiente: ¿el impulso para crear un enfoque científico del estudio de la naturaleza humana alcanzó su objetivo? Pese al dinero y los esfuerzos dedicados a crear un conjunto de informaciones prácticas sobre la cuestión, muchos científicos de áreas más asentadas se muestran suspicaces y apuntan a una falta de coherencia teórica que debilita la analogía con las ciencias «duras». Al menos la psicología se ha basado en sus credenciales experimentalistas y recientemente se ha fusionado con el campo en expansión de la neurofisiología para crear lo que hoy conocemos como ciencia cognitiva. Esto podría considerarse como una nueva frenología, una ciencia genuina que conecta la mente y el cerebro, aunque también se inspira en avances en la teoría de la evolución. La denominada psicología evolutiva de Stephen Pinker (1997) y otros trata de identificar módulos cerebrales que han sido forjados por la selección natural para tareas concretas en la percepción o la cognición. Los resultados son muy controvertidos porque reavivan el debate sobre la determinación biológica de la conducta humana. En el otro extremo, la antropología se enorgullece de su objetividad en el estudio de culturas no occidentales, pero casi nunca se vale de una metodología explícitamente científica. En medio, la sociología se ve a sí misma como la *ciencia* social preeminente, aunque rara vez es reconocida como tal por la comunidad científica en su conjunto. La Asociación Americana para el Avance de la Ciencia acepta como miembros a las ciencias sociales, económicas y políticas en una determinada categoría, si bien ésta es inferior a las de la antropología o la psicología y queda a gran distancia de las ciencias físicas y biológicas. *Science*, la revista órgano de la asociación, publica rutinariamente artículos de investigación en ciencias cognitivas y comentarios (aunque raras veces trabajos de investigación) de antropología e incluso arqueología, pero la sociología recibe

poca cobertura. En cierta medida, las ciencias humanas han vendido su primogenitura como producto de un viejo discurso filosófico y moral a cambio de una perspectiva científica que ha sido enormemente rentable pero aún es observada con recelo por los que se califican a sí mismos como guardianes de lo que se ha de considerar «científico».

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Boakes, R., *From Darwin to Behaviourism*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

Boring, Edwin G., *A History of Experimental Psychology*, Appleton-Century-Crofts, Nueva York. 1950.

Bowler, Peter J., *The Invention of Progress: The Victorians and the Past*, Basil Blackwell, Oxford, 1989.

Burrow, J.W., *Evolution and Society: A Study in Victorian Social Theory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1966.

Cioffi, Frank, *Freud and the Question of Pseudoscience*, Open Court, Chicago, 1998.

Cravens, Hamilton, *The Triumph of Evolution: American Scientists and the Heredity-Environment Controversy, 1900-1941*, University of Pennsylvania, Filadelfia, 1978.

Degler, Carl, *In Search of Human Nature: The Decline and Revival of Darwinism in American Social Thought*, Oxford University Press, Nueva York, 1991.

Gould, Stephen Jay, *Ontogeny and Phylogeny*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1977.

—, *The Mismeasure of Man*, Harvard University Press, Cambridge, MA. 1981 (hay trad. cast.: *La falsa medida del hombre*, Crítica, Barcelona, 2004).

Halévy, Elie, *The Growth of Philosophic Radicalism*, Beacon Press, Boston, 1955.

Foucault, Michel, *The Order of Things: The Archaeology of the Human Sciences*, Pantheon Books, Nueva York, 1970 (hay trad. cast.: *Las palabras y las cosas: una arqueología de las ciencias humanas*, Siglo XXI Editores, Madrid, 1997).

Kuklick, Helena, *The Savage Within: The Social History of British Antropology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Pinker, Stephen, *How the Mind Works*, Norton, Nueva York, 1997.
Porter, Theodore y Dorothy Ross (eds.), *The Cambridge History of Science*, vol. 7: *The Modern Social Sciences*, Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
Richards, Robert J., *Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.
Smith, Roger, *The Fontana/Norton History of the Human Sciences*, Fontana, Londres; Norton, Nueva York; 1997.
Simpson, Christopher (ed.), *Universities and Empire: Money and Politics in the Social Sciences during the Cold War*, New Press, Nueva York, 1998.
Stocking, George W., Jr., *Race, Culture and Evolution*, Free Press, Nueva York, 1968.
—, *Victorian Anthropology*, Free Press, Nueva York, 1987.
—, *After Tylor: British Social Anthropology, 1888-1951*, Athlone, Londres, 1996.
Sulloway, Frank, *Freud, Biologist of the Mind: Beyond the Psychoanalytic Legend*, Burnett Books, Londres, 1979.
Webster, Richard, *Why Freud Was Wrong: Sin, Science and Psychoanalysis*, Harper Collins, Londres, 1995 (hay trad. cast.: *Por qué Freud estaba equivocado*, Destino, Barcelona, 2002).
Young, Robert M., *Mind, Brain and Adaptation in the Nineteenth Century*, Clarendon Press, Oxford, 1970.

Segunda parte:
Temas de la historia de la ciencia

— 14 —

La organización de la ciencia

En cierto nivel; la ciencia es una actividad muy personal: se obtiene crédito si se logra que todos reconozcan la prioridad de uno como descubridor. No obstante, este proceso conlleva forzosamente interacción social, pues el descubrimiento debe comunicarse a otros, a quienes hay que convencer de que lo acepten junto con las conclusiones teóricas asociadas. Así pues, el científico necesita formar parte de una organización que difunda y juzgue ideas e información. Desde la época de la revolución científica, el sistema de comunicación se ha formalizado cada vez más mediante la creación de sociedades científicas que se reúnen regularmente y divulgan resultados a través de publicaciones. De cualquier modo, estas sociedades tienen otras funciones además de la comunicación. Muy a menudo han desempeñado un papel de guardián con el cometido de determinar quién es aceptado en el conjunto de la comunidad científica o en una escuela concreta de investigación. Es fácil regular la condición de miembro de una sociedad formal para impedir la entrada a aquellos cuyas opiniones no encajan, mientras que la publicación de resultados casi siempre ha sido sometida a un proceso de arbitraje con el fin de garantizar que se aceptan sólo las investigaciones llevadas a cabo según una pauta aprobada. En distintas ocasiones se ha utilizado esta selectividad para aislar candidatos potenciales cuyas ideas se han considerado inaceptables, como cuando las revistas científicas de la década de 1980 se negaron a publicar la hipótesis de «Gaia» de James Lovelock (véase cap. 9, «Eco-

logía y ecologismo»). En ese caso, la comunidad científica cerró filas frente a alguien cuya teoría se consideraba rayana con el misticismo, lo que originó acusaciones de querer imponer un dogma inflexible y suprimir puntos de vista alternativos. Las muy especializadas sociedades científicas de la comunidad investigadora moderna también refuerzan identidades profesionales de un modo que a menudo ha reducido la capacidad para difundir cuestiones de más amplio alcance. Cualesquiera que sean sus ventajas, la aparición de una comunidad científica no puede ser considerada simplemente como una medida práctica para mejorar la divulgación del conocimiento.

Los científicos también han utilizado las sociedades científicas en sus esfuerzos por comunicarse con sectores real o potencialmente relacionados con la ciencia pura de la comunidad científica. Aquí ha habido con frecuencia un motivo explícitamente interesado: como la ciencia se ha vuelto cada vez más cara, los de fuera han de convencerse de su valor para proporcionar los recursos necesarios. Las fuentes del mecenazgo han cambiado, de la realeza y la nobleza del siglo XVII a los gobiernos, la industria y el público en general del mundo moderno, pero la necesidad de «vender» la ciencia sigue siendo la misma. Los científicos también han procurado tener influencia en la comunidad académica, y así han ampliado gradualmente la proporción del sistema universitario dedicada a actividades científicas y modelado la comunidad mediante la creación de departamentos de especialización creciente. Esto satisface el doble objetivo de proporcionar salarios y oportunidades de investigación a los científicos actuales y de controlar la educación de los alumnos que están iniciándose en la profesión. La historia moderna de la ciencia ha centrado gran parte de su atención en la formación de identidades profesionales de los científicos mediante la fundación de departamentos universitarios e institutos financiados por el gobierno especializados en disciplinas concretas. De hecho, actualmente se considera que la misma existencia de una disciplina científica identificable se basa en la creación satisfactoria de un marco institucional así; y teorías más amplias que no se prestan a esa actividad han quedado hasta cierto punto marginadas. Desde esta perspectiva, por ejemplo, hasta la década de 1940 no hubo «biología evolutiva» porque los seguidores de Darwin de finales del siglo XIX no crearon

departamentos especializados en ese tema. Una medida de este tipo desde luego ayuda a centrar la atención en lo que estaban haciendo realmente los científicos, en contraposición a su retórica dirigida al gran público, pero corre el peligro de perder de vista iniciativas más amplias que adquieren influencia al transformar un extenso abanico de actividades existentes.

La atención de los historiadores a la aparición del aparato característico de la comunidad científica moderna también crea problemas cuando queremos comprender etapas anteriores del desarrollo de la ciencia. La especialización y profesionalización de la ciencia son componentes clave de su éxito, pero tardaron mucho tiempo en consolidarse en el plano de lo que hoy damos por sentado. Hemos de aceptar que, en cualquier período hasta finales del siglo XIX, una considerable proporción de las investigaciones científicas corría a cargo de personas que no eran profesionales en su acepción actual. Se trataba de «caballeros especialistas», por usar el término adoptado por Rudwick (1985) para referirse a los geólogos de principios del siglo XIX, hombres que eran figuras destacadas en su ámbito pero no obtenían sus ingresos de la ciencia y habrían desconfiado de quien lo hiciera. Nathan Reingold (1976) los denomina «cultivadores» para eludir las definiciones modernas de «profesional» y «aficionado» que dan a entender que este último es en cierto modo inferior. Darwin supone un ejemplo clásico de científico que no tenía necesidad de ganarse la vida; y no hemos de olvidar que a su destacado defensor T. H. Huxley le costó mucho encontrar un empleo remunerado en el Londres de la década de 1850. La generación de Huxley urdió una toma del poder por los profesionales que necesitaban efectivamente un salario para mantenerse y por ese motivo tenían tanto más interés en conseguir respaldo industrial y gubernamental. Al principio hicieron causa común con los caballeros especialistas que quedaban, pero su objetivo era unirse y a la larga controlar el círculo social selecto que dirigía la ciencia entre bastidores.

Los avances esbozados antes fueron, en gran medida, una consecuencia necesaria del éxito de la ciencia como actividad social. Como señaló Derek de Solla Price en la década de 1960, según prácticamente cualquier indicador mensurable, desde el siglo XVII la ciencia ha es-

tado creciendo a un ritmo exponencial, lo que significa que «el 80-90% de los científicos que han existido están aún vivos» (Price, 1963, p. 1). Esta expansión se ha producido en buena parte porque la ciencia se ha vuelto útil para los gobiernos y la industria, y su organización ha estado determinada por la necesidad de alentar e influir en ese respaldo. Debido a ello, ha cambiado el carácter de la propia ciencia, como sugería la distinción de Price entre la «microciencia» de los primeros siglos y la «macrociencia» de la actualidad. La primera era llevada a cabo por individuos, a menudo como pasatiempo y que asumían los gastos. La segunda la realizan equipos de investigación que usan materiales e instrumentos muy caros que sólo pueden ser financiados por gobiernos o empresas importantes con la esperanza de obtener resultados prácticos (o, en algunos casos, por puro prestigio). De todas formas, la estructura cambiante de las organizaciones científicas refleja algo más que el deseo de acoplarse a la demanda pública de nuevas tecnologías; responde también a las diferentes necesidades de los profesionales especializados que han de comunicarse entre sí y definir sus propios territorios disciplinarios.

Este capítulo comienza con una visión general de cómo se organizó la ciencia por primera vez durante la revolución científica del siglo XVII, e ilustra cómo algunos aspectos de la comunidad científica surgieron en circunstancias muy diferentes de las de siglos posteriores. En el siglo XVIII, esos avances se consolidaron a medida que empezaba a aparecer una comunidad científica reconocible. Sin embargo, fue a principios del siglo XIX cuando se fraguaron muchas de las instituciones que hoy reconocemos. Las reformas educativas de los gobiernos revolucionarios y napoleónicos en Francia prestaron más atención a la ciencia, a lo que poco después siguió la creación de la forma moderna de la universidad investigadora en Alemania. Los científicos empezaron a unirse a escala nacional para exigir un mayor reconocimiento por su trabajo y más recursos de los gobiernos. A finales de ese siglo, las reformas educativas habían incrementado enormemente el tamaño de la comunidad científica y su grado de profesionalización, al tiempo que gobiernos e industrias por fin comenzaban a admitir que el apoyo a la investigación científica tenía importancia nacional.

La revolución científica

Los eruditos de finales de la Edad Media se movían entre las universidades surgidas en ciudades de toda Europa. Las universidades eran centros para estudiar la filosofía escolástica basada en las doctrinas de Aristóteles, razón por la cual normalmente no pensamos en ellas como lugares importantes desde los que se difundiera la Nueva Ciencia. No obstante, la mayoría de las figuras clave de la revolución científica (véase cap. 2) se formaron en la universidad, y algunas pasaron buena parte de su carrera desempeñando cargos universitarios (Pyenson y Sheets-Pyenson, 1999). Copérnico estudió medicina y derecho canónico en varias universidades italianas, Galileo dio clases de matemáticas en Pisa y Padua y Newton desarrolló gran parte de su actividad en Cambridge. El anatomista Andreas Vesalius estudió en Lovaina e impartió clases en Padua. El plan de estudios existente imponía graves restricciones sobre el modo como se podía estudiar la ciencia, si bien disciplinas reconocidas como la medicina, las matemáticas y la filosofía se interpretaban de manera amplia, con lo que se creó cierto campo de acción en el que practicar la Nueva Ciencia. La botánica se enseñaba en las facultades de medicina porque la mayoría de los medicamentos aún se obtenían de las plantas. Así pues, las universidades del siglo XVII no deberían ser calificadas de irrelevantes para el ascenso de la Nueva Ciencia (Feingold, 1984). Igualmente importante fue la creación de nuevas instituciones educativas para proporcionar formación de índole más práctica. Un ejemplo destacado es el del Gresham College, fundado en 1597 gracias al testamento del comerciante londinense sir Thomas Gresham, en el que había cátedras de astronomía, geometría y medicina. Dentro de la Iglesia católica, los jesuitas fomentaron activamente el trabajo astronómico, si bien se distanciaron de las ideas más radicales de los copernicanos.

Aunque la mayoría de las figuras importantes ligadas a la revolución Científica se educaron en universidades, a veces los temas que estudiaban no guardaban relación con sus intereses esenciales en filosofía natural, y muchos no ocuparon posteriormente puesto alguno en el sistema universitario. Unos eran ricos, como el químico Robert

Boyle. Otros buscaban el patrocinio de personajes adinerados, que les daban empleo porque estaban realmente interesados en el nuevo saber o porque tener eruditos famosos en la corte o en casa elevaba su prestigio. En 1610, Galileo abandonó Padua para pasar a ser filósofo y matemático en la del gran duque de la Toscana. También buscó el mecenazgo de figuras destacadas de la Iglesia, iniciativa que acabó mal cuando perdió el apoyo del Papa y fue juzgado por la Inquisición (Biagoli, 1993). El astrónomo Tycho Brahe construyó su observatorio en Hveen bajo los auspicios del rey danés Federico II y se trasladó a Praga para trabajar a las órdenes del emperador Rodolfo II cuando el hijo de Federico le retiró el apoyo tras la muerte de su padre. Johannes Kepler, que empezó como aprendiz de Tycho, también estuvo al servicio de Rodolfo II. El mecenazgo de la corte era un asunto incierto, pero se trataba del sistema aceptado en el Renacimiento —y pasó mucho tiempo hasta que gobiernos más democráticos procuraran un apoyo parecido—. Todavía a finales del siglo XVII y durante el XVIII, el patrocinio de los ricos era importante, sobre todo para los naturalistas que describían y catalogaban colecciones de animales y plantas. John Ray dejó su puesto en Cambridge cuando el acaudalado Francis Willoughby le ofreció ayuda.

La Nueva Ciencia dependía de interacciones entre las figuras importantes y una gran cantidad de partes interesadas a las que había que convencer para que aceptaran tanto los descubrimientos experimentales como las innovaciones teóricas. Para alcanzar el consenso (a veces sólo después de enconadas controversias), la comunicación era vital; hizo también falta establecer una comunidad de individuos reputados a quienes poder confiar el juicio sobre tales cuestiones. En una época en que muchos se mostraban recelosos ante la Nueva Ciencia, sus seguidores también necesitaban hacer causa común para ayudarse mutuamente. Desde el principio hubo sociedades locales con un número suficiente de personajes viviendo en un lugar concreto que apoyaban reuniones regulares u otras formas de interacción. Galileo estaba orgulloso de pertenecer a la Accademia dei Lincei («con ojos de lince»), y sus seguidores contribuyeron a crear en Florencia la Accademia del Cimento, a la que pertenecieron figuras destacadas como G. A. Borelli y Francesco Redi (Middleton, 1971; para una

descripción general de las sociedades del siglo XVII, véase Ornstein [1928]). Sin embargo, ésas no eran instituciones permanentes; la primera organización científica realmente duradera fue la Royal Society de Londres, que fue fundada en 1660 y recibió su cédula real dos años después (Boas Hall, 1991; Hunter, 1989). Había estado precedida por reuniones informales en Oxford a las que asistían personalidades como Robert Boyle, Christopher Wren y Robert Hooke, pero su constitución como organismo público reconocido supuso un claro ascenso en su estatus (aunque Carlos II no aportaba fondos y se mostraba receloso ante el nuevo saber). Como proclamó Thomas Sprat en su *History of the Royal Society* [Historia de la Royal Society] (1667), el grupo insistía en la filosofía empírica de Francis Bacon como alternativa al escolasticismo y en que las divisiones filosóficas y políticas no debían entrometerse en sus debates (fig. 14.1). La sociedad contrató a supervisores, entre ellos a Hooke, para que realizaran experimentos prácticos. Pero fue más importante la labor informadora de la sociedad sobre observaciones y descubrimientos. Su secretario, Henry Oldenburg, mantuvo correspondencia internacional con científicos, y *Philosophical Transactions* fue la primera publicación científica.

Todo esto suena muy bien, pero los miembros de la sociedad estaban deseando definir su estatus de árbitros de lo que se consideraba Nueva Ciencia. Como no todos podían llevar a cabo experimentos por su cuenta, la veracidad de la información era fundamental, y se creía que sólo los caballeros eran lo bastante fiables: por ejemplo, los artesanos que hicieron realmente el trabajo en la bomba de aire de Boyle jamás aparecieron en los informes. Quedaban rigurosamente excluidos los que ponían en entredicho el fundamento filosófico de la filosofía experimental o manifestaban sospechas sobre cómo el círculo de allegados imponía los valores de esa filosofía en la Nueva Ciencia (Shapin y Schaffer, 1985). Así pues, la nueva sociedad actuaba prácticamente como un guardián para impedir la participación en el proyecto científico a todo aquel considerado social o filosóficamente no aceptable. Lejos de ser religiosa o ideológicamente neutrales, los miembros de la Royal Society tenían unas prioridades sociales muy claras. Quizá no todos fueran puritanos, como afirman algunos erudi-

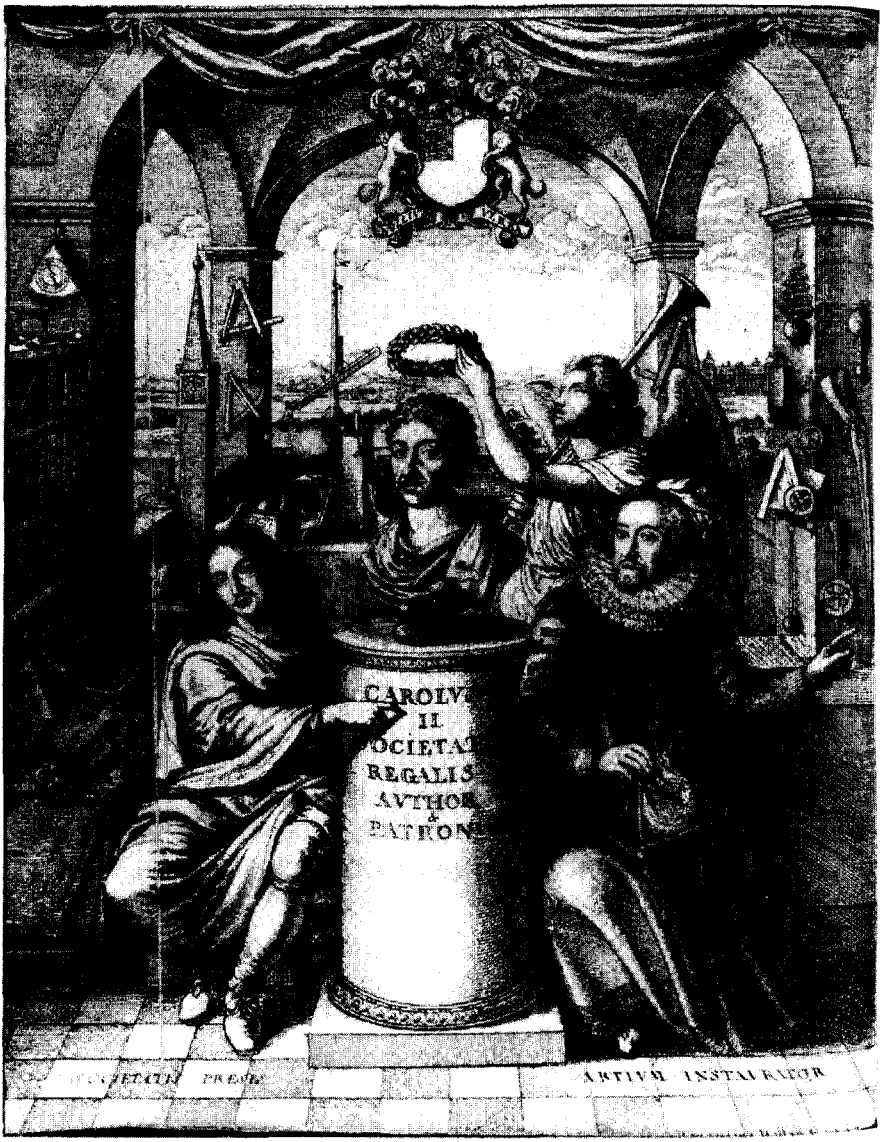


FIGURA 14.1. Frontispicio de *History of the Royal Society* (Londres, 1667), de Thomas Sprat. Francis Bacon, cuya filosofía empírica fue idealizada como la base de la Nueva Ciencia, está sentado a la derecha del busto del mecenas de la sociedad, el rey Carlos II. En un segundo plano se aprecian varios instrumentos científicos, entre ellos la bomba de aire de Robert Boyle.

tos, pero profesaban un anglicanismo liberal y apoyaban la restauración de la monarquía y las nuevas bases mercantiles para la creación de riqueza (véase cap. 15, «Ciencia y religión»). Lo que no tenía la sociedad era acceso a financiación gubernamental, lo cual la dejaba hasta cierto punto a merced de sus miembros más ricos, cuyo interés en la ciencia a menudo era superficial. Sólo en un ámbito se tomó en serio Carlos II la Nueva Ciencia: la astronomía ofrecía la posibilidad de disponer de mejores técnicas de navegación que eran cruciales para el comercio británico con el exterior. Siguiendo el consejo de una comisión en la que estaban Wren y Hooke, en 1675-1676 se construyó en Greenwich el Royal Observatory, en el que se instaló John Flamsteed, su primer astrónomo. Aun así, éste tuvo que gastar bastante dinero propio en equipos y material.

En Francia, el muy centralista gobierno de Luis XIV cambió notablemente la situación. Tras el fracaso de varias sociedades locales, diversos científicos solicitaron al ministro J. B. Colbert apoyo estatal, y en 1966 la Académie Royale des Sciences se reunió por primera vez en la biblioteca real (fig. 14.2; véase Hahn, 1971). Se crearon puestos de trabajo remunerados en matemáticas (incluyendo astronomía) y filosofía natural (donde se daba preponderancia a las ciencias físicas). Para ocupar esos cargos, llegaron a París figuras eminentes como Christian Huygens. Disputaban de un grado notable de respaldo estatal, aunque de todas formas se esperaba que la academia generara resultados provechosos, especialmente en el ámbito de la navegación. La entidad se reorganizó en 1699, cuando se construyó un observatorio. Pese a que al principio estaban bien financiadas, las actividades de los académicos estaban muy reguladas, de tal manera que no siempre tenían libertad para realizar investigaciones originales, aparte de que los fondos fueron disminuyendo a medida que las guerras de Luis XIV iban provocando en Francia penurias económicas. Aun así, la Académie Royale ofrecía un modelo que sería copiado por gobernantes de toda Europa durante el siglo siguiente, mientras la Royal Society promovía una organización menos rígida cuyos intereses y estructura estaban más definidos por los propios científicos.

FIGURA 14.2. Luis XIV de visita en la Académie des Sciences, frontispicio de *Mémoire pour servir a l'histoire des plantes* (París, 1676), de Denis Dodart. La academia de París dependía del mecenazgo del rey francés y tenía que convencer a éste de que sus actividades eran útiles para el Estado. En la imagen, se muestran al rey diversos instrumentos científicos.

El siglo XVIII

En el siglo XVIII se produjeron algunos avances en la formación científica, pero estuvieron distribuidos de forma muy irregular. Las universidades holandesas y alemanas llegaron a ser centros activos de investigación y enseñanza, sobre todo en ciencias físicas. Leyden fue especialmente importante en el estudio de la electricidad, y en ella Petrus van Musschenbroek inventó en 1746 el condensador o botella de Leyden (Heilbron, 1979). Las universidades escocesas también fueron muy dinámicas en la enseñanza de la medicina, mientras en 1776 se creaba en Edimburgo una cátedra de filosofía natural. Linneo fomentó su nuevo sistema para clasificar las especies desde su jardín botánico de Upsala, pero siguió instalado en la facultad de medicina porque no existía marco alguno para la enseñanza de la historia natural. En otras partes se hizo más bien poca cosa por llevar la Nueva Ciencia al plan de estudios, siendo Oxford y Cambridge notables ejemplos de universidades que hasta bien entrado el siglo XIX apenas enseñaron ciencia. No obstante, el planteamiento práctico de la educación científica promovido en el Gresham College sí empezó a extenderse de manera amplia. Muchos de los estados alemanes independientes obtenían gran parte de sus ingresos de las minas y comenzaron a crearse academias de minería en las que se enseñaba tanto geología como ingeniería. A. G. Werner divulgó su teoría neptunista de la tierra desde su base en la escuela de minas de Friburgo, a la que atrajo a estudiantes de toda Europa.

En Francia poca de la enseñanza universitaria era científica, aunque el gobierno fundó una escuela técnica, la École des Ponts et Chaussés, para la formación de ingenieros militares. La Académie des Sciences siguió siendo un centro de investigación financiado por el Estado, y se creó el Jardin du Roi [Jardín del Rey], el jardín zoológico y botánico real, para albergar las colecciones del rey (fig. 14.3). Como encargado del mismo, el conde de Buffon estuvo en buenas condiciones para promover su enciclopédica *Histoire Naturelle* [Historia natural] (y también bien protegido por la Iglesia cuando sus conjeturas pusieron en tela de juicio la ortodoxia demasiado abierta-

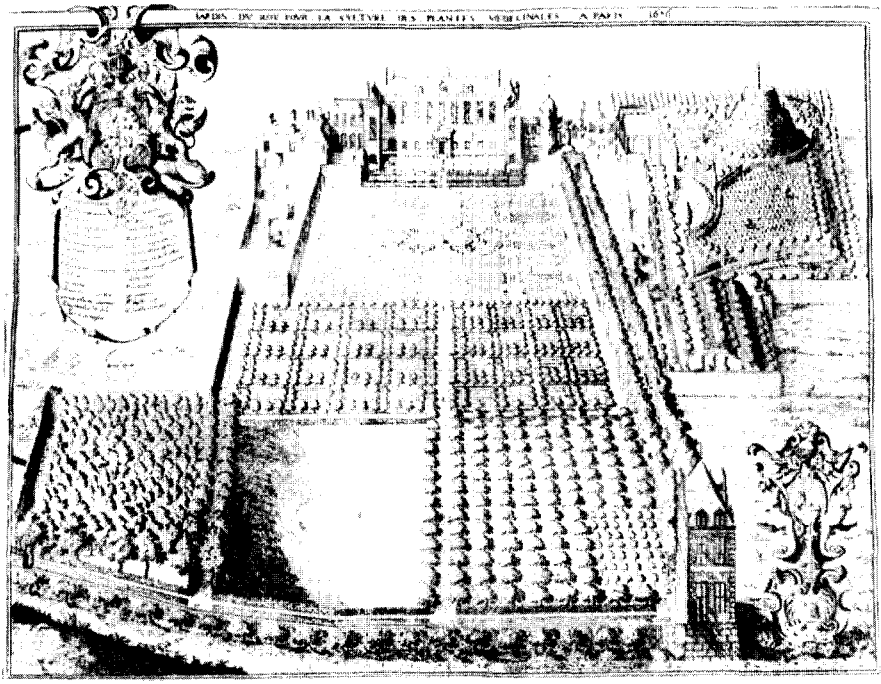


FIGURA 14.3. El Jardin des Plantes, de *Le Jardin du Roi*, de Frederic Scalberge (París, 1636). Los jardines botánicos tuvieron su origen en las universidades medievales, cuando eran importantes para formar médicos que reconocieran las plantas de las que derivaban muchos medicamentos. Aún fueron centros científicos destacados en los siglos XVII y XVIII, cuando llegaron a Europa plantas nuevas de todas partes del mundo. En la actualidad todavía se puede visitar El Jardin des Plantes... y buscar las estatuas de Buffon y Lamarck y los edificios donde trabajaba Cuvier.

mente; véase caps. 5 y 6). La Royal Society de Londres decayó, hasta cierto punto, a medida que sus entusiastas fundadores se morían y eran sustituidos por caballeros que sólo tenían por la ciencia un interés pasajero. No obstante, revivió a finales de siglo bajo la presidencia de sir Joseph Banks, que se valió de sus conexiones con el Almirantazgo para coordinar un programa mundial de exploración científica inspirado en su propia expedición con el capitán Cook (Makay, 1985). Banks deseaba proteger tanto la posición preponderante de la socie-

dad en la ciencia británica que impidió decididamente la fundación de sociedades más especializadas que iban haciendo falta a medida que se desarrollaba la comunidad científica. Una excepción fue la creación en 1788 de la Sociedad Linneana, establecida alrededor de la propia colección de plantas y animales de Linneo, que fue adquirida a su muerte por James Smith, uno de los alumnos ricos de Banks. La sociedad se convirtió en el principal centro del país para estudiar y publicar historia natural, si bien su origen en un acto de patrocinio a cargo de un coleccionista adinerado ilustra el hecho de que esas instituciones todavía eran en buena parte clubes de caballeros especialistas. A lo largo de las décadas siguientes, el creciente interés popular por la historia natural desembocó en la fundación de sociedades locales en ciudades de todo el país, basadas a menudo en élites locales que utilizaban su relación con la ciencia para realzar su autoridad como árbitros de la cultura.

Los historiadores de la ciencia británica han centrado buena parte de su atención en una sociedad de corte totalmente distinto que surgió en la década de 1760 en la nueva ciudad industrial de Birmingham. Era la Sociedad Lunar (se reunía las noches de luna llena para que así sus miembros pudieran encontrar el camino a casa), en la que diversas figuras eminentes relacionadas con la aplicación de la ciencia a la tecnología industrial participaban para compartir ideas. Entre sus integrantes se hallaban James Watt y Matthew Boulton, que entonces colaboraban en la fabricación de máquinas de vapor; Josiah Wedgwood, cuya empresa de cerámica fue uno de los éxitos célebres de principios de la Revolución Industrial; y Erasmus Darwin, que, aparte de sus trabajos en medicina y las ciencias de la vida, tenía un gran interés en los avances en mecánica. También tomó parte el químico Joseph Priestley después de trasladarse a Birmingham en 1780. Eran hombres ricos pero prácticos que se reunían para reforzar su interés común en el aprovechamiento de la ciencia como base de conocimientos útiles, con lo cual reactivaban de hecho los principios de la vieja Royal Society ahora que se había convertido en un club de la élite social londinense. La Sociedad Lunar tuvo una existencia relativamente efímera, pero puso de relieve las tensiones que se volverían obvias en el siglo siguiente, a medida que la influencia de los que

realmente utilizaban la Nueva Ciencia creciera a costa de los que sólo la estudiaban como pasatiempo.

El siglo XIX

Fue en el siglo XIX cuando la creciente conexión de la ciencia con el gobierno y la industria, junto a las consiguientes expansión y especialización de la comunidad científica, generaron las instituciones que hoy conocemos. Eso no sucedió de forma inmediata, pues había poderosas fuerzas sociales en liza que limitaban los avances necesarios para que esas interacciones funcionaran con eficacia. La tendencia a considerar la ciencia como dominio exclusivo de una élite social retrasó el proceso de profesionalización y la búsqueda de financiación pública. Las universidades, acostumbradas desde hacía tiempo a formar a la élite en lengua y literatura clásicas, se resistían a incorporar la enseñanza y la investigación científica a sus planes de estudios. En Gran Bretaña y América, la ideología liberal hizo incluso que la nueva generación de industriales de éxito recelara del apoyo gubernamental a la ciencia. En una sociedad de libre empresa, se decía, los que sacan partido de la investigación deben pagar por ello —pero los empresarios sólo querían financiar estudios que fueran útiles enseguida y no tenían interés alguno en la investigación pura que acaso no diera beneficios hasta la generación siguiente—. Por esa razón, los gobiernos centralizados de Francia y Alemania abrieron el camino de la financiación pública de la ciencia, mientras en la última parte del siglo Gran Bretaña y América forcejeaban para ponerse a su altura. A la larga, no obstante, se reconoció el papel de la ciencia en el fomento del prestigio y la riqueza nacionales, y tanto el sistema educativo como el funcionamiento interno de la comunidad científica comenzaron a adaptarse a la nueva realidad.

Tras la revolución de 1789, Francia experimentó un frenesí de cambios en sus instituciones científicas y educativas. Hacia 1793, el nuevo gobierno había sustituido el viejo Jardin du Roi por el Muséum d'Histoire Naturelle [Museo de Historia Natural], cuya finalidad consistía en exhibir, enseñar e investigar. Con profesores prestigiosos

como J. B. Lamarck, Georges Cuvier y É. Geoffroy Saint-Hilaire, llegó a ser para toda Europa el modelo que seguir en investigación y formación en historia natural. La Académie des Sciences también se reorganizó completamente a fin de constituir un sistema nuevo pero igualmente centralizado para el reconocimiento de la distinción científica (Crossland, 1992). Se crearon nuevas instituciones, como la École Polytechnique y la École Normale Supériore, para la formación y la investigación técnica, que contaron con numerosas figuras famosas como profesores. Napoleón construyó sobre esos cimientos, lo que certifica la imagen de la ciencia como actividad práctica que ha de estar al servicio de la nación. En las primeras décadas del siglo XIX, esas instituciones hicieron de París la meca del mundo científico, si bien el muy centralista sistema francés era sumamente rígido y no estaba en una buena posición para reaccionar a medida que avances industriales de otros países empezaron a debilitar su predominio como potencia mundial.

En el siglo XVIII, varias universidades alemanas se habían vuelto muy activas, y aunque algunas estuvieron cerradas durante las invasiones napoleónicas, en el siglo XIX se produjo una oleada de fundaciones y refundaciones. La división de la región de habla alemana en diversos estados generaba una situación en la que cada uno trataba de competir con sus vecinos por la adquisición de talento erudito y científico (Ben-David, 1971). Fue ahí donde nació la universidad investigadora moderna, con profesores cuyo cometido era tanto investigar como formar a licenciados para que llegaran a ser también ellos investigadores. El grado de doctorado se convirtió en el símbolo de la capacidad de un estudiante para llevar a cabo investigación independiente. El departamento de química de Justus von Liebig, en Giessen, estableció ese sistema en la década de 1820, y pronto fue copiado en otras disciplinas y universidades. En las décadas intermedias del siglo, Alemania estaba ocupando el lugar de Francia como líder de la ciencia europea, y —lo que es significativo— el sistema industrial alemán empezaba a expandirse a medida que las investigaciones científicas exploraban nuevas posibilidades tecnológicas en ámbitos como la producción de tintes.

En Gran Bretaña, las universidades escocesas mantenían su activi-

dad en el área científica, pero las viejas universidades de Oxford y Cambridge seguían sin realizar esfuerzo alguno por introducir la ciencia en el plan de estudios. Cambridge sí ofrecía una rigurosa formación en matemáticas al tiempo que contaba con ilustres profesores, como los geólogos Adam Sedgwick y William Buckland, si bien éstos no daban clase a estudiantes. Hubo que aguardar a la década de 1850 para que diversas comisiones gubernamentales obligaran a esas universidades a aceptar que la enseñanza de la ciencia formara parte de sus licenciaturas. Pero incluso entonces el progreso fue lento hasta la nuevas reformas de la década de 1870, después de lo cual el Laboratorio Cavendish de Cambridge pronto se convirtió en un centro destacado de la investigación en el campo de la física. Entretanto, los no conformistas (protestantes no pertenecientes a la Iglesia anglicana) crearon el University College de Londres, que a la larga también obtuvo celebridad respecto a la formación científica. Inspirándose en los alumnos de Liebig, en 1845 el gobierno fundó la Escuela Real de Química. En parte como consecuencia de la creación de la Oficina Geológica (que hemos visto antes), en 1851 constituyó también la Escuela Real de Minas, donde con el tiempo el joven T. H. Huxley consiguió su primer empleo (Desmond, 1994, 1997). En la década de 1870, Huxley inició su famoso curso de biología para maestros utilizando como asistentes a sus jóvenes discípulos. A la larga, esas instituciones se fusionaron en el Colegio Imperial de Ciencia y Tecnología.

En la última parte del siglo, América empezó rápidamente a ponerse al día de los últimos avances en formación científica. En Baltimore, se fundó la Universidad Johns Hopkins como centro de investigación en la línea alemana, y pronto hubo varias universidades privadas que siguieron el mismo modelo. Mientras tanto, las universidades ubicadas en terrenos estatales del Medio Oeste ofrecían educación financiada públicamente que incluía las diversas ciencias y patrocinaba asimismo investigaciones en áreas de la biología relacionadas con los intereses de los agricultores. Así pues, a finales de siglo había habido una consolidación de la investigación y la enseñanza científica en las universidades y escuelas técnicas superiores de todo el mundo desarrollado. Habían aumentado muchísimo las oportunidades de empleo en el campo de la ciencia, con gran provecho para una generación

más joven como la de Huxley, el cual quería entrar en la ciencia desde los niveles más bajos de la sociedad y necesitaba un empleo remunerado. Durante los períodos de expansión rápida, las universidades también procuraron oportunidades para la creación de nuevos programas de investigación, y al facilitar la constitución de cátedras y departamentos, estimularon el reconocimiento de disciplinas científicas más especializadas. No obstante, es significativo que al principio para las mujeres resultara difícil acceder a una formación científica —incluso Huxley se oponía a su entrada en las facultades de medicina—. De todas formas, poco a poco se fueron derribando esas barreras, inicialmente a menudo mediante la creación de universidades y escuelas específicas para mujeres (Rossiter, 1982).

Los muy centralistas gobiernos de Francia y Alemania idearon un mecanismo mediante el cual se podían canalizar fondos estatales hacia formación e investigación científica si la élite gobernante daba su aprobación. En Gran Bretaña y América, no obstante, la popularidad del sistema de la libre empresa entre la clase ascendiente de los empresarios industriales hacía muy difícil la tarea de los científicos de obtener recursos del Estado (Rupke, 1988). Según el citado modelo de gobierno, el Estado no tenía ningún papel que desempeñar en ese tipo de actividades: si alguien quería hacer investigación pura como pasatiempo, debía ser lo bastante rico para mantenerse a sí mismo, y si la investigación tenía repercusiones prácticas, tendrían que financiarla las empresas que iban a sacar provecho de la misma. Esta filosofía era enormemente corta de miras, pues pasaba por alto el hecho de que buena parte de las investigaciones acaban siendo útiles sólo después de que se hayan explorado sus consecuencias durante un tiempo. Los científicos empezaron a argumentar que había un nivel de investigación pura que el Estado debía financiar porque sus beneficios potenciales eran inmensos pero demasiado inciertos para que las empresas privadas arriesgaran su dinero. En *Reflections on the Decline of Science in England* [Reflexiones sobre el declive de la ciencia en Inglaterra] (1830), Charles Babbage lamentaba la indiferencia del gobierno británico hacia la ciencia e insistía en que, si la cuestión era que ésta se desarrollara adecuadamente, había que crear una profesión científica compuesta por investigadores remunerados cuyo trabajo es-

tuviera debidamente financiado. En la formación de la Oficina Geológica de Gran Bretaña tenemos un ejemplo de las dificultades que debieron afrontar los que pretendían moverse en la dirección marcada por Babbage. En la década de 1830, Henry de la Beche ya señaló las ventajas de una oficina así para la industria minera, pero el gobierno opinaba que las empresas debían pagar por ello pese a que éstas no estaban interesadas en nada que no originara el inmediato descubrimiento de depósitos de minerales explotables. Gracias a una persistente presión, De la Beche consiguió un apoyo estatal temporal, y poco a poco la Oficina Geológica se consolidó como institución permanente. Sin embargo, durante el resto del siglo, el gobierno británico sólo financió ciencia muy a regañadientes (Alter, 1987). El proceso se aceleró en cierta medida tras la Exposición Universal de 1851, cuyos beneficios se utilizaron para crear varias instituciones científicas en South Kensington (que entonces aún se consideraba un barrio de Londres).

En Estados Unidos hubo problemas parecidos (Dupree, 1957). Varios estados crearon sus propias oficinas geológicas y unos cuantos llevaron a cabo importantes investigaciones, pero la mayoría se vieron acosados por parlamentos cicateros que exigían ventajas prácticas inmediatas para la industria local. En 1879 se creó la Oficina Geológica de Estados Unidos en el seno del ejército para estudiar los recursos potenciales del oeste, que logró resultados señalados, sobre todo bajo el mandato de su segundo director, John Wesley Powell, quien exploró el Gran Cañón (Manning, 1967). No obstante, en el ámbito federal también había una presión constante para ahorrar dinero y una consiguiente reticencia a financiar lo que se percibía como ciencia «pura», en especial el estudio de los fósiles. En 1886, el Congreso constituyó la Comisión Allison, que criticó actividades como las de la Oficina Geológica y aconsejó recortes drásticos de los fondos. De todas formas, durante el par de décadas siguientes, nacieron varios departamentos científicos gubernamentales pese a que aún no había una política científica coordinada. La mayoría de esos departamentos se ocupaban de topografía y labores medioambientales, así como de medicina, pero la Oficina de Pesas y Medidas también creó un laboratorio de física.

Los propios científicos eran conscientes del potencial de expan-

sión de su campo y estaban deseosos de aprovechar los recursos ofrecidos por gobiernos, industrias e instituciones educativas. Conocían bien el valor práctico de muchos aspectos de la ciencia, pero también se consideraban la fuerza orientadora de la sociedad moderna: si en otro tiempo la gente, en cuestiones sociales, pedía consejo a las iglesias, ahora era la ciencia la que procuraba los conocimientos pertinentes. En cualquier caso, la ciencia se expandía, como se ponía de manifiesto en la proliferación de sociedades y publicaciones especializadas. Curiosamente, el término «científico» fue acuñado en 1833 por William Whewell, aunque pasaría cierto tiempo hasta que se usara de forma generalizada. Muchos científicos creían que el sector se desarrollaría mucho más rápidamente si se convencía a la sociedad de que lo tomara más en serio y aportara los fondos precisos. Por tanto, hacían falta organismos nacionales para presionar al gobierno y a la industria a fin de conseguir financiación y garantizar que los propios científicos fiscalizaran el modo de gastar el dinero. Al mismo tiempo, la expansión estaba modificando la naturaleza de la comunidad científica. Debido a la necesidad de coordinación, la ciencia era menos individualista, y a la larga para hacer «macrociencia» no bastarían los recursos de un individuo, por rico que fuera. En las primeras décadas del siglo XIX, la ciencia aún estaba dominada por caballeros aficionados. Buena parte de la labor científica todavía tenía fuentes privadas de financiación, e incluso cuando se solicitaba apoyo del gobierno, la élite quería seguir controlándolo todo. No obstante, estaba cambiando el carácter de ese grupo científico selecto que pretendía supervisar el proceso. Personas inteligentes ajenas a la élite social se esforzaban por alcanzar niveles de formación y empleos en los que pudieran tanto llevar a cabo investigaciones como mantenerse a sí mismos y a sus familias. La minoría selecta estaba constituyendo una profesión en el sentido moderno: ya no serían caballeros aficionados sino empleados remunerados al servicio del Estado y la sociedad.

Los avances de principios del siglo XIX se han estudiado de manera exhaustiva. En Gran Bretaña, la expansión de la comunidad científica podía apreciarse en la aparición de sociedades y revistas especializadas dedicadas a las cuestiones de quienes compartían intereses investigadores (Cannon, 1978; Cardwell, 1972; MacLeod, 2000). Tras

la muerte de Banks, la Royal Society de Londres entró en decadencia, y varias sociedades especializadas asumieron el liderazgo de la ciencia británica. La más activa fue la Sociedad Geológica de Londres, fundada en 1807, en la que durante años, al parecer, se celebraron los debates más emocionantes de la capital. A finales de la década de 1830, Charles Darwin fue su secretario y coordinó un sistema sorprendentemente moderno de envío de informes para su evaluación con el fin de determinar cuáles debían ser publicados. En la práctica, eso corrió a cargo de un grupo de caballeros especialistas de Rudwick: como Darwin, eran todos adinerados y pertenecían a la élite social (aunque De la Beche perdió su fortuna familiar, lo que explica su afán por crear una oficina geológica financiada por el Estado). La Sociedad Zoológica fue fundada en 1826, también como club de caballeros —habría enconadas discusiones hasta que se permitió al público en general entrar en lo que llegaría a ser el zoo de Londres—. Luego, en 1840, le llegó el turno a la Sociedad Química, donde los intereses de quienes saludaban positivamente las aplicaciones prácticas de la ciencia desempeñarían un papel más importante.

Esa dimensión práctica también influyó en la preocupación de la comunidad científica por las relaciones públicas. En 1799, en Gran Bretaña fue fundada la Royal Institution por mecenas ricos interesados en la ciencia como agente del progreso tecnológico (Berman, 1978). Humphry Davy adquirió allí fama como experimentador en química y electricidad además de conferenciante. Una generación después, la institución cayó bajo el control de radicales de élite que pretendían reestructurar la entidad con arreglo a criterios utilitaristas. La sociedad aún mantenía un laboratorio de investigación —donde Michael Faraday sustituyó a Davy en la dirección y adquirió fama por sus estudios de electromagnetismo—, y sus conferencias públicas seguían siendo importantes para popularizar los descubrimientos científicos y convencer a las clases altas de que los problemas sociales podían tener una solución tecnológica (fig. 14.4). Pero los científicos del conjunto del país querían fomentar esos intereses a escala nacional, no sólo entre un grupo de escogidos de Londres. Babbage formuló sus quejas respecto al declive de la ciencia en Inglaterra tras asistir a una reunión de la Sociedad de Médicos y Científicos Alemanes, fundada

FIGURA 14.4. Inauguración del Laboratorio de Davy-Faraday, Royal Institution, 1987, de *Illustrated London News* (2 de enero de 1987). Este nuevo laboratorio, así llamado por los dos científicos más famosos de la institución, fue fundado por el profesor Ludwig Mond, químico e industrial. Quedó inaugurado oficialmente en una destacada ceremonia presidida por el príncipe de Gales, en la cual hizo una demostración el profesor James Dewar, que trabajó en el campo de la licuación de gases y, en el proceso, inventó el termo.

FIGURA 14.5. A principios del siglo XX, la ciencia americana se había desarrollado muchísimo. Es ésta una fotografía protocolaria de la reunión de la Asociación Americana de Anatomistas, celebrada en Toronto en 1937 (por lo general, los científicos canadienses no consideraban oportuno afiliarse a sociedades estadounidenses). En la imagen se aprecian más de un centenar de hombres, pero muy pocas mujeres.

en 1822 para unir a los científicos de los numerosos estados autónomos. Espoleados por esas quejas, los caballeros especialistas decidieron que hacía falta una sociedad británica equivalente para elevar el perfil de la ciencia, y en 1831 se celebró en York la primera reunión de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (Morell y Thackray, 1981). La asociación se reunía cada año en una ciudad de provincias distinta —al principio se descartó Londres a propósito— con el fin de constituir un foro para que los científicos se relacionaran y planearan iniciativas de presión al gobierno con el objetivo de lograr financiación y otras formas de ayuda. También fomentaba el interés local por la ciencia y brindaba un escenario en el que los «cultivadores» locales podían mezclarse con figuras nacionales. Con el tiempo, sí consiguió que el gobierno le ayudara a financiar proyectos individuales de investigación dirigidos por sus miembros más antiguos.

No obstante, buena parte de la labor de la asociación se producía entre bastidores, pues los caballeros que actuaban como élite rectora pretendían dejar la impronta de su influencia en el modo como se desarrollaban las cosas. Existía un grupo informal, los Red Lions [Leones rojos], donde se reunía el círculo de allegados, y en años posteriores el desarrollo de la ciencia británica reunió la influencia de un Club X igualmente informal, en el que Huxley y sus colegas especialistas se proponían manipular el gobierno y los nombramientos académicos para garantizar que los científicos locales alcanzaran posiciones preeminentes (Barton, 1990, 1998; MacLeod, 2000). Este grupo fue también el responsable de la creación de la revista *Nature* en la década de 1870. Para entonces, la élite ya estaba siendo sustituida por una nueva generación de profesionales resueltos, por un lado, a que la ciencia llegara a ser la nueva fuente de conocimientos y destrezas en la marcha de la sociedad, y deseosos, por otro, de tener esos conocimientos reconocidos en forma de respaldo financiero del Estado. Personalidades como Huxley sufrían frecuentes crisis nerviosas debido a sus apretados calendarios de investigaciones, clases, conferencias y labores en comisiones gubernamentales (Desmond, 1994, 1997).

Hubo avances similares en América, donde la mayor distancia geográfica entre las ciudades había estimulado la aparición de socie-

dades locales para el fomento de la ciencia. A fin de procurar coordinación nacional, en 1848 se fundó la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia (Oleson y Brown, 1976). Se produjeron graves divisiones entre los científicos más eminentes del país; un grupo conocido como los «Lazzaroni» funcionaba como el equivalente del Club X, si bien su influencia fue tomada a mal por diversas figuras destacadas que no formaban parte de la organización. Durante la guerra civil, varios miembros de los Lazzaroni, entre ellos Joseph Henry, del Instituto Smithsoniano, y A. D. Bache, de la Oficina Costera, alentaron al gobierno a crear la Academia Nacional de Ciencias a través de la cual figuras ilustres podrían ofrecer asesoramiento. Después de la guerra, disminuyó la financiación gubernamental, pero la academia sobrevivió al convertirse en un grupo selecto de base más amplia. Durante el resto del siglo ejerció poca influencia en la política gubernamental, que estuvo dirigida más a menudo a programas y estudios centrados en investigaciones individuales, pero perduraría para desempeñar un papel importante en la nueva configuración de la ciencia americana del siglo XX (fig. 14.5).

Conclusiones: ciencia y mundo moderno

En las primeras décadas del siglo XX, había surgido una forma embrionaria de la comunidad científica que conocemos en la actualidad. Para entonces, la inmensa mayoría de los científicos eran profesionales remunerados que trabajaban en universidades, centros de investigación del gobierno o la industria. El sistema educativo había crecido tanto para albergar investigación pura y aplicada como para formar a los licenciados que continuarían desarrollando la ciencia. A partir de principios del siglo XX, una proporción cada vez mayor de esos científicos fueron individuos de talento procedentes de fuera del mundo «desarrollado», atraídos hacia Europa y América por las mayores facilidades para estudiar e investigar. Los fondos para esa expansión procedían del gobierno y la industria, centrados a menudo en investigaciones que, a su juicio, tenían un beneficio práctico para la sociedad. Las fundaciones, financiadas privadamente por individuos acau-

dalados, empezaron a ejercer cierto impacto y de hecho pudieron determinar el curso de ciertas investigaciones, como cuando la Fundación Carnegie, creada en 1902 por el industrial Andrew Carnegie, comenzó a apoyar la nueva ciencia de la genética. De todas formas, el futuro dependería cada vez más del gobierno y de las investigaciones industriales aplicadas.

Gran parte del crecimiento de las investigaciones se ha producido con bastante poca creatividad, algo acaso inevitable en una situación en la que una proporción cada vez mayor de aquéllas está destinada a resolver los problemas inmediatos de la industria. Se calcula que el número de científicos mediocres es el cuadrado de los realmente creativos (Price, 1963, cap. 2). Al mismo tiempo, ha habido una enorme expansión de la investigación en colaboración, lo que ha dado lugar a un número creciente de trabajos de varios autores (actualmente no es raro ver más de una docena de nombres en la firma de un artículo). Se crean nuevas especializaciones a un ritmo cada vez más alto, a menudo con sus pequeñas sociedades y publicaciones propias pero también como redes informales de investigadores que valoran más esa cooperación que su institución doméstica.

Caben pocas dudas de que una de las principales fuerzas que han influido en el desarrollo de la comunidad científica moderna es el refuerzo del vínculo con los militares y las industrias asociadas (véase cap. 20, «Ciencia y guerra»). Durante los años anteriores a la primera guerra mundial, en la mayoría de los países el respaldo gubernamental a la ciencia era todavía limitado y estaba falto de coordinación, lo que, al principio, originó protestas que acusaban al Estado de desperdiciar sus recursos científicos. Aunque las aplicaciones militares de la ciencia fueron todavía escasas en el curso de esa contienda, se crearon nuevas instituciones para asegurar cierto nivel de cooperación. En la segunda guerra mundial, la situación cambió totalmente, especialmente en América. Por fin la macrociencia llegó a ser algo indiscutible a medida que el gobierno y la industria invitaban a científicos a participar en proyectos importantes como el desarrollo del radar o la bomba atómica. Después de la guerra, el consejero de asuntos científicos Vannevar Bush defendió la necesidad de que el gobierno norteamericano siguiera respaldando la ciencia, lo que desembocó en la

creación de la Fundación Nacional de la Ciencia en 1950. Gracias a las continuas tensiones de la guerra fría, la implicación de los científicos en el complejo militar-industrial siguió siendo elevada hasta finales del siglo XX, de tal modo que había un gran porcentaje de ellos trabajando directa o indirectamente en proyectos financiados mediante esa fuente. Los científicos de alto nivel que acaban su carrera como directores de grupos de investigación importantes han de ser tanto administradores como científicos y precisan las destrezas políticas necesarias para relacionarse satisfactoriamente con el gobierno que aporta los fondos.

Así pues, se han cumplido las expectativas de los científicos de principios del siglo XIX que colaboraron en la defensa de la utilidad de la ciencia para la industria y el gobierno, aunque quizá no de la manera que ellos esperaban. La comunidad científica ha crecido, y ha desarrollado las estructuras necesarias para funcionar en un mundo en el que a menudo sólo se puede hacer ciencia si se tiene acceso a los recursos aportados por el gobierno y las grandes empresas. Los primeros científicos seguramente se sentirían consternados al observar que al final se han creado las estructuras de colaboración sólo bajo la presión de la guerra, y que en la actualidad una parte considerable de la ciencia está dedicada a mejorar la tecnología militar. En un aspecto, no obstante, en la actualidad han resurgido sus preocupaciones cuando la gente se ha vuelto recelosa respecto al grado en que la ciencia ha caído en manos del complejo militar-industrial. Una consecuencia de la profesionalización de la ciencia fue un rechazo del ideal del siglo XIX según el cual los científicos formaban parte de la élite intelectual y pretendían influir en la opinión pública mediante artículos no especializados y charlas públicas. A principios del siglo XX, muchos investigadores consideraban que la participación en el debate público era incompatible con su objetividad científica. En la actualidad, esa situación ha comenzado a cambiar a medida que ha aumentado la presencia social de movimientos que ponen en entredicho la autoridad de la ciencia. Organismos nacionales como las Asociaciones Americana y Británica para el Avance de la Ciencia consideran nuevamente que tienen que desempeñar un papel importante en el mantenimiento de la confianza y el interés público en la ciencia. Tras haber estado un tiempo retirados en un mundo de aislamiento profesional, hoy los científi-

cos reconocen que su mensaje a la gente corriente es fundamental para la salud futura de su profesión. En este sentido, al menos, las lecciones aprendidas por las generaciones anteriores han de ser reaprendidas por los profesionales modernos.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Alter, Peter, *The Reluctant Patron: Science and the State in Britain, 1850-1920*, Berg, Oxford y Hamburgo; St. Martin's Press, Nueva York; 1987.

Barton, Ruth, «"An Influential Set of Chaps": The X Club and Royal Society Politics, 1864-85», *British Journal for the History of Science*, n.º 23 (1990), pp. 53-81.

—, «"Huxley, Lubbok, and Half a Dozen Others": Professionals and Gentlemen in the Formation of the X Club, 1851-1864», *Isis*, n.º 89 (1998), pp. 410-444.

Ben-David, Joseph, *The Scientists' Role in Society*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1971.

Berman, Morris, *Social Change and Scientific Organization: The Royal Institution, 1799-1844*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1978.

Biagoli, Mario, *Galileo Courtier: The Practice of Science in the Culture of Absolutism*, University of Chicago Press, Chicago, 1993.

Boas Hall, Marie, *Promoting Experimental Learning: Experiment and the Royal Society, 1660-1727*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Bruce, Robert V., *The Launching of Modern American Science, 1846-1876*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1988.

Cannon, Susan F., *Science in Culture: The Early Victorian Period*, Science History Publications, Nueva York, 1978.

Cardwell, D. S. L., *The Organization of Science in England*, nueva ed., Heinemann, Londres, 1972.

Crossland, Maurice, *Science under Control: The French Academy of Sciences, 1795-1914*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Desmond, Adrian, *Huxley: The Devil's Disciple*, Michael Joseph, Londres, 1994.

—, *Huxley: Evolution's High Priest*, Michael Joseph, Londres, 1997.

Dupree, A. Hunter, *Science in the Federal Government: A History of Policies and Activities to 1940*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1957.

Feingold, Mordechai, *The Mathematicians' Apprenticeship: Science, Uni-*

versities and Society in England, 1560-1640, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

Hahn, Roger, *Anatomy of a Scientific Institution: The Paris Academy of Sciences, 1666-1803*, University of California Press, Berkeley, 1971.

Heilbron, John, *Electricity in the Seventeenth and Eighteenth Centuries: A Study of Early Modern Physics*, University of California Press, Berkeley, 1979.

Hunter, Michael, *Establishing the New Science: The Experience of the Early Royal Society*, Boydell Press, Woodbridge, Suffolk, 1989.

MacLeod, Roy, *The «Creed of Science» in Victorian England*, Variorum, Aldershot, 2000.

Makay, David, *In the Wake of Cook: Exploration, Science and Empire, 1780-1801*, Croom Helm, Londres, 1985.

Manning, Thomas G., *Government in Science: The United States Geological Survey, 1867-1894*, University of Kentucky Press, Lexington, 1967.

McClellan, James E., *Science Reorganized: Scientific Societies in the Eighteenth Century*, Columbia University Press, Nueva York, 1985.

Middleton, W. E. Knowles, *The Experimenters: A Study of the Accademia del Cimento*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1971.

Morell, Jack B. y Arnold Thackray, *Gentlemen of Science: The Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, Oxford University Press, Oxford, 1981.

Oleson, Alexandra y Sanborn C. Brown (eds.), *The Pursuit of Knowledge in the Early American Republic: American Scientific and Learned Societies from Colonial Times to the Civil War*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1976.

Ornstein, Martha, *The Role of Scientific Societies in the Seventeenth Century*, University of Chicago Press, Chicago, 1928.

Price, Derek J. De Solla, *Little Science, Big Science*, Columbia University Press, Nueva York, 1963.

Pyenson, Lewis y Susan Sheets-Pyenson, *Servants of Nature: A History of Scientific Institutions, Enterprises and Sensibilities*, Fontana, Londres; Norton, Nueva York; 1999.

Reingold, Nathanm «Definitions and Speculations: The Professionalization of Science in America in the Nineteenth Century», en *The Pursuit of Konowledge in the Early American Republic: American Scientific and Learned Societies from Colonial Times to the Civil War*, Alexandra Oleson y Sanborn C. Brown, (eds.), Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1976, pp. 33-69.

Rossiter, Margaret W., *Women Scientists in America: Struggles and Strategies to 1940*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1982.

Rudwick, M. J. S., *The Great Devonian Controversy: The Shaping of Scientific Knowledge among Gentlemanly Specialists*, University of Chicago Press, Chicago, 1985.

Rupke, Nicolaas (ed.), *Science, Politics and the Public Good*, Macmillan, Londres, 1988.

Shapin, Steven y Simon Schaffer, *Leviathan and the Air-Pump: Hobbes, Boyle, and the Experimental Life*, Princeton University Press, Princeton. NJ, 1985.

— 15 —

Ciencia y religión

La mención conjunta de la ciencia y la religión evoca inmediatamente una imagen de pugna y confrontación. Todos recordamos el juicio a que fue sometido Galileo por la Inquisición y el escándalo que rodeó (y todavía rodea) a la teoría de Darwin sobre la evolución. No obstante, si pensamos un poco, esa imagen de conflicto no refleja todo lo sucedido. Muchos de los grandes científicos del pasado eran profundamente religiosos, y siempre ha habido teólogos prestos a sostener que la fe religiosa ha de ser lo bastante flexible para tener en cuenta los descubrimientos de la ciencia. Como señala James R. Moore (1979) en su análisis de los debates darwinianos, la imagen de una «guerra» perpetua entre la ciencia y la religión fue creada deliberadamente por racionalistas de finales del siglo XIX que querían contar con la ciencia como aliado en su campaña de descrédito de todas las creencias religiosas en tanto supersticiones trasnochadas. La *History of the Conflict between Religion and Science* [Historia del conflicto entre religión y ciencia] (1875) de J. W. Draper fue un documento fundacional de esta tradición. T. H. Huxley también describió la ciencia como una fuerza que debilitaría continuamente los principios de la religión organizada, si bien como agnóstico (de hecho, él acuñó el término) aceptaba que aquélla era incapaz de probar la no existencia de un Creador. De todas formas, como pone de manifiesto el estudio de Moore sobre el debate darwiniano, había muchos científicos a quienes la fe les exigió pensar cuidadosamente en las nuevas teorías, y también mu-

chos teólogos liberales dispuestos a entender la evolución como el despliegue del plan divino de la Creación. Esta tradición más liberal todavía está vigente en la actualidad, activamente promovida por organizaciones como la Fundación John Templeton.

En la ciencia hay muchas esferas diferentes, algunas de las cuales son más susceptibles que otras de generar problemas a los creyentes. Pero también hay muchas clases de creencias religiosas, y algunas se adaptan más fácilmente a las nuevas teorías sobre la naturaleza del universo. Las religiones orientales como el hinduismo y el budismo están ligadas a cosmologías que no requieren el tipo de creación reciente recogida en la Biblia cristiana ni presuponen una división espiritual entre la humanidad y el resto de la naturaleza. El judaísmo, el cristianismo y el islam son religiones teístas según las cuales hay un Dios profundamente implicado en su creación, y sus libros sagrados definen cosmologías que difícilmente se avienen con ciertos avances científicos. Sugieren que Dios no sólo diseñó y creó el mundo sino que también interviene sobrenaturalmente en el mismo para alcanzar sus fines. No obstante, algunos científicos han sido deístas creyentes en un dios remoto que proyectó el universo pero que no se inmiscuye en los pormenores de lo que sucede en el mismo. Incluso dentro de la tradición cristiana, hay muchísimas diferencias entre la dependencia existente en la Iglesia Católica romana de una fe minuciosamente controlada, el fundamentalismo de algunas Iglesias protestantes centrado en el texto de la Biblia y la tradición liberal antes mencionada. Pueden surgir conflictos entre determinadas teorías y tradiciones religiosas concretas, pero, aparte de esos puntos álgidos, tiene lugar un diálogo mucho más constructivo. En algunos casos, las dos partes pueden simplemente coexistir sin relacionarse de una manera significativa. Pero considerar este modelo de «coexistencia» como la norma pasa por alto el hecho de que el cristianismo hace efectivamente afirmaciones específicas sobre la relación de Dios con su creación y sobre la naturaleza humana. Incluso sin una lectura literal de los textos bíblicos, esas afirmaciones dan pie a que ciertas áreas de la ciencia generen inevitablemente tensiones que, cuando menos, exigirán un diálogo a fondo para ser resueltas. El aspecto importante que emerge de esas cuestiones es la necesidad que tiene el historiador de adoptar una visión contextua-

lizada de la relación, amén de explorar los diferentes modos de interacción que han entrado en juego en distintos momentos y lugares (para estudios exhaustivos, véase Brooke, 1991; Lindberg y Numbers, 1986, 2003).

Evidentemente, ciertas cuestiones teológicas desempeñan un papel en el modo como las teorías son recibidas tanto por otros científicos como por el público en general. Pero el historiador también ha de tener presente la posibilidad de que las creencias religiosas de los científicos influyan efectivamente en el tipo de ciencia que hacen. Stanley Jaki (1978) ha sostenido que la noción cristiana de Dios como legislador tuvo gran importancia para establecer el concepto de leyes naturales que podían interpretarse mediante análisis racional. Las armonías matemáticas que buscaba Kepler en los movimientos de los planetas estaban claramente influidas por su fe en un dios que imponía en el mundo un orden racional. Este ejemplo pone de manifiesto que esa clase de influencias pueden ser tanto positivas como negativas, lo que nos obliga a guardarnos de simplificaciones excesivas como la suposición de que si se utiliza una teoría para defender una creencia religiosa, esto supone necesariamente que la ciencia que se haga no sea verdadera. Hay numerosos ejemplos de teorías, sobre todo en las ciencias de la tierra, que los historiadores rechazaban calificándolas de perjudiciales para el progreso de la ciencia, justificando su popularidad exclusivamente en función del apremiante deseo de sus partidarios de defender una creencia religiosa concreta. Investigaciones posteriores han mostrado con frecuencia que esas teorías «teológicamente tergiversadas» han cumplido realmente un papel positivo en el desarrollo de posturas aceptadas en la actualidad.

En este capítulo, nos centraremos en varios temas de interés para los historiadores de la ciencia. La cuestión de la literalidad bíblica es sin duda importante, aunque no debe ser enfocada de una manera que sugiera una confrontación simple entre texto y teoría. También hemos de explorar la propuesta de que unas creencias religiosas, a menudo ligadas a valores sociales concretos, apoyan a la ciencia más que otras. Una preocupación importante es la posibilidad de que la ciencia pueda contribuir a una «teología natural» —un modo de entender a Dios mediante el estudio de su creación—, así como las amenazas que al-

gunas teorías parecen suponer para la misma. Aquí la teoría de Darwin es crucial, pues aunque se considere que la evolución es el método usado por Dios en la Creación, la selección natural de variaciones aleatorias parece mucho más un modelo ensayo/error no planeado. Y la teoría de Darwin es sólo una entre muchas de las que han creado problemas al afectar a nuestra visión de la naturaleza humana. Si la mente humana es simplemente el subproducto de las operaciones mecánicas del cerebro, la idea global de responsabilidad moral, y con ella el concepto de pecado, parece amenazada. Aunque a menudo se ha descrito que los avances en física respaldan el enfoque mecanicista de las cosas, en el siglo XX aparecieron nuevas teorías que ponían directamente en entredicho esa perspectiva, y que los pensadores religiosos recibieron como una señal de que el materialismo científico era sólo una moda pasajera.

El problema de la literalidad: cosmología

Como muchas otras religiones, el cristianismo tiene su texto sagrado, la Biblia, escrita supuestamente por inspiración divina. Pero a diferencia de otros textos, la Biblia cuenta una historia de gran trascendencia espiritual. Su finalidad es guiar al creyente hacia la fe verdadera y el comportamiento correcto, aunque también hace referencia —unas veces de manera explícita, otras por casualidad— a asuntos que conciernen a la ciencia. Los sucesos a los que alude incluyen a menudo milagros, evidentes violaciones de las leyes de la naturaleza a cargo de organismos sobrenaturales. Esos milagros podían considerarse excepciones a la regla, lo que permitía a los científicos estudiar las leyes ininterrumpidas de la naturaleza en todas las demás ocasiones. Sin embargo, mientras la ciencia acumulaba confianza en la uniformidad de las leyes naturales, se iban generando posibilidades de conflicto a medida que los científicos más militantes se volvían escépticos respecto a la credibilidad de las excepciones mencionadas en la Biblia. Para ser justos, algunos pensadores religiosos liberales también se sienten incómodos con la suposición de que el Creador, por alguna razón, está menos dispuesto a inmiscuirse en el mundo en la

época actual. Debido a eso, el conflicto directo respecto a la verosimilitud de los milagros ha sido tangencial a muchos de los debates con la ciencia.

Más importantes son las referencias directas del texto sagrado a la estructura y el origen del universo. La cuestión de cómo hay que entender esas referencias es decisiva para determinar las posibilidades de conflicto con las disciplinas científicas pertinentes. Para una persona moderna es fácil dar por supuesto que los primeros sabios cristianos insistieron en interpretar literalmente los pasajes de las Sagradas Escrituras, con lo que quedaron atrapados en un modelo particular del mundo y su origen. En realidad, no obstante, la Iglesia Católica siempre ha abordado el texto sagrado mediante un conjunto de versiones eruditas que se han acumulado a lo largo de los siglos. Muchos de los primeros Padres de la Iglesia se oponían a la literalidad: comprendían que las palabras escritas siglos o milenios atrás estaban destinadas a ser leídas por gente corriente, y acaso los estudiosos debían descifrarlas de forma más flexible. Eso no significaba que fuera fácil cambiar la interpretación de un texto si la ciencia sugería que la lectura literal era errónea, como supo Galileo por experiencia propia. Pero la posibilidad de reinterpretación estaba siempre presente si se podía convencer a la Iglesia de que era necesaria. Fueron los teólogos de la Reforma Protestante los que rechazaron esa tradición de exégesis y centraron la atención más específicamente en la Palabra de Dios que, como cada uno debía leerla por su cuenta, tenía que ser tomada muchísimo más en serio y, por tanto, de manera literal.

El primer ámbito de confrontación potencial fue la transición desde la cosmovisión geocéntrica del período medieval a la teoría heliocéntrica de Copérnico (véase cap. 2, «La revolución científica»). El juicio a Galileo ha llegado a simbolizar el carácter doloroso de esta transición, y, para muchos, representa la resolución de la Iglesia a resistir el avance de la ciencia a fin de defender la ortodoxia tradicional (fig. 15.1; véase De Santillana, 1958). Había indudablemente un problema de literalidad bíblica, pues los teólogos conservadores estaban muy deseosos de señalar pasajes ocasionales de las Escrituras que parecieran dar a entender que la tierra estaba inmóvil, en especial Josué 10.13, donde Josué le dice al Sol que se quede quieto. En su *Carta a*

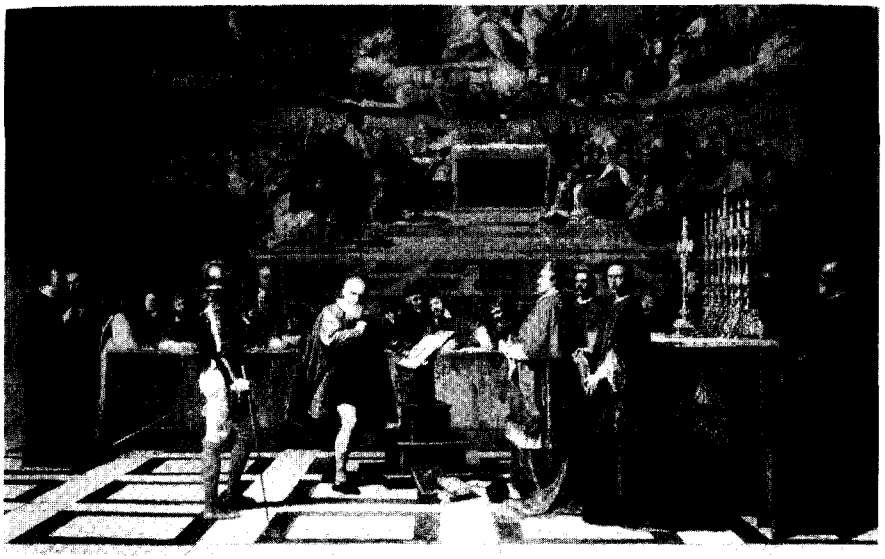


FIGURA 15.1. Galileo ante el Consejo Vaticano; pintura al óleo de Robert Fleury (Réunion des Musées Nationaux, Louvre, París/Art Resource, Nueva York). Esta imagen de Galileo al que una Iglesia todopoderosa mete en vereda refleja la mitología que creció alrededor de ese juicio, pues llegó a ser un símbolo de los vínculos entre la ciencia y el pensamiento libre.

Cristina de Lorena (1615), Galileo había intentado responder a ese argumento haciendo hincapié en que la Biblia no era un texto de astronomía y que había sido escrita en un lenguaje lógico para la gente corriente. De hecho, insinuaba que la ciencia tenía que desempeñar un papel importante en la interpretación del texto sagrado, lo que desde luego no le granjeó las simpatías de sus adversarios conservadores. Sin embargo, la hostilidad hacia Galileo fue fruto de algo más que de una literalidad estrecha de miras. A lo largo de los siglos, la Iglesia había acabado aceptando la cosmovisión aristotélica según la cual la Tierra se hallaba en el centro de un universo jerárquico, con el firmamento rodeándola conforme a un orden perfecto. Considerar que la Tierra era simplemente otro planeta que giraba alrededor del Sol constituía una amenaza para una imagen reconfortante de la humanidad como

centro de la Creación de Dios. También planteaba la inquietante posibilidad de que si los demás planetas eran como la Tierra, quizá estuvieran habitados por seres racionales que podrían crear muchos problemas a causa de su estatus espiritual y su relación con el Salvador. Según un polémico estudio llevado a cabo por Pietro Redondi (1988), en realidad el juicio fue la tapadera de un nivel más profundo de oposición a Galileo por su adhesión a una visión mecanicista del mundo. Cuando Galileo y los otros copernicanos intentaron convencer a los teólogos de que aceptaran la nueva teoría del cosmos, había en juego mucho más que una simple reinterpretación de unos cuantos pasajes de las Escrituras.

Todos los analistas actuales coinciden en que no debemos entender el juicio como un simple conflicto entre la objetividad científica y el oscurantismo religioso. En la Iglesia había muchas facciones diferentes, unas que apoyaban a Galileo, otras que le eran hostiles. A Galileo le dijeron que podía enseñar la teoría copernicana «como hipótesis», esto es, como si fuera un ardid matemático para predecir movimientos planetarios, pero no presentarla como físicamente verdadera. En su *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemanico y copernicano* (1632) no sólo desobedeció esa orden sino que incluyó pasajes que parecían ridiculizar al Papa. En esas circunstancias, las autoridades no tuvieron otra opción que actuar y forzar una retractación. Galileo no fue torturado (aunque le advirtieron que eso no estaba descartado), y su posterior encarcelamiento consistió en un arresto domiciliario en su propia quinta, así que podemos prescindir de las historias morbosas sobre su castigo. Para muchos historiadores, si Galileo hubiera sido sólo un poco más diplomático, quizá habría convencido a la Iglesia de que suavizara su postura y habría allanado el terreno para una relación mucho más positiva con la Nueva Ciencia.

También había protestantes que se oponían al sistema copernicano. Tanto Lutero como Calvino hicieron observaciones desdeñosas sobre la teoría, pero sólo de pasada; no adoptaron una actitud opositora sistemática. Los protestantes eran libres de tomar sus propias decisiones, y esto significó cada vez más que comprendían las razones para pasarse a la nueva cosmología. La idea de Kepler, protestante, de

Dios como diseñador de un cosmos racional ayudó a que los copernicanos resultaran más convincentes (véase más adelante). Al mismo tiempo, sin embargo, no deberíamos olvidar que también la Iglesia Católica fomentó la ciencia, sobre todo en esferas que no suscitaban polémicas. Los jesuitas se mostraron activos en astronomía y muchas otras áreas, si bien preferían la vieja cosmología. No obstante, queda una sensación extendida de que en el transcurso de un siglo o más, el centro de la ciencia pasó del sur de Europa al norte: por tanto, a zonas dominadas por el protestantismo. Se ha dicho que, incluso en Francia, la comunidad científica obtuvo más de la minoría protestante que de la mayoría católica. Esta sensación de que el protestantismo ofrecía una cultura más conveniente para el desarrollo de la ciencia ha quedado plenamente expresada en el caso de la Gran Bretaña del siglo XVII.

Puritanismo y ciencia

Gran Bretaña nos brinda un claro ejemplo de los cambios sociales que acompañaron a la Reforma protestante. En el siglo XVII se produjo el ascenso de una próspera clase media que vivía del comercio y cada vez tenía más ganas de cuestionar la autoridad del rey y la aristocracia. Esta polarización llegó a un punto decisivo con la guerra civil inglesa, que colocó temporalmente en el poder a los liberales de Cromwell y costó la cabeza al rey Carlos. La religión estuvo implicada, pues las fuerzas políticas conservadoras también lo eran en materia religiosa, mostrándose abierta o implícitamente favorables al catolicismo, mientras que las clases medias eran protestantes, a menudo pertenecientes al ala evangelista, identificada en la época como puritanismo. Existe la vieja suposición de que el protestantismo favoreció el ascenso del capitalismo, ligado en parte a la denominada ética protestante del trabajo. Pero esa forma de pensar fue también aplicada a la ciencia por Robert K. Merton, que sostenía que los puritanos ingleses estaban totalmente predispuestos a apoyar la Nueva Ciencia y constituyeron el núcleo de un grupo conocido como «el colegio invisible» que a la larga alcanzó cierta respetabilidad con la creación de la Royal Society de Londres (Merton, 1938; véase también Cohen, 1990; Webster, 1975;

Westfall, 1958). El análisis de Merton puede vincularse a una idea más amplia de la implicación del cristianismo en la ciencia y la tecnología, que apunta a una extendida conjetura de que la humanidad puede valerse de la ciencia para recuperar el poder sobre la naturaleza, perdido cuando Adán y Eva cometieron el pecado original (Noble, 1997; véase cap. 17, «Ciencia y tecnología».

La «tesis de Merton» ha sido muy discutida por historiadores de la ciencia, y actualmente se acepta, en el mejor de los casos, sólo en una forma modificada. La lógica del razonamiento se basaba en el supuesto de que los puritanos tendían a respaldar el estudio de la naturaleza porque la consideraban una vía para entender la obra del Creador pero también ofrecía la posibilidad de mejorar la tecnología, esencial para sus esperanzas de progreso social e industrial. Es indudable que esas motivaciones eran un componente importante del apoyo a la Nueva Ciencia. Sin embargo, los historiadores han formulado objeciones a la aplicación detallada de la tesis de Merton a la situación de la Inglaterra del siglo XVII, indicando que muchos de los primeros miembros de la Royal Society no eran realmente puritanos (aunque habría que ver qué se entendía exactamente por puritanismo, especialmente en una época en que a veces era más seguro no ser demasiado franco a la hora de expresar las propias opiniones). En un sentido más general, no obstante, algunos historiadores están dispuestos a apoyar con reservas la afirmación de que los valores protestantes contribuyeron efectivamente a la creación de una cultura en el seno de la cual podría prosperar la ciencia, sobre todo la de carácter práctico. Tras la restauración de la monarquía y la vuelta al poder de Carlos II, fueron los anglicanos moderados quienes más hicieron por fomentar el newtonianismo como base de una visión del orden mundial en el que la jerarquía social fuera lo bastante flexible para dar cabida a la iniciativa individual.

De nuevo literalidad: Génesis y geología

De cualquier modo, la erudición protestante fue responsable de otro esfuerzo importante para limitar el abanico de teorizaciones científicas: la insistencia en la verdad literal de la historia de la Creación re-

cogida en el Génesis. Eso tuvo un impacto considerable en el desarrollo de la geología (véase cap. 5, «La edad de la tierra») y, a la larga, en las reacciones ante la teoría de la evolución. Fue a mediados del siglo XVII cuando el arzobispo James Ussher publicó su conocido cálculo de que la tierra debió de ser creada en el año 4004 a.C. En un aspecto, esto se apoyaba efectivamente en una lectura literal del Génesis, pues daba por supuesto que sólo siete días separaban la creación del universo de la de Adán. En cualquier caso, la obra de Ussher sobre cronología antigua fue una respetada aportación a un intenso debate académico, por lo que no debe sorprender que en aquella época se tomara en serio la idea de una creación reciente. Hemos visto cómo la mayoría de las teorías de la tierra propuestas hacia 1700 estaban concebidas para mantenerse dentro de ese espacio temporal, si bien en el transcurso del siglo siguiente esa barrera fue continuamente erosionada (Greene, 1959).

Otro aspecto de ese enfoque literal era la suposición de que el Diluvio de Noé seguramente fue un suceso real al que se podía recurrir en teorías que pretendieran explicar los cambios evidentes producidos en la superficie de la tierra. Thomas Burnet, William Whiston y John Woodward se valieron del Diluvio para esclarecer el origen de las montañas y de las rocas con fósiles incrustados (fig. 5.1, p. 134). No obstante, en cuanto al pensamiento religioso, había entre ellos importantes diferencias. Woodward seguía la idea tradicional de que el Diluvio fue un castigo divino ejecutado por medios sobrenaturales. Pero tanto Burnet como Whiston adoptaron la nueva perspectiva materialista al explicarlo como una consecuencia natural de ciertos cambios físicos que tuvieron lugar en el cosmos, lo que significaba que sus teorías no se ajustaban exactamente a la descripción del Génesis; además, Burnet advirtió de que no se intentara establecer una relación demasiado estrecha entre la Biblia y una teoría determinada que podía resultar falsa: «Es algo peligroso comprometer la autoridad de las Escrituras en disputas sobre el Mundo Natural, en oposición a la Razón; no sea que el Tiempo, que saca todas las cosas a la luz, descubra que es evidentemente falso lo que habíamos atribuido a las Escrituras» (Burnet 1691, 1965, p. 16). Burnet recibió críticas de los teólogos basadas en que una catástrofe provocada por causas naturales habría sido ine-

vitable: por tanto, ¿cómo podía ser un castigo por los pecados de la humanidad? Tuvo que responder afirmando que un Dios omnipotente podía prever el destino de la especie humana y diseñar el mundo físico de tal manera que las leyes de la naturaleza provocaran en la tierra una convulsión en el momento preciso. Pero ese artificio no contribuyó mucho a generar confianza en las teorías, y a lo largo del siglo siguiente el Diluvio acabó desempeñando un papel mucho menos importante en las ideas geológicas. Avalar un hecho recogido en el Génesis desde luego no formaba parte del programa impulsado por Buffon y otros naturalistas de la Ilustración del siglo XVIII.

De cualquier modo, la historia del Diluvio universal resurgió alrededor de 1800 en el contexto de una reacción conservadora ante la amenaza del radicalismo de la Ilustración, especialmente cuando se consideró que esa ideología había sido el origen de la Revolución Francesa. En círculos conservadores de Gran Bretaña, nuevamente se puso de moda recurrir a la ciencia para salvar algo de la idea bíblica de la Creación. La geología uniformitariana de James Hutton, con su rechazo de una creación y de cualquier suceso catastrófico en la historia de la tierra, era un objetivo adecuado. Concretamente dos geólogos, Jean-André Deluc y Richard Kirwan, respondieron a Hutton modificando la postura neptunista rival (Gillispie, 1951). Ambos consideraban que la teoría del retroceso de los océanos era compatible con la creencia de que la tierra tenía un comienzo identificable con la Creación. Y los dos pretendían demostrar que la teoría podía dar cuenta de una inundación general en el pasado relativamente reciente. Deluc creía que el hundimiento de la tierra que cubría profundas cavernas a las que se había retirado al antiguo mar causó no sólo un Diluvio sino también una reestructuración completa de la corteza terrestre. Es fácil rechazar esas afirmaciones calificándolas de esfuerzo desesperado por oponer resistencia a la marcha de la geología científica, si bien Deluc identificó algunos fenómenos a los que Hutton no había encontrado explicación (geólogos posteriores recurrirían al período glaciar). También debemos subrayar que la postura de Deluc no era típica de la versión dominante del neptunismo defendida por A. G. Werner y sus seguidores —éstos no preveían un resurgimiento del mar una vez hubiera desaparecido.

Es preciso hacer la misma advertencia al evaluar el último esfuerzo serio de los geólogos por apoyar la idea de un Diluvio universal: las *Reliquiae Diluvianae* [Vestigios del Diluvio] de William Buckland, de 1823. Buckland, profesor adjunto de geología en Oxford, universidad con fama de conservadora, tuvo que demostrar que su ciencia no suponía ninguna amenaza para la religión. Como Deluc, había estudiado fenómenos inexplicables en términos uniformitarianos: no había evidencia alguna de que causas observables pudieran haber llenado de barro una cueva situada en lo alto de las montañas (véase fig. 5.6, p. 147). Su error fue dar por sentado que el efecto era universal, como el Diluvio, y a lo largo de los diez años siguientes incluso él tuvo que admitir que, en ese sentido, se había pasado de la raya. Lejos de ser ciencia mala, el trabajo de Buckland sobre los restos de hienas enterrados en la cueva de Kirkdale fue un modelo de la nueva anatomía comparada. Y en su modelo de historia de la tierra aparecía el Diluvio al final de una larguísima serie de transformaciones geológicas no mencionadas en la Biblia —de hecho, pensadores más conservadores lo criticaron públicamente por ello—. En la década de 1830, se iba aceptando comúnmente que la tierra tenía en efecto una larga historia. Los que pretendían adaptarse al Génesis solían seguir la sugerencia de Buffon del siglo anterior, según la cual los «días» de la Creación correspondían a eras geológicas. Cuando Darwin publicó su teoría de la evolución, en 1859, la oposición basada en una lectura literal del Génesis tenía poco respaldo gracias a la revolución operada en la geología. Sólo en la década de 1920 reapareció la forma «tierra joven» del creacionismo como base para seguir oponiendo resistencia al darwinismo.

Teología natural

Sería fácil describir la interpretación literal de la Biblia como un factor que siempre ha creado problemas a la ciencia. Pero como ha señalado Peter Harrison (1998), la moneda tiene dos caras. Los protestantes querían que cada uno leyera la Biblia por sí mismo, y para que eso fuera posible, quitaron a propósito del texto sagrado las numerosas páginas de comentarios interpretativos añadidos por la Iglesia Católica.

Una consecuencia de ello fue la supresión de muchísimos significados simbólicos y alegóricos de las historias e imágenes de la Biblia: ahora las palabras tenían que significar exactamente lo que decían, por lo que la gente realizaba una lectura literal de la historia de la Creación incluida en el Génesis. Pero según Harrison, otro efecto fue una tendencia paralela a despojar a la propia naturaleza de los símbolos en otro tiempo asociados a ella. Ya no estaba de moda, como lo había estado en el período medieval, describir cada especie animal junto con su significación heráldica y astrológica, su aspecto en los mitos y cuentos populares y otras invenciones humanas. Así pues, la literalidad bíblica puede haber sido importante para que los naturalistas se centraran en la necesidad de describir cada especie sólo como aparece en la naturaleza, lo cual habrá tenido gran trascendencia para el nacimiento de una historia natural científica.

Sin embargo, eso no significaba que la descripción de la naturaleza careciera de significación religiosa, pues se daba por sentado que el mundo era una invención divina, concebido y creado por un Dios racional y benevolente. Se comenzó a centrar la atención en la teología natural, el estudio de Dios mediante la investigación de su obra. Podían ser incorporados a ese proyecto todos los aspectos de la ciencia, desde la cosmología hasta el estudio de las formas de vida microscópicas. En cosmología, los esfuerzos de Kepler por ver un patrón racional en las órbitas planetarias ejemplifican muy bien la importancia del movimiento, aunque también Newton entendió el cosmos como un *constructo* divino. De todas formas, fue en la historia natural donde la búsqueda de ese plan obtuvo el éxito merecido. Nuevos estudios en anatomía y con el microscopio revelaban las complejas estructuras de los seres vivos, y la filosofía mecanicista animaba a los naturalistas a imaginar esas estructuras como máquinas. Como no existía el concepto de tiempo geológico, era imposible pensar en lo que denominaríamos términos evolutivos, y en cualquier caso la idea de que había que tomar el Génesis de manera literal alentó la creencia de que las especies habían sido creadas por Dios como las conocemos en la actualidad. En esas circunstancias, la descripción de la complejidad y la utilidad de las estructuras orgánicas iba a ilustrar la sabiduría y la benevolencia de su Creador.

Los astrónomos del siglo XVII heredaron la creencia de que el cosmos era un sistema ordenado que estaba gobernado por regularidades matemáticas. Copérnico intentó describir su sistema heliocéntrico como una representación mejor de ese orden divino, y los que aceptaban la realidad física del sistema sintieron la necesidad inmediata de demostrar que eso facilitaría un mayor conocimiento del patrón de la Creación. Galileo buscó argumentos físicos que respaldaran el heliocentrismo, pero para Johannes Kepler la principal obligación del astrónomo era perfeccionar el estudio matemático de las órbitas planetarias para sacar a la luz sus leyes subyacentes. Como protestante, Kepler tomaba muy en serio la idea de Dios como diseñador del cosmos, y como platónico daba por sentado que era posible expresar el orden divino en términos matemáticos. No debemos subestimar la trascendencia de esa creencia como factor motivador de su larguísima búsqueda de las leyes del movimiento planetario. No obstante, el aspecto más revelador de sus investigaciones fue el «descubrimiento» de un patrón que los astrónomos modernos rechazarían calificándolo de ilusión. En *El secreto del universo* de 1596, mostraba que, en el sistema copernicano, el espaciado de las seis órbitas planetarias se explica si aceptamos que las esferas definidas por las órbitas están separadas por los seis sólidos regulares platónicos (tetraedro, cubo, etcétera —aquí se incluyen los cinco sólidos que se pueden construir con todas las caras iguales—; véase fig. 15.2). Nada justificaba la existencia física de esa pauta, aunque a Kepler no le disgustaba la propuesta de que ciertas fuerzas físicas movieran los planetas por sus órbitas. El modelo tenía sentido sólo como diseño mediante el cual el Creador pretendía que nosotros descubriéramos y nos maravilláramos de su plan racional para el cosmos. Kepler jamás perdió interés en ese paradigma, por lo que constituye una valiosa ilustración del sistema de creencias que impulsó su búsqueda de las leyes del movimiento planetario.

El sistema solar geométrico de Kepler no tenía ningún sentido en la cosmología sugerida por Descartes, en la que los planetas eran simplemente arrastrados al azar hacia el vórtice del sol. Pero Newton también llevó a cabo la búsqueda de las fuerzas reguladoras de las órbitas planetarias basándose en el supuesto de que la totalidad del sistema

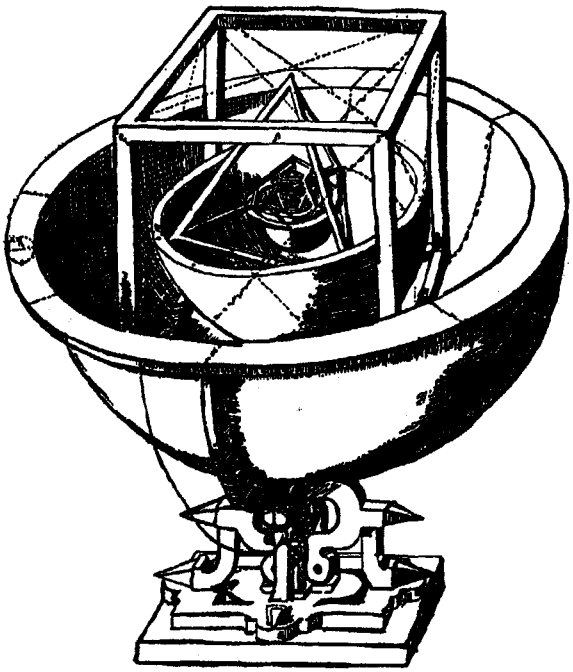


FIGURA 15.2. Modelo geométrico de Kepler del sistema solar, de *El secreto del universo* (1596). Kepler conocía sólo los seis planetas visibles a simple vista (incluida la Tierra) y relacionó eso con el hecho de que existen sólo cinco sólidos «perfectos», es decir, que todas sus caras tienen la misma forma. Sostenía que un Dios racional utilizó los sólidos para determinar el espaciado de las órbitas planetarias; en la figura se aprecia cómo los sólidos podían separar las esferas definidas por esas órbitas: Saturno (cubo), Júpiter (tetraedro), Marte (dodecaedro), Tierra (icosaedro), Venus (octaedro) y Mercurio. En la ilustración no se ven las órbitas y los sólidos más internos al ser demasiado pequeños.

era un *constructo* divino. Consideraba imposible describir un proceso físico en virtud del cual los planetas hubieran podido ser incorporados a sus órbitas actuales. Por lo tanto, Dios debió de planear así la estructura —si bien Newton estaba dispuesto a admitir la necesidad de milagros ocasionales para corregir desviaciones acumuladas en las órbitas—. No obstante, a mediados del siglo XVIII, el programa cartesiano de búsqueda de una cosmogonía física (un proceso físico que ge-

neraría el cosmos como lo vemos en la actualidad) ya había encontrado dos posibles explicaciones. Una era la teoría de Buffon de 1749, según la cual los planetas se habían desprendido del Sol debido a la colisión de un cometa. La otra era la «hipótesis nebular» propuesta por Immanuel Kant y perfeccionada por Pierre-Simon Laplace, en virtud de la cual el Sol y los planetas tuvieron su origen en el colapso de una inmensa nube de polvo rotatoria a causa de su propia gravedad. En cada caso, las leyes reguladoras del proceso eran matemáticas, pero no era posible predeterminar el patrón de las órbitas planetarias mediante ninguna abstracción geométrica porque dependía del tamaño y la consistencia de la nube original. Como mucho, el teólogo natural sólo podía maravillarse de la distancia exacta entre la Tierra y el Sol, lo que aseguraba un clima adecuado para la vida. Sin embargo, ciertos pensadores más radicales ya estaban especulando acerca de diferentes formas de vida que podrían habitar los otros planetas, una posibilidad que acaso hiciera las delicias de aquellos cuya teología fuera lo bastante liberal para incluir más de una creación pero que para muchos critianos era profundamente perturbadora.

Así pues, es lógico que la atención de los teólogos naturales empezara a centrarse cada vez más en la tierra y no en el cosmos. Para pensadores del siglo XVII como Robert Boyle y John Ray, la Nueva Ciencia proporcionaba sobradas oportunidades para rechazar las afirmaciones de ciertos materialistas según los cuales el mundo era simplemente un ensamblaje no planeado de partículas que se movían al azar. Boyle, uno de los *virtuosi* (virtuosos) destacados que fomentaron la Nueva Ciencia en Gran Bretaña, hizo aportaciones importantes a la física y la química. Era un ferviente defensor de la filosofía mecanicista, de la que se valió para desprestigiar la cosmovisión tradicional en la que se atribuían poderes mágicos a los objetos naturales. Para Boyle, esos presuntos poderes eran una negación de la auténtica creatividad de Dios: si la materia era inerte y las partículas estaban reguladas sólo por las leyes del movimiento, entonces la materia por sí sola no podía crear nada y todas las estructuras significativas del mundo tenían que haber sido concebidas y creadas por Dios. Boyle admitió a regañadientes que de vez en cuando la deidad intervenía en el mundo mediante milagros —después de todo, el cristianismo se basa en los

sucesos milagrosos recogidos en la Biblia—, pero recalcaba que, pese a esas raras excepciones, las leyes de la naturaleza ejercían un dominio absoluto sobre el mundo. Las leyes sólo podían preservar estructuras impuestas por una creación inicial sobrenatural; por sí mismas no eran capaces de crear nada. Aunque trabajó poco en historia natural, Boyle reconocía que era en el estudio de los seres vivos donde se hallaban las pruebas más claras de la obra del Creador.

Fue John Ray quien más hizo por explicar el «razonamiento basado en el diseño» en la historia natural (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»; véase también Greene, 1959). Su *Wisdom of God...* [*Sabiduría de Dios...*] (1695) se servía de gran cantidad de ejemplos sacados de la estructura de los cuerpos animal y humano para poner de manifiesto que sólo un diseño inteligente podía dar razón de las distintas maneras en que dichas estructuras funcionaban con tanta eficacia. El ojo y la mano, ambos tan importantes para la vida humana, eran los ejemplos preferidos. No era propósito de Ray afirmar que todas las demás especies se habían diseñado para nuestro provecho (aunque estaba claro que algunas sí, como el caballo). Cada especie estaba concebida para que se desenvolviera en su propio entorno, lo que confirmaba no sólo la benevolencia del Creador sino también su inteligencia. Esa atención en la utilidad o la conveniencia de las estructuras iba a desempeñar un papel importante en la adopción de actitudes ante la naturaleza, amén de generar una fascinación por la adaptación que sobreviviría (bien que cambiadísima) en la teoría darwiniana. De cualquier modo, también hemos visto que la fe de Ray en la existencia de un plan divino de la Creación fue un elemento motivador en su búsqueda de un sistema racional conforme al cual pudiera clasificarse la inmensa variedad de especies. Los cimientos de la taxonomía moderna surgieron de la creencia de que la mente humana es capaz de abarcar y representar el orden implícito del plan divino de la Creación.

Durante el siglo siguiente, los pensadores radicales de la Ilustración pusieron en tela de juicio el razonamiento basado en el diseño al resucitar la idea materialista de un mundo improvisado de forma caprichosa por las leyes ciegas de la naturaleza. No todos lo veían así: la teoría de la evolución de Erasmus Darwin consideraba que las propias leyes eran creativas y, por tanto, el conjunto del universo estaba dise-

ñado para alcanzar una meta gracias a su progreso hacia estados superiores. Pero eso era demasiado para los conservadores, sobre todo después del trauma de la Revolución Francesa. El razonamiento basado en el diseño resurgió, especialmente en Gran Bretaña, junto a una visión más bíblica de la historia de la tierra. Erasmus Darwin era uno de los objetivos del clásico replanteamiento de William Paley sobre el citado razonamiento: *Natural Theology* [Teología natural] (1802). Aquí las bases mecanicistas del razonamiento se hacían explícitas en la comparación con el reloj y el relojero: los sistemas mecánicos complejos adaptados a un fin requieren un diseño inteligente.

La resultante oleada de entusiasmo por el razonamiento basado en el diseño a veces ha sido calificada de callejón sin salida en el desarrollo de la ciencia. Estimuló la acumulación de innumerables ejemplos de adaptación, todos presentados acríticamente como pruebas de diseño, como en las ocho aportaciones a los *Bridgewater Treatises* [Tratados de Bridgewater] de la década de 1830. Sin embargo, como hemos visto al analizar la revolución darwiniana, la teología natural no era estática del todo. Paleontólogos como Buckland utilizaron el concepto de adaptación para entender el estilo de vida y el entorno de las especies fósiles que describían, y postularon una serie de creaciones, cada una de ellas adaptada al clima de un período geológico concreto. Otros usos más imaginativos del razonamiento basado en el diseño procedían de naturalistas como Louis Agassiz y Richard Owen, que buscaban patrones que reunieran la totalidad de la Creación en un conjunto integral. El concepto de Owen del arquetipo desplegándose en diversas formas con distintas especializaciones brindó a Darwin una prueba útil y acercó al propio Owen a la idea de la evolución. Los anónimos *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la Creación] (1844) publicados por Chambers consideraban el concepto de la evolución como el despliegue firme y gradual de un plan divino en la esfera pública. Chambers lo enlazó todo, desde la hipótesis nebular hasta el agrandamiento del cerebro humano, con un inmenso sistema de progreso reglamentado, todo ello originado en las leyes grabadas por el Creador en la naturaleza al principio del universo.

El desafío del darwinismo

La teoría de Darwin era diferente (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Desde luego dependía de una compleja interacción de muchos procesos reglamentados, pero resultaba difícil imaginar cómo podía entenderse el conjunto como la expresión de un propósito divino. La teoría parecía reavivar el viejo desafío materialista al razonamiento basado en el diseño, sobre todo cuando la variación de la que se alimentaba la selección natural debía ser «aleatoria» en el sentido de que generaba muchas modificaciones diferentes sin finalidad aparente. ¿Podía la selección natural por sí misma ser la raíz de los propósitos del Creador? Si funcionaba gracias a la muerte y el sufrimiento de miríadas de individuos no aptos, era algo difícil de creer. Al final, muchos prefirieron creer que la evolución ha de operar más con arreglo a lo sugerido por Chambers; debe de haber algún patrón incorporado a las leyes de la variación para garantizar que se abre paso en la dirección adecuada. Sin embargo, recurrir al diseño de Dios como única explicación de por qué la evolución avanzaba hacia el progreso les parecía algo cada vez más desfasado a los científicos que esperaban llegar a comprender el mundo únicamente en función de las leyes naturales. En vez de incorporar lo sobrenatural en las leyes, quizá sería mejor buscar en la evolución tendencias dominantes que —aunque sólo indirectamente fueran productos de complejas interacciones parecidas a leyes—, no obstante, pudieran considerarse expresiones de un plan divino. El elemento del diseño se hacía mucho menos explícito, y a veces costaba distinguir las teorías resultantes de las de los materialistas, muchas de los cuales también daban por sentado que el universo generaría progreso inevitablemente.

El mismo Darwin empezó siendo un hombre religioso, y cuando leyó la *Natural Theology* [Teología natural] de Paley quedó cautivado. Incluso al concebir la teoría de la selección natural por lo visto pensó que era un proceso concordante con la benevolencia divina, pues el sufrimiento de unos pocos facilitaba la adaptación y, por tanto, la felicidad de toda la especie en las generaciones futuras (Ospovat, 1981; véase también Gillespie, 1979). Eso cambió cuando empezó a reparar

en todas las repercusiones derivadas del principio de la población de Malthus, según el cual debían morir muchos aunque la especie ya estuviera bien adaptada. Poco a poco fue comprendiendo la crueldad de la naturaleza y, en consecuencia, mostrándose menos inclinado a considerar la selección como un agente de la divina providencia —aunque jamás llegó a ser un ateo declarado—. También siguió convencido de que a largo plazo, y a pesar de los muchos callejones sin salida, la evolución generaba efectivamente formas superiores de vida, entre ellas los seres humanos. Así pues, no fue una actitud del todo cínica terminar su *Origen de las especies* con un himno al progreso a través del sufrimiento y con la inferencia de que todo formaba parte del propósito del Creador.

Pese a esos esfuerzos de reconciliación, las repercusiones materialistas de la teoría fueron ciertamente obvias, y al principio el debate resultante estuvo cargado de emotividad. Una de las confrontaciones clásicas se produjo entre el «bulldog de Darwin», Thomas Henry Huxley, y el obispo Samuel Wilberforce, en la reunión celebrada en 1860 en la Asociación Británica (fig. 15.3). Aunque se acepta comúnmente que Huxley salió victorioso del lance, hoy también sabemos que fue una discusión muy poco concluyente. A lo largo de la siguiente década poco más o menos, muchas personas instruidas se pasaron al evolucionismo, pese a que muy pocas aceptaban la selección natural como una explicación adecuada (Durant, 1985; Ellegård, 1958; Moore, 1979). Para muchos, la dificultad de conciliar la teoría de Darwin con el diseño divino era de lo más esencial, y, para ser justos, la propuesta de Huxley y Herbert Spencer seguramente iba a exacerbar sus temores. Ambos respaldaban un «naturalismo científico» en el que, para explicar el mundo, sólo podían utilizarse procesos regulados por la ley, descartando todo elemento sobrenatural incluso en forma de plan original impuesto en la Creación. Una teoría estrictamente naturalista de la evolución era parte integral de una forma tal de pensar, y aunque Huxley y Spencer tenían sus reservas sobre la idoneidad de la selección natural, debían aceptarla como ejemplo del tipo de teoría requerida por su filosofía. Para pensadores más conservadores como Wilberforce, ese rechazo total del diseño divino era precisamente lo que volvía la teoría inaceptable. El respetado astrónomo sir

FIGURA 15.3. Caricaturas del obispo Samuel Wilberforce (izquierda) y T. H. Huxley (derecha), los dos antagonistas de la confrontación de 1860 sobre el darwinismo en la Asociación Británica, de la revista *Vanity Fair* en 1869 y 1871. En versiones posteriores del episodio dadas por partidarios de la ciencia se creó el mito de que Huxley había derrotado al obispo al denunciar la superficialidad de su recurso a la sensiblería popular.

J. F. W. Herschel se oponía a la teoría calificándola de «ley sin orden ni concierto» y proponía que la evolución fuera entendida como un proceso que obraba bajo supervisión divina. Richard Owen —considerado a menudo un adversario declarado de la evolución porque escribió una reseña crítica del *Origen...*— hizo un llamamiento parecido, al igual que su discípulo, el anatomista católico St. George Jackson Mivart. Sugerían lo que en ocasiones se ha denominado un «evolucionismo teísta»: la evolución procede con un elemento de di-

seño sobrenatural incorporado a las mismas leyes en virtud de las cuales opera, lo que garantiza que el proceso se dirija hacia un objetivo predeterminado.

Podemos hacernos una idea de las tensiones creadas por la teoría en la reacción de una figura que, aparentemente, se consideraba seguidor de Darwin. Se trataba del botánico americano Asa Gray, un hombre profundamente religioso que, sin embargo, advertía las ventajas que tenía para los científicos una teoría basada en un proceso de adaptación. En los artículos reunidos en *Darwiniana,* de 1876, vemos a Gray forcejeando con la cuestión de si es posible aceptar la selección natural como un proceso establecido por Dios, concebido para dar lugar a estructuras adaptativas complejas; e intentando sostener que en realidad da igual cómo se consiga el objetivo: si se consigue, se ha cumplido el designio de Dios. Pero nuevas reflexiones lo obligan a admitir que un proceso que requiera la producción interminable de variaciones inútiles (la «escoria de la Creación», nacida sólo para perecer, en su pintoresco lenguaje) sin duda tendrá dificultades. Al final, aconseja a Darwin asumir que la variación no es aleatoria sino que «ha sido guiada con arreglo a ciertas pautas beneficiosas» (Gray, 1876, 147-148). Darwin protestó replicando que eso haría innecesaria la evolución. Lo más grave de esa idea era que reintroducía lo sobrenatural de un modo que para muchos científicos sería desconcertante, pues el efecto está incorporado a las leyes de la naturaleza y no es posible diferenciarlo de las mismas.

Una solución al dilema de Gray era optar por el otro mecanismo disponible de la evolución adaptativa, la herencia de rasgos adquiridos, actualmente conocida como lamarckismo. A finales del siglo XIX, la oleada de entusiasmo en torno al lamarckismo, elemento esencial del eclipse del darwinismo, por supuesto se debió en parte a preocupaciones religiosas y morales sobre las consecuencias de la teoría de la selección. El lamarckismo permitía a las especies adaptarse a cambios en su entorno mediante los esfuerzos colectivos de todos sus miembros en respuesta a un nuevo hábito (como las jirafas al alimentarse de las hojas de los árboles). Era un proceso totalmente natural, todavía verosímil en el período anterior a la aparición de la genética mendeliana, y funcionaba sin la eliminación de los no aptos porque to-

dos los miembros de la especie aprendían el hábito nuevo y se adaptaban al nuevo modo de vida. Como sostenía el paleontólogo neolamarckiano Edward Drinker Cope en su *Theology of Evolution* [Teología de la evolución] (1887), la capacidad de los animales para dirigir la evolución a través de sus propios esfuerzos puede interpretarse como la creatividad de Dios delegada en la fuerza vital que los anima. El novelista Samuel Butler, que llegó a ser uno de los principales adversarios de Darwin, articuló opiniones parecidas partiendo de una perspectiva más moral que teológica. Según Butler, la selección natural representaba un materialismo sin alma en virtud del cual para los animales vivir o morir era una lotería. Así pues, el lamarckismo acabó siendo la alternativa preferida para muchos que manifestaban reservas acerca de la selección natural, pese a que había pocas pruebas directas de la herencia real de los rasgos adquiridos.

Los que querían ver la evolución como la expresión de un designio divino también hacían hincapié en su carácter progresivo y en la inferencia de que el espíritu o la mente humana eran su producto buscado. Esa interpretación aún era habitual a principios del siglo XX, cuando formó parte de un esfuerzo concertado de varios científicos y teólogos para sugerir que se había superado la hostilidad de la época victoriana (Bowler, 2001; Livingstone, 1987; Turner, 1974). En la década de 1920, el biólogo J. Arthur Thomson escribió un libro que se hizo muy popular titulado *The Gospel of Evolution* [El evangelio de la evolución]. Como muchos de sus contemporáneos, Thomson se inspiraba en el filósofo Henri Bergson y su idea de una «evolución creativa» impulsada por una fuerza vital que luchaba por superar las limitaciones de la materia. Según ese modelo, el curso exacto de la evolución no estaba predeterminado; sólo lo estaba el carácter global de lo que se consideraba progreso, esto es, la ascensión hacia la mente. El psicólogo Conwy Lloyd Morgan promovió la idea de «evolución emergente», según la cual cualidades nuevas como la vida, la mente o el espíritu aparecían de pronto en momentos clave de la ascensión hacia una complejidad creciente. Para muchos cristianos liberales, esas nociones parecían volver aceptable el concepto básico de la evolución. Sin embargo, en ese intento de síntesis estaba presente una fuerte oposición tanto al seleccionismo darwiniano como a la postura mecanicista

de la vida. A medida que avanzaba el siglo XX, no obstante, fue quedando cada vez más claro que el darwinismo y el mecanicismo se convertían en las fuerzas dominantes en biología. Los teólogos modernos aún están intentando descifrar las repercusiones de esos hechos.

Incluso en el momento en que el lamarckismo consiguió eclipsar al darwinismo, había cristianos conservadores que seguían mostrándose recelosos ante el compromiso basado en la suposición de que la evolución tiene un sentido. El problema de la idea de progreso era que debilitaba la creencia tradicional de que los seres humanos son criaturas perdidas, pecadoras, que necesitan salvarse a través de Cristo. Esas preocupaciones comenzaron a manifestarse más claramente a principios del siglo XX en América, donde en especial en el sur se temía que los conceptos y valores modernos estuvieran socavando los cimientos de la sociedad cristiana. El movimiento fundamentalista (que tomó el nombre de una serie de panfletos titulada *The Fundamentals* [Los fundamentos]) obtuvo un respaldo considerable; hubo asimismo cada vez más peticiones de que se limitara la enseñanza del darwinismo porque suponía un puntal clave de la plataforma modernista. Algunos estados empezaron a aprobar leyes que prohibían la enseñanza de la evolución, lo que dio origen, en 1925, al famoso episodio del «juicio de los monos» a Thomas Scopes por desobedecer la ley aprobada en Tennesee (fig. 15.4). La leyenda que rodea ese juicio habla de creacionistas cortos de luces haciendo el ridículo ante periodistas de todo el mundo, pero la historia real es mucho más compleja (Larson, 1998; Numbers, 1998). Los fundamentalistas no eran partidarios de la literalidad bíblica (algunos incluso aceptaban cierta forma de evolución); sus preocupaciones tenían más que ver con genuinos temores a las consecuencias materialistas del darwinismo. De hecho, en esa época se produjo un renacimiento del «creacionismo de la tierra joven» a medida que personajes como George McCready insuflaban nueva vida a la vieja idea de que todas las rocas con fósiles incrustados se depositaron tras el Diluvio universal (Numbers, 1992). Pero el movimiento siguió estando en buena parte aislado hasta que, en la década de 1960, miedos renovados suscitados por el éxito de la síntesis darwiniana moderna desencadenaron una oleada de apoyo a sus posturas. Se obstaculizaron los esfuerzos para que se enseñara en las escuelas esa forma de

FIGURA 15.4. Juicio de Scopes, 1925. Clarence Darrow, en mangas de camisa por el calor, realiza la defensa del caso ante los miembros del jurado.

«ciencia de la creación», en parte porque la postura de la tierra joven está clarísimamente ligada a la historia del Génesis. En la actualidad, la atención de los creacionistas se centra en la teoría del «diseño inteligente», que resucita el viejo razonamiento basado en el diseño de Paley afirmando que algunos procesos biológicos son tan complejos que no se pueden haber formado por evolución gradual.

Materialismo y naturaleza humana

La respuesta fundamentalista nos recuerda que hay otro aspecto del problema: la evolución no sólo plantea dudas sobre cómo gobierna Dios el universo, sino que también amenaza el concepto tradicional del

alma humana. El cristianismo siempre había dado por supuesto que los seres humanos difieren de los animales en que poseen un alma inmortal que será juzgada por su Creador. Al afirmar que los humanos proceden de los animales en virtud de un proceso natural, la evolución cuestiona esa creencia y nos anima a imaginar la naturaleza humana simplemente como una prolongación de las capacidades mentales que ya tienen los animales. De ese modo, se liga a una filosofía materialista más general según la cual la mente es, en el mejor de los casos, sólo un subproducto de las actividades físicas del cerebro. Un cerebro mayor equivale a mayores capacidades mentales, pero éstas son, aun así, producidas por un sistema material regido por la ley natural: están totalmente determinadas (lo que mina el concepto del libre albedrío) y desaparecen cuando al morir el individuo se destruye el cerebro. Los pensadores religiosos estaban muy preocupados por esas consecuencias. Muchos fueron capaces de convencerse a sí mismos de que la mente humana quizá resultaba de la evolución, pero rechazaban la postura materialista y, por tanto, tendían a sostener que la evolución era dirigida por la mente, quizá por la fuerza de voluntad de los propios animales.

Descartes había aplicado la filosofía mecanicista a los animales, que para él eran sólo máquinas complejas, pero había subrayado que un ser humano combina un cuerpo material con un alma no física. Fueron los materialistas de la Ilustración quienes propusieron la audaz idea de que la mente humana es un subproducto de ciertos procesos físicos del cerebro. En *El hombre máquina* (1748), J. O. de la Mettrie analizó la cuestión de manera explícita. A principios del siglo XIX, el movimiento conocido como frenología sostenía que cada función mental se generaba en una parte concreta del cerebro, y que podía deducirse la personalidad de un individuo a partir de la forma de su cráneo. La frenología pronto fue rechazada y calificada de pseudociencia, si bien a finales del siglo XIX se experimentaron en neurofisiología (estudio del funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso) importantes avances según los cuales era realmente necesario que el cerebro operara adecuadamente para que se pusieran de manifiesto las funciones mentales. Surgió la posibilidad de una explicación del todo naturalista de la mente, que para muchos pensadores religiosos llegó a ser profundamente perturbadora (véase cap. 18, «Biología e ideología»).

En sus *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la creación], Chambers se había valido de la frenología para afirmar que el agrandamiento del cerebro producido por evolución progresiva generó un incremento consiguiente de las capacidades mentales que precedieron a la conciencia humana. Darwin dio por sentada la idea materialista de la mente y utilizó su teoría para explicar cómo y por qué se han desarrollado determinadas funciones mentales a lo largo de la evolución humana. Para Darwin, nuestros valores morales son una consecuencia de ciertos instintos sociales que llevamos incorporados debido a la selección natural. Huxley fue aún más lejos: estaba poco interesado en el proceso a lo largo del cual habíamos evolucionado, pero defendió la idea de que los animales son esencialmente autómatas y no se esforzó en disimular su opinión de que podíamos interpretar la mente humana de manera parecida. La postura materialista fue ampliamente difundida en Alemania, donde Ernst Haeckel la vinculó al evolucionismo. Haeckel era en apariencia monista: mantenía que la mente y la materia son sólo expresiones concomitantes de una única sustancia subyacente. Pero no ocultó su desdén hacia la idea tradicional del alma: los seres humanos sólo son elementos de la naturaleza regulados por las mismas leyes naturales. La mente es un producto del cerebro y desaparece en el momento de la muerte, por lo que no puede existir un alma inmortal ni nada parecido. El *Riddle of the Universe* [Acertijo del universo] de Haeckel (traducido al inglés en 1900), una obra muy leída de esa filosofía, fue considerado un duro desafío a la religión. De cualquier modo, es significativo que la negación de Haeckel de un creador sobrenatural no le impidiera creer que la evolución era forzosamente progresiva. Eran las leyes de la naturaleza, no un plan divino, lo que aseguraba la ascensión hacia la especie humana.

La oposición a la postura materialista llevó a muchas personas religiosas a apoyar tanto teorías científicas como conceptos filosóficos que parecían ofrecer una visión alternativa de la vida y la mente. La teoría lamarckiana se basó sobre todo en la creencia de que, si era cierta, los seres vivos tenían la capacidad de escoger nuevos hábitos y, en consecuencia, dirigir su propia evolución. La evolución creativa de Bergson se centró en la misma perspectiva antimaterialista. A finales

del siglo XIX, en fisiología surgió una corriente de oposición al mecanicismo, encabezada por Hans Driesch, seguida de un nuevo movimiento de respaldo a las teorías holísticas y organísmicas según las cuales los sistemas complejos pueden exhibir propiedades que no se deducen de la conducta de sus partes constituyentes. Pero los teólogos que apoyaban esos movimientos de la ciencia corrían el riesgo de establecer un paralelismo con la negativa de los materialistas a admitir distinciones claras entre los seres humanos y los animales. Por eso la teoría de la evolución emergente llegó a ser popular, pues Lloyd Morgan presuponía varios pasos diferenciados en los que habían surgido las nuevas propiedades, lo que habría generado vida, mente y espíritu, siendo este último característico sólo de la última fase de la evolución de la humanidad.

Física contra materialismo

A principios del siglo XX, los esfuerzos por fomentar una biología mecanicista no tuvieron éxito alguno, y diversos avances nuevos en neurofisiología sólo agravaron el problema de los que deseaban defender la idea tradicional del alma. Sin embargo, recibieron cierto apoyo de forma inesperada: ahora la propia física volvía la espalda a la visión materialista de la naturaleza, lo que llevó a algunos filósofos y teólogos a esperar que eso reabriera el camino para que la mente fuera una entidad independiente. Es dudoso que los físicos jamás hubieran respaldado seriamente el simple modelo de bola de billar (reacción en cadena) de la realidad atribuido a ellos por los materialistas: el propio Newton había dotado a la materia casi de poder místico para atraer de lejos. De cualquier modo, a finales del siglo XIX había surgido una tímida alternativa al mecanicismo en la teoría del éter, un fluido ligero que supuestamente ocupaba todo el universo para ser el medio a través del cual se transmitían la luz y otras formas de radiación. Tal vez el éter podía brindar un mecanismo en virtud del cual la mente se relacionaba con las formas de materia más ordinarias. En física, con las revoluciones que caracterizaron el inicio del siglo XX el éter quedó desacreditado, pero al mismo tiempo la aparición de la mecánica cuánti-

ca pareció debilitar la perspectiva materialista tradicional de un universo autosuficiente y totalmente reglamentado que existe al margen de las mentes que lo perciben.

El éter dominó los puntos de vista teóricos de algunos de los físicos más creativos de finales del siglo XIX, entre ellos lord Rayleigh y J. J. Thomson, para quienes la existencia de ese medio tenue era evidente, pues sin él no habría mecanismo alguno gracias al cual pudiera transmitirse la energía. No obstante, en su planteamiento el éter cumplía un papel filosófico, teológico y, en última instancia, ideológico más amplio. Eso ponía en entredicho a los materialistas al sugerir que el mundo era un cosmos unificado y entrelazado más que un conjunto de átomos moviéndose al azar por el espacio, con lo que la física volvía a alinearse con la teología natural. En manos de Oliver Lodge, sin embargo, también hizo que la mente y el espíritu parecieran reales una vez más, pues ofrecía un lugar donde cabía interpretar que tenía lugar su actividad independiente del cuerpo material aunque ligada al mismo. Lodge, perteneciente a un pequeño grupo de científicos eminentes muy interesados en el espiritualismo y lo paranormal, escribió una serie de libros en los que sugería que el espíritu sobrevivía a la muerte del cuerpo material en el plano etéreo (Oppenheim, 1985). También explotó la idea de la evolución progresiva tanto en el mundo orgánico como en el espiritual.

Hacia la década de 1920, la física del éter de Lodge se volvió desfasada a causa de la relatividad, pero otra revolución en la física pareció alejar aquella área científica aún más del materialismo. La mecánica cuántica y el principio de la incertidumbre socavaron el enfoque mecanicista al poner de manifiesto que el comportamiento de las partículas estaba regulado por leyes estadísticas y jamás podría predecirse con precisión absoluta (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). Aunque la mente fuera un producto de la actividad física del cerebro, esa actividad no estaba predeterminada de una manera estricta, lo que permitió a algunos pensadores religiosos afirmar que el libre albedrío ya no estaba en peligro. Además, parecía que el estado final de un sistema sólo quedaba esclarecido cuando era realmente observado, de modo que el observador consciente desempeñaba un papel en la creación de realidad: no era simplemente un espectador pasivo. Eso signi-

ficaba que la mente humana era esencial a la nueva visión que los físicos tenían de la realidad y planteaba la posibilidad de que todo el universo dependiera, en cierto sentido, de una Mente que de algún modo trascendiera todos los actos individuales de observación. Como señaló A.S. Eddington en su conocidísimo *The Nature of the Physical World* [La naturaleza del mundo físico], «para un científico razonable, la religión se hizo posible por primera vez hacia el año 1927» (1928, p. 350). James Jeans fue más lejos en su *Mysterious Universe* [Universo misterioso] (1930), donde anunció que, según la nueva física, la mejor forma de imaginarse el universo era como un pensamiento en la mente de un creador matemático. Era como si hubiera resucitado la versión platónica de Kepler de la teología natural. No es de extrañar que los teólogos se apresuraran a aclamar la nueva física como base de la nueva reconciliación entre la ciencia y la religión, si bien no todos los físicos admitieron esa interpretación de buena gana.

Jeans y Eddington eran tanto cosmólogos como físicos y estaban muy al corriente de los últimos avances según los cuales nuestra galaxia es sólo una entre muchas. El universo es inmenso hasta el punto de escapar a nuestra comprensión, pero ¿significa eso que debe contener otros planetas habitados? Jeans encabezó un ataque contra la hipótesis nebular al sostener que, contrariamente a ésta, el material planetario procedía del Sol debido a una casi colisión con un cometa (prácticamente un resurgimiento de la teoría de Buffon). Mantenía que, como esas casi colisiones eran sumamente raras, el nuestro es uno de los pocos sistemas planetarios existentes en el conjunto del universo. Lo cual significaba que la especie humana era de nuevo el centro de toda la Creación en el sentido de que probablemente somos los únicos observadores conscientes del sistema que nos ha creado. Los cosmólogos también conocían la inmensa edad del universo y las pruebas según las cuales se estaba expandiendo hacia el exterior desde un origen que más adelante recibiría el nombre de «big bang». A los teólogos liberales no se les escapaba la congruencia entre este modelo y la descripción del acto original de la Creación. Diversos esfuerzos por comprender la naturaleza del big bang desembocarían a la larga en la idea de que aquél estaba «ajustado» para garantizar la aparición de un universo en el que pudiera evolucionar vida inteligente. Así pues, los

teólogos liberales encontraron tanto en la física como en la cosmología una fecunda fuente de inspiración, pese a que la renovada amenaza del darwinismo en la biología animaba a los fundamentalistas a rechazar la cosmología y la geología como guías de la historia del mundo.

Conclusiones

Un estudio histórico de la relación entre la ciencia y la religión revela que no pueden ser consideradas ni aliados naturales ni enemigos naturales. El modelo de enfrentamiento se viene abajo frente a la larga tradición de la teología natural y el hecho evidente de que una teología así a menudo ha dado apoyo a las ideas científicas. En cualquier caso, todo intento de sostener que la ciencia siempre puede armonizarse con la religión ha de hacer frente a los numerosos hechos en que las religiones se cierran en banda sobre cuestiones doctrinales en las que no ceden pese a los avances científicos. Por cada religioso liberal dispuesto a adaptar sus ideas a las últimas tendencias científicas, hay un conservador para quien ciertas creencias acerca de la naturaleza o la condición humana son artículos de fe a los que no se puede renunciar. No existe una forma única, natural, de relación entre las dos entidades, pues hay muchas religiones (incluyendo muchas variantes distintas en el cristianismo) y muchas áreas científicas diferentes, cada una de las cuales plantea sus propios problemas. Incluso dentro del mismo debate, a menudo es posible que, sobre una teoría o un principio teológico, se adopten diferentes interpretaciones que alienten o bien la conciliación o bien el conflicto. Al historiador, la cuestión que le interesa es la siguiente: ¿quién elige una determinada política y por qué?

En vez de estimular a los que reclaman una política única de amistad o enemistad, la historia de la ciencia pone de manifiesto que la interacción es de carácter contingente y local, distinta en diferentes países y comunidades, amén de continuamente cambiante. El cometido del historiador consiste en comprender los factores científicos, teológicos y culturales que determinan el resultado en cada situación. Si hemos de extraer una lección de un estudio así, una de ellas es la necesidad, por un lado, de ser conscientes de la diversidad presente en

nuestros modernos sistemas de creencias y, por otro, de reconocer los valores implícitos en las estrategias que las partes enfrentadas utilizan para interpretar el pasado. Haciendo hincapié en una selección cuidadosamente escogida de acontecimientos, cada bando puede conseguir que su postura parezca estar en sintonía con una tendencia histórica. Ciertos estudios exhaustivos dan a entender que hace falta un enfoque menos dogmático y más matizado.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Bowler, Peter, J., *Reconciling Science and Religion: The Debate in Early-Twentieth-Century Britain*, University of Chicago Press, Chicago, 2001.

Brooke, John Hedley, *Science and Religion: Some Historical Perspectives*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.

Burnet, Thomas, *The Sacred Theory of the Earth*, Basil Willey, ed., Centaur, Londres, 1691, 1965 (hay trad. cast.: *Telluris theoria sacra orbis nostri: originem & mutationes generales, quas aut jam subiit, aut olim subiturus est complectens*, Universidad de Valencia, Valencia, 1999).

Cohen, I. Bernard (ed.), *Puritanism and the Rise of Science: The Merton Thesis*, Rutgers University Press, New Brunswick, Nueva Jersey, 1990.

De Santillana, Giorgio, *The Crime of Galileo*, Heinemann, Londres, 1958.

Durant, John, *Darwinism and Divinity: Essays on Evolution and Religious Belief*, Blackwell, Oxford, 1985.

Eddington, Arthur Stanley, *The Nature of the Physical World*, Cambridge University Press, Cambridge, 1928.

Ellegård, Alvar, *Darwin and the General Reader: The Reception of Darwin's Theory of Evolution in the British Periodical Press, 1859-1871*, Acta Universitatis Gothenburgensis, Gotemburgo, 1958; reimpr. University of Chicago Press, Chicago, 1990.

Gillispie, Neal C., *Charles Darwin and the Problem of Creation*, University of Chicago Press, Chicago, 1979.

Gillispie, Charles C., *Genesis and Geology: A Study in the Relations of Scientific Thought, Natural Theology, and Social Opinion in Great Britain, 1790-1850*, reimpr. Harper & Row, Nueva York, 1951.

Gray, Asa, *Darwiniana: Essays and Reviews Pertaining to Darwinism*, Appleton, Nueva York, 1876; reimpr. ed. A. Hunter Dupree, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1963.

Greene, John C., *The Death of Adam: Evolution and Its Impact on Western Thought*, Iowa University Press, Ames, 1959.

Harrison, Peter, *The Bible, Protestantism, and the Rise of Natural Science*, Cambridge University Press, Cambridge, 1998.

Jaki, Stanley, *The Road of Science and the Way to God*, University of Chicago Press, Chicago, 1978.

Larson, Edward J., *Summer of the Gods: The Scopes Trial and America's Continuing Debate Over Science and Religion*, Basic Books, Nueva York; Harvard University Press, Cambridge, MA; 1998.

Lindberg, David C. y Ronald L. Numbers (eds.), *God and Nature: Historical Essays on the Encounter between Christianity and Science*, University of California Press, Berkeley, 1986.

—, *When Science and Christianity Meet*, University of Chicago Press, Chicago, 2003.

Livingstone, David N., *Darvin's Forgotten Defenders: The Encounter between Evangelical Theology and Evolutionary Thought*, Eerdmans, Gran Rapids, MI, 1987.

Merton, Robert K., *Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England*, St. Catharine Press, Bruges, 1938; reimpr. Harper, Nueva York, 1970.

Moore, James R., *The Post-Darwinian Controversies: A Study of the Protestant Struggle to Come to Terms with Darwinism in Great Britain and America, 1879-1900*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.

Noble, David, F., *The Religion of Technology: The Divinity of Man and the Spirit of Invention*, Knopf, Nueva York, 1997 (hay trad. cast.: *La religión de la tecnología: la divinidad del hombre y el espíritu de invención*, Paidós, Barcelona, 1999).

Numbers, Ronald L., *The Creationists*, Knopf, Nueva York, 1992.

—, *Darwinism Comes to America*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1998.

—, *When Science and Christianity Meet*, University of Chicago Press, Chicago, 2003.

Oppenheim, Janet, *The Other World: Spiritualism and Psychical Research in Britain, 1850-1914*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

Ospovat, Dov., *The Development of Darwin's Theory: Natural History, Natural Theology, and Natural Selection, 1838-59*, Cambridge University Press, Cambridge, 1981.

Redondi, Pietro, *Galileo Heretic*, Allen Lane, Londres, 1988.

Turner, Frank Miller, *Between Science and Religion: The Reaction to Scien-*

tific Naturalism in Late Victorian England, Yale University Press, New Haven, CT, 1974.

Webster, Charles, *The Great Instauration: Science, Medicine and Reform, 1626-1660*, Duckworth, Londres, 1975.

Westfall, Richard, *Science and Religion in Seventeenth-Century England*, Yale University Press, New Haven, CT, 1958.

16

Ciencia popular

Quizá por nuestra mentalidad moderna entendamos que las palabras «ciencia» y «popular» son bastante incompatibles. A menudo consideramos que la ciencia es la antítesis de lo popular: una actividad de expertos y muy esotérica que requiere años de formación y gran dedicación. Si llegamos a imaginarnos una ciencia popular seguramente es al pensar en programas televisivos impactantes o episodios de la serie *Star Trek*. Las exclamaciones de sorpresa ante el último artilugio tecnológico distan bastante de lo que sabemos sobre la verdadera práctica científica. En este sentido, la ciencia popular, en la medida en que exista, puede parecer bastante tangencial a lo que hacen los propios científicos —la mera divulgación de hechos, teorías y aplicaciones diluidos, no reales, entre un público pasivo—. La ciencia y los científicos a menudo parecen estar también bastante desconectados de lo popular. Los portavoces científicos se preocupan públicamente por los «conocimientos de la gente», pero eso con frecuencia sólo significa que el público debería saber lo suficiente para dejar a los auténticos científicos hacer su trabajo más que un llamamiento serio al compromiso. Si la ciencia aparece como parte de la cultura popular, suele ser censurada por haber caído en la trivialidad. El compromiso de los científicos con lo popular parece distraerles de su tarea propiamente dicha.

Si observamos las cosas desde una perspectiva histórica, esa idea de la ciencia como algo totalmente desligado de la cultura popular fa-

lla por su base. La ciencia siempre ha tenido un rostro público; y lo sigue teniendo. Aunque sólo sea para defender su territorio, los científicos han cultivado continuamente una audiencia que va más allá del entorno inmediato de sus colegas y compañeros investigadores. En cualquier caso, la percepción de que la ciencia es, o debería ser, competencia específica de un grupo culturalmente aislado de expertos muy preparados es bastante reciente. Al menos hasta bien entrado el siglo XIX, un conocimiento de los últimos avances científicos y cierto nivel de implicación en ellos era comúnmente considerado una prueba de cultura. Las revistas y publicaciones literarias incluían crónicas de los con tanta frecuencia descubrimientos mas recientes y reseñas de los últimos best-séllers científicos con tanta frecuencia como se hablaba de Dickens o Dostoievski. El crítico cultural C. P. Snow describió a las mil maravillas el desmoronamiento de ese contexto cultural común en un controvertido ensayo: *The Two Cultures* [Las dos culturas] (Snow, 1959). No obstante, la importancia de ese contexto cultural hay que admitirla con reservas. El compromiso popular con la ciencia nunca ha sido una actividad de masas. También hemos de tener presente que la cultura común de Snow enmascara una variedad de ideas diferentes sobre qué era la ciencia, cómo debía practicarse y qué relación tenía que haber entre la ciencia y la cultura popular.

Cuando los historiadores han analizado la ciencia popular, a menudo lo han hecho como si fuera algo ajeno a la ciencia propiamente dicha. El modelo habitual ha sido de carácter divulgativo. La ciencia es creada por expertos y luego difundida entre una audiencia popular mediante diversos medios, entre los que se incluyen libros, conferencias, exposiciones en museos y, más recientemente, la televisión. Partiendo de esa perspectiva, el proceso de divulgación no tiene ningún efecto en la ciencia misma o en el modo como ésta podría practicarse. Desde hace poco, no obstante, los historiadores han empezado a replantearse la relación tanto entre la ciencia y la cultura popular como entre los científicos y su público. En la actualidad entendemos que el público mantiene una relación más activa que pasiva con la producción de conocimiento científico. No es sólo que el modo como el científico decide exponer su trabajo a distintas audiencias y el contexto en que ello se produce tenga consecuencias importantes para la manera

en que se comprende la ciencia, sino que el propio público interpreta y redefine sobre la marcha el conocimiento que recibe. Desde esa óptica, estudiar ciencia popular se vincula al verdadero contenido de la ciencia y al proceso de elaboración de conocimiento.

Los historiadores estudian la ciencia popular en diversos contextos. Examinan los lugares donde la ciencia se hace en público, como en los auditorios o las salas de exposiciones. Analizan los distintos medios a través de los cuales se produce la comunicación científica, como los libros, las revistas o los programas de televisión. Exploran la gran variedad de formas en que el conocimiento científico se transmite al público y las maneras en que las diversas audiencias lo reciben. Los historiadores también estudian los distintos modos como determinadas ciencias, en diferentes momentos, han llegado a ser populares. Entre los ejemplos que trataremos aquí más a fondo se incluyen el mesmerismo y la frenología en la primera mitad del siglo XIX. Desde un punto de vista moderno, esas actividades pueden parecer seudociencias —no ciencias verdaderas—, si bien, en su apogeo, un gran número de personas las tomaron muy en serio. Sus seguidores afirmaban de forma categórica que eran prácticas científicas genuinas y que los esfuerzos de sus adversarios por negarles categoría científica evidenciaban que éstos querían mantener alejada la ciencia del ciudadano de a pie. Examinar la ciencia popular en sus diversos aspectos nos ayuda a entender cómo ha llegado a estar separada de otros ámbitos de la cultura y cómo, en distintos lugares y momentos, el límite entre la ciencia y la cultura ha estado trazado de manera diferente.

Cultura de la sala de conferencias

Como hemos visto en el capítulo anterior, una característica importante de la denominada revolución científica de los siglos XVI y XVII fue que buena parte de la actividad de la filosofía natural pasó de estar centrada en las universidades a estarlo en un contexto más cívico, a menudo distinguido. Según pensadores como Francis Bacon, los filósofos naturales debían ser hombres de mundo y no académicos enclaustrados (véase cap. 2, «La revolución científica»). En conformi-

dad con ese nuevo espíritu de la ciencia como parte de la cultura cívica, los filósofos naturales buscaron activamente nuevos públicos para sus actividades. En Inglaterra, Francia e Italia se fundaron sociedades científicas como la Royal Society, la Académie des Sciences y la Accademia dei Lincei con el objetivo expreso de integrar la ciencia en la sociedad civil (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»). Llevar a cabo experimentos públicos en presencia de testigos eminentes era un elemento importante del ritual que rodeaba la consolidación de nuevas cuestiones de hecho. A medida que la filosofía natural conseguía nuevas audiencias entre las clases medias y altas, las conferencias públicas se convertían en una fuente de potenciales ingresos y prestigio para las nuevas generaciones de filósofos naturales. Los filósofos naturales ingleses de la tradición newtoniana se calificaban a sí mismos categóricamente de «sacerdotes de la naturaleza» que tenían encomendada la responsabilidad de difundir el evangelio newtoniano por todas partes. Para esos hombres de ciencia, dar conferencias era tanto una necesidad económica como una obligación moral.

A principios del siglo XVIII, los filósofos naturales celebraban sus conferencias sobre todo en los cada vez más omnipresentes cafés. Según un estudio, hacia 1739 en Londres había 551. Los cafés se habían desarrollado como centros de difusión informal rápida y de intercambio de información (a menudo de carácter económico) principalmente durante la segunda mitad del siglo XVII. Sus clientes iban desde banqueros y comerciantes hasta la nueva generación de gacetilleros en rápida expansión pasando por toda clase de empresarios. La gente acudía a los cafés para enterarse de las noticias más recientes y de las últimas habladurías económicas o para convencer a potenciales mecenas de las ventajas de un invento nuevo o de cualquier otra novedad. Los obreros solían pasar por ahí a leer el periódico. Esa clientela variopinta, por su afán de obtener información de toda clase, resultó ser el público ideal para la nueva moda de las conferencias científicas (Porter, 2000). Los filósofos naturales que participaban en el circuito ofrecían cursos de entre una y dos docenas de conferencias sobre los rudimentos del newtonianismo y la filosofía mecanicista, y animaban sus actuaciones con demostraciones y experimentos en los que usaban los últimos instrumentos filosóficos, como bombas de aire y máquinas eléctricas. Las

charlas acerca de la filosofía mecanicista y las demostraciones de su propia destreza experimental también podían resultar un buen modo de exhibir sus credenciales ante potenciales mecenas y conseguir así respaldo económico para nuevos inventos o proyectos (Stewart, 1992).

John Theophilus Desaguliers es un buen ejemplo de filósofo natural experimental que se hizo famoso mediante las conferencias populares. Ferviente newtoniano, Desaguliers planteaba sus charlas sobre la electricidad y otras fuerzas de la naturaleza como demostraciones de las tesis de Newton acerca de la relación entre Dios y la naturaleza. Hacer visibles los poderes de la naturaleza era una forma de hacer visible también la inmanencia de Dios en el universo. Desaguliers utilizó a fondo las últimas tecnologías experimentales para impresionar a sus audiencias de café, administrando descargas de corriente, haciendo alarde de las fuerzas eléctricas de atracción y repulsión, sacando chispas de máquinas eléctricas. Esas exhibiciones espectaculares no sólo contribuyeron a la fama de Desaguliers como filosófo natural, sino que también le ayudaron a atraer la atención de potenciales mecenas, como el duque de Chandos. Conferenciantes de toda Europa rivalizaban entre sí para llevar a cabo espectáculos cada vez más llamativos sobre los poderes de la naturaleza. En Francia, el destacado conferenciante público parisino Jean Antoine Nollet causó gran sensación con las botellas de Leyden, al aplicar las descargas que generaban para hacer que hileras de monjes cartujos y guardias de palacio saltaran al unísono. El electricista alemán Georg Matthias Bose y el conferenciante inglés de café Benjamin Rackstrow afirmaron ser capaces de crear un efecto que denominaban beatificación: hacer literalmente que un miembro del público resplandeciera en la oscuridad. Demostraciones como ésa hicieron que la gente acudiera en masa a las charlas en todas las metrópolis europeas (Heilbron, 1979).

En las islas Británicas, la moda de las conferencias científicas populares se extendió enseguida fuera de Londres. Ciudades de moda como Bath pronto tuvieron sus propios disertadores locales así como interesantes artistas metropolitanos que seguían a las multitudes pudientes que acudían en tropel. El conocido artista James Graham inició allí su carrera como conferenciante y artista filosófico con demostraciones espectaculares de los misteriosos poderes de la electricidad.

En la década de 1780, era una de las figuras filosóficas más conocidas de Londres, y cobraba cincuenta libras cada noche por utilizar la «cama celestial» en su Templo de la Salud y el Himen. En Newcastle, James Jurin, profesor de instituto y más adelante secretario de la Royal Society, anunció a partir de 1712 conferencias sobre filosofía natural dirigidas a industriales locales. Durante la década de 1740, el propio Desaguliers programó conferencias para audiencias similares. Conferenciantes itinerantes como Benjamin Martin viajaban de una ciudad a otra, anunciando en los periódicos locales disertaciones en las que enfocaba su exposición según las necesidades de la zona. Existía incluso la posibilidad de contratos internacionales para las verdaderas estrellas del circuito, como Desaguliers, que en la década de 1730, por ejemplo, pronunció una conferencia en Holanda. A medida que avanzaba el siglo, las afirmaciones de los disertantes se volvían más estrafalarias, y sus demostraciones más aparatosas mientras se buscaban nuevos auditorios. También se insistió cada vez más en la utilidad de la filosofía natural, especialmente en charlas dirigidas a empresarios norteños cerriles (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»).

A finales del siglo XVIII —como ilustra James Graham y su cama celestial—, los conferenciantes locales hicieron un esfuerzo aún mayor por atraer al público. Otro ejemplo fue Adam Walker, conferenciante astronómico de moda, que desde la década de 1770 pronunció conferencias en el Haymarket Theatre de Londres. Durante la década de 1780, la principal atracción de sus espectáculos fue el Eudouranion, una serie de globos luminosos que representaban los planetas del sistema solar. A principios del siglo XIX, el circuito de las conferencias estaba bien asentado en lugares como Londres. Cada vez más instituciones científicas, como los Institutos de Londres o Surrey, ofrecían ciclos de conferencias populares al público de pago. En provincias, la moda de las sociedades literarias y filosóficas también posibilitó la celebración de disertaciones. En Norteamérica, durante el siglo XVIII —antes y después de la Revolución— hubo una afición parecida a las charlas científicas. En 1749 se creó la Sociedad Filosófica Americana en torno a Benjamin Franklin a partir del supuesto conciliábulo de un grupo de entusiastas filosóficos. El Instituto Franklin de Filadelfia, fundado en 1824, organizó conferencias populares dirigi-

das a los trabajadores. Se elaboraron planes similares en las islas Británicas con el floreciente movimiento de los Institutos de Mecánica. Instituciones como ésas procuraban unos ingresos básicos a hombres de ciencia sin peculio al tiempo que satisfacían las ganas de la gente de aprender ciencia (Hays, 1983).

En Inglaterra, al menos, la decana de las instituciones era la elegante Royal Institution de Albermarle Street, a la altura de Piccadilly, fundada en 1799 por el exiliado monárquico americano Benjamin Thompson, conde de Rumford. Con figuras como Humphry Davy y más adelante Michael Faraday, la Royal Institution adquirió una extraordinaria reputación como proveedora de conocimiento científico a los ricos y famosos. Davy se hizo célebre por sus extravagantes conferencias en las que se lucía con su dominio de la recién inventada pila voltaica, impresionando a sus auditorios con espectaculares exhibiciones de chispas y deflagraciones eléctricas (Golinski, 1992). Faraday siguió la tradición de su maestro. Durante la década de 1820, creó la serie de charlas de Navidad para los niños (que aún se llevan a cabo) (fig. 16.1). También instauró las famosas disertaciones de los viernes por la noche, que enseguida se convirtieron en una atracción de moda en la temporada londinense. Cada viernes, Faraday o un orador invitado pronunciaban conferencias y hacían demostraciones sobre los últimos descubrimientos e inventos científicos para cautivar en la metrópoli a multitudes de gente famosa (Berman, 1978). En provincias, la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS, por las siglas en inglés) —fundada en 1831— celebraba sus reuniones cada año en una ciudad diferente y atraía a sus charlas a miles de personas (Morrel y Thacray, 1981).

Durante el siglo XIX, los conferenciantes científicos populares fueron personajes públicos. Faraday, por ejemplo, era sin duda tan conocido (si no más) por sus brillantes actuaciones en las conferencias como por sus teorías eléctricas. Otro buen ejemplo es T. H. Huxley —el bulldog de Darwin—, hoy más recordado por su reñida confrontación con «Zalamero Sam» Wilberforce, obispo de Oxford, en la reunión de 1860 de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Huxley era especialmente afamado por sus polémicas charlas a las clases trabajadoras. En la década de 1850 había comenzado a pronunciar regularmente confe-

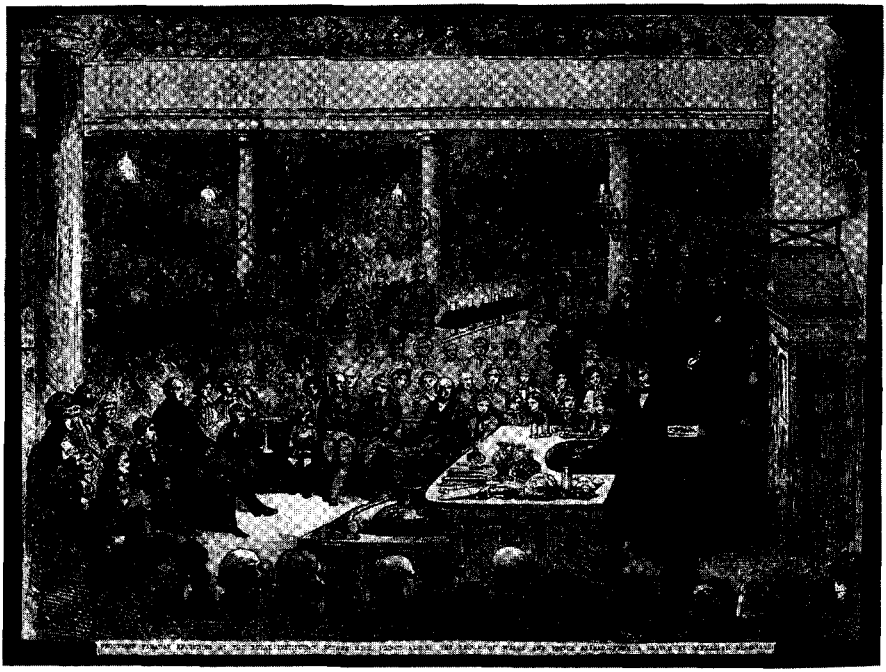


FIGURA 16.1. Michael Faraday pronunciando una de sus famosas conferencias para niños en la Royal Institution (Wellcome Medical Library, Londres). Sentados en primera fila, frente a Faraday, se hallan el príncipe consorte Alberto y el joven príncipe de Gales. Obsérvese el número de mujeres entre el público.

rencias dirigidas a trabajadores, continuando una tradición iniciada por el geólogo Henry de la Beche en el Museo de Geología Económica de Piccadilly. En la década de 1860, todas las noches acudían a sus cursos cientos, incluso miles, de personas (Desmond, 1994). Huxley no se limitó a la metrópolis. Viajó por todo el país, realizando sus radicales disertaciones en institutos de mecánica y comedores obreros. En 1868 era rector de su propia universidad obrera, situada en el sur de Londres. Naturalmente, las conferencias de Huxley, por populistas que fueran, tenían unas prioridades estratégicas serias. Estaba intentando convencer a sus auditorios de que era la ciencia, y no la religión, la autoridad a la que debían recurrir (véase cap. 15, «Ciencia y religión»).

Las actividades disertadoras de Huxley no se redujeron a la esfera nacional. En 1876 viajó a Estados Unidos, siendo el último de una larga serie de populares conferenciantes científicos británicos que se desplazaron a Norteamérica con ese fin. En la década de 1840, el geólogo Charles Lyell dio conferencias en diversos estados. En 1884 fue el turno del físico sir William Thomson, más adelante lord Kelvin. La moda de las charlas científicas no era una peculiaridad sólo británica. En el resto de Europa y Estados Unidos, las multitudes asistían en masa a esos actos, y los disertadores más conocidos eran figuras públicas importantes. Huxley y Thomson seguramente son los mejores ejemplos británicos de la segunda mitad del siglo XIX. Hermann von Helmholtz, en Alemania, y Louis Pasteur, en Francia, eran de una categoría similar y habrían sido similarmente reconocibles para el público en general. Esto indica hasta qué punto la ciencia cruzaba fácilmente las fronteras de otras áreas culturales. A partir de los siglos XVII y XVIII, los filósofos naturales en ejercicio consideraron esa clase de actuaciones públicas como algo inherente a la práctica de la ciencia. Las conferencias públicas constituían una de las principales vías de comunicación entre los filósofos naturales y los científicos y sus audiencias. Era algo más que un modo de ganarse la vida —aunque desde luego también se trataba de eso—; era lo que hacían los hombres de ciencia.

En la exposición

Las colecciones de instrumentos y artefactos científicos tienen una larga historia. Desde el Renacimiento se hicieron cada vez más populares las vitrinas de curiosidades. Los mecenas acaudalados coleccionaban muestras de objetos extraños e inhabituales, naturales o artificiales, y los exhibían para asombrar e impresionar (véase cap. 2, «La revolución científica»). A menudo se diseñaban instrumentos científicos para ser expuestos, como ponen vivamente de manifiesto los ornamentadísimos microscopios y telescopios supervivientes de los siglos XVII y XVIII (Morton, 1993). A principios del siglo XIX, la actividad de recoger y exhibir especímenes y artilugios estuvo cada

vez más comercializada. Las vitrinas ya no eran únicamente un ámbito exclusivo para los que tenían el privilegio de entrar en las casas e instituciones privadas donde se guardaban; se permitía el acceso a todo aquel que estuviera dispuesto a gastarse unos peniques en la puerta. Desde mediados del siglo XIX, el museo científico y la exposición científica fueron omnipresentes. Esas colecciones tuvieron —y siguen teniendo— un impacto decisivo en el modo como la gente ha contemplado la ciencia y el mundo natural. La manera en que se disponen los objetos en un museo, sean fósiles de dinosaurios, instrumentos científicos o máquinas de vapor, tiene un profundo efecto en cómo se entienden dichos objetos. Es mediante esa clase de exposiciones como, a partir de la época victoriana, las audiencias han acabado conociendo grandes áreas de la ciencia.

A principios del siglo XIX, el Museo de Filadelfia del artista Charles Willson Peale satisfizo los intereses de un público americano ya fascinado por lo curioso y lo fantástico. El museo de Peale mostraba curiosidades históricas naturales, como los huesos de un mastodonte descubiertos en el estado de Nueva York, sus propios cuadros históricos, rarezas de anticuario y nuevos inventos y aparatos mecánicos. Incluso las extravagantes exhibiciones de lo exótico del artista P. T. Barnum explotaban la atracción que la ciencia ejercía en la gente. En muchos aspectos, el secreto de su éxito radicaba en lo hábilmente que cuestionaba la capacidad del público para distinguir entre lo real y lo falso. El empresario e inventor de Filadelfia Jacob Perkins seguramente tenía presente el museo de Peale cuando en 1832 inauguró en Londres su Galería Nacional de Ciencia Práctica en Adelaide Street, cerca del Strand, en la cual, naturalmente, se exponía una combinación parecida de muestras históricas naturales, artilugios mecánicos y científicos, y curiosidades exóticas de todas clases. La gente que pagaba sus chelines en la entrada podía contemplar las últimas maravillas científicas y tecnológicas, asistir a conferencias y actuaciones musicales, e incluso observar cómo transcurría la hora de comer de las anguilas eléctricas. La Galería de Adelaide pronto tuvo una competidora, la Royal Polytechnic Institution, en Regent Street, con una parecida selección de objetos (fig. 16.2; Morus, 1998).

Lugares como la Galería de Adelaide o la Polytechnic Institution

FIGURA 16.2. Imagen del Salón Principal de la Royal Polytechnic Institution de Londres. Era uno de los centros más importantes de la ciudad dedicados a la ciencia popular. En segundo plano se aprecia una de las atracciones más destacadas: la campana de inmersión de buzo.

desempeñaron un papel clave en la definición de la ciencia para el público londinense de principios de la época victoriana. Era en esa clase de sitios, más que en los augustos recintos de la Royal Institution, donde la mayoría de los interesados en esas cuestiones tenían más probabilidades de encontrar ciencia. En las galerías, lo más importante era la cultura material de aquélla, no sus abstracciones teóricas. La ciencia para el público tenía que ver con las máquinas, la inventiva tecnológica y el entretenimiento. Esos lugares también acabaron compitiendo con el resto de la industria del espectáculo. Rivalizaban con producciones teatrales, panoramas y representaciones de la linterna mágica para captar la atención de la gente. Otras actuaciones incorporaban a su oferta la filosofía natural. El Coliseum de Regent's Park se anunciaba como poseedor de la máquina eléctrica más grande del mundo. Las exposiciones ofrecían empleo a los filósofos naturales. El electricista William Sturgeon pronunciaba conferencias en la Galería de Adelaide mientras el químico William Leithead supervisaba el Departamento de Magia Natural del Coliseum con su gigantesca máquina eléctrica. Esos lugares también constituían un recurso vital para inventores prometedores. Ciertos competidores que, en la década de 1840, intentaron comercializar sistemas telegráficos rivales, como Edward Davy, exponían sus hallazgos en las galerías para atraer la atención de inversores dispuestos a financiar sus actividades inventoras. Para el público victoriano el telégrafo eléctrico era tanto un nuevo sistema de comunicación como una demostración de talento teatral (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»).

El talento victoriano para montar espectáculos científicos vivió su momento decisivo cuando, en 1851, se inauguró la Exposición Universal de las Artes y las Industrias de todas las Naciones en el Hyde Park de Londres. La exposición, organizada por la Royal Society of Arts —con Alberto, el príncipe consorte, como figura más relevante—, fue concebida con la idea de poner de manifiesto la superioridad de la industria y la inventiva tecnológica británicas. El propio edificio del evento —el Crystal Palace— era una proeza de la pericia y los conocimientos victorianos en arquitectura e ingeniería. Diseñado por el jardinero paisajista Joseph Paxton, en realidad se trataba de un enorme invernadero de vigas de hierro fundido y cristal cilindrado

(fig. 16.3). Los británicos, junto con miles de extranjeros recién llegados, acudieron en tropel a maravillarse ante más de cien mil exposiciones distintas. Lo último en ciencia y tecnología destacaba en lugar visible. Los visitantes podían seguir la marcha del reloj eléctrico del Gran Crucero. Se mostraba una gran variedad de material eléctrico telegráfico. El inventor danés Sören Hjorth ganó un premio por su motor electromagnético. La empresa Elkingtons, de Birmingham, exhibió un amplio surtido de vajillas plateadas mediante electrólisis. Varios fabricantes británicos y extranjeros de instrumentos presentaron una gran diversidad de pilas, electroimanes, fotografías y equipos fotográficos, telescopios y otros aparatos científicos. Entre las fotos había unas especialmente impresionantes de la superficie de la luna realizadas por William Cranch Bond, astrónomo de Harvard.

El éxito de la Exposición Universal y el deseo aparentemente inagotable de la gente de asistir a exposiciones científicas y tecnológicas alentaron, y en algunos casos incluso financiaron, la nueva moda de acudir a museos científicos. Algunos de los beneficios de la Exposi-

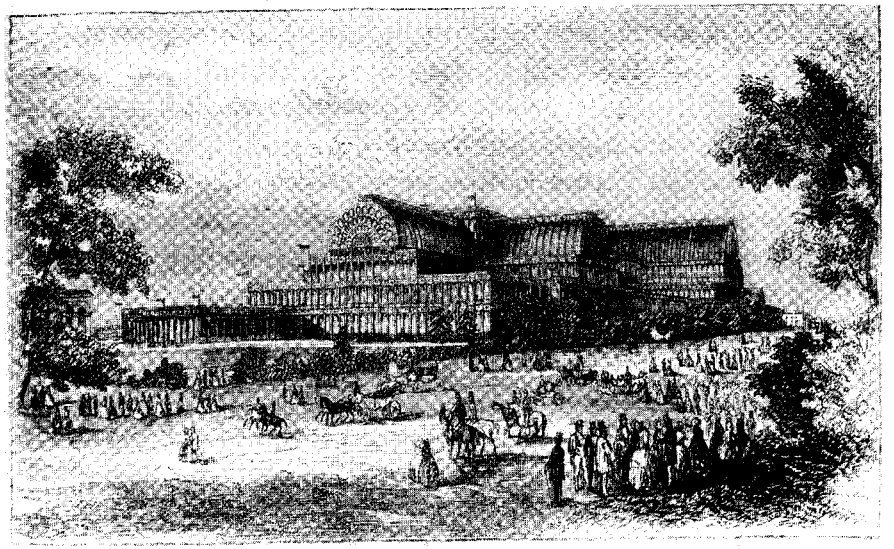


FIGURA 16.3. El Crystal Palace, que albergó la Exposición Universal de las Artes y las Industrias de todas las Naciones en Hyde Park, Londres, en 1851.

ción Universal se invirtieron en la creación de una «ciudad de la ciencia» en South Kensington. A finales de la década de 1860, la joya de la corona del lugar era el Museo de Historia Natural, cuyo conservador, Richard Owen, lo utilizó como vehículo para imponer su propia visión del mundo natural pasado y presente. Dado que Owen —inventor de la palabra «dinosaurio»— estaba en condiciones de decidir cómo se exhibía la colección de fósiles antiguos, también tenía la ventaja incorporada de poder convencer a los visitantes del museo de sus ideas sobre cómo eran y se comportaban las criaturas antediluvianas. Durante la segunda mitad del siglo XIX, museos como ése fueron cada vez más populares. Tener un buen museo era una fuente importante de orgullo cívico. En ciudades y pueblos de toda Europa y Norteamérica, los museos, tanto en su aspecto exterior como en la organización interna, representaban valores científicos, progresivos, e indirectamente el papel de las comunidades locales y sus líderes en el avance del progreso.

Durante la segunda mitad del siglo XIX y hasta bien entrado el XX, el éxito del Crystal Palace también dio lugar a una serie de exposiciones internacionales. En 1853, los dublineses, deseosos de no ser superados por sus dueños coloniales, organizaron su propia Exposición Universal de todas las Naciones. Después llegó el turno de los franceses, con una feria internacional en París que atrajo a más de cinco millones de visitantes. Siguieron otras en 1862 y 1867, época en que a los fabricantes británicos empezó a preocuparles cada vez más que las exposiciones mostraran hasta qué punto el resto del mundo les estaba dando alcance. Londres albergó la continuación de la Exposición de 1862. En 1853, Nueva York había intentado también organizar un certamen industrial internacional; no obstante, el primer esfuerzo americano realmente fructífero fue la Exposición del Centenario de Filadelfia, celebrada en 1876. Entre sus muchas cosas destacadas estaba la primera demostración pública del teléfono hecha por Alexander Graham Bell. Australia organizó su propio centenario (del descubrimiento por el capitán Cook) en 1888 con una muestra internacional en Melbourne. A principios del siglo XX, ésos eran acontecimientos verdaderamente masivos. En 1901, en la Exposición Panamericana de Buffalo, Nueva York, se utilizó energía de la recién inaugurada central eléctri-

ca de Niagara Falls para accionar los objetos expuestos en el Palacio de la Electricidad así como para tener encendidas las más de doscientas mil luces del recinto (Beauchamp, 1997).

Para las lumbreras victorianas, el XIX fue el siglo de las exposiciones, que parecían simbolizar el rostro público progresivo y seguro de sí mismo de la ciencia y la tecnología. La electricidad y las exposiciones parecían estar hechas la una para las otras. A finales de siglo, exhibiciones eléctricas espectaculares y masivas como las de Buffalo eran un rasgo común a las muestras internacionales. Importantes empresas eléctricas, como Westinghouse y Edison en Estados Unidos (la primera fue la encargada de las instalaciones de Buffalo) o Siemens en Europa, competían enérgicamente entre sí por llevar a cabo las exhibiciones más llamativas. Ponían en escena insólitos espectáculos de luces eléctricas, enseñaban los últimos sistemas experimentales de locomoción eléctrica y alardeaban de generadores eléctricos de proporciones colosales. La Exposición Colombina de Chicago de 1893 se enorgullecía de sus noventa mil luces eléctricas incandescentes y en arco voltaico. Los laureles fueron para la torre de luz de Edison, de veinticinco metros de altura, situada en el centro del Edificio de la Electricidad (Marvin, 1988). Las exposiciones eran escaparates mediante los cuales se podía vender al público la ciencia y la tecnología victorianas. Esos acontecimientos no sólo constituían con mucho su cara más visible y vistosa, sino que también creaban un marco adecuado para las entregas de premios, el autobombo y los congresos científicos internacionales. En la década de 1880, en simposios eléctricos de ese tipo se fijaron las unidades eléctricas estándar.

En el siglo XX, las ferias internacionales continuaron la tradición de las exposiciones científicas a gran escala. Ser la sede de esos eventos generaba una enorme orgullo internacional y cívico. Las ciudades competían entre sí por tener la oportunidad de organizar esos espectáculos. Chicago celebró un «siglo de progreso» con una feria mundial en 1933, el centenario de la fundación de la ciudad. La Feria Mundial de Nueva York tuvo lugar entre 1939 y 1940, en vísperas de la entrada de Estados Unidos en la segunda guerra mundial. Con el Festival de Gran Bretaña, ese país festejó su supervivencia y reconstrucción en 1951, no por casualidad en el centenario de la triunfal Exposición

Universal de 1851. La «cúpula del descubrimiento» del festival plasmaba las esperanzas contemporáneas en que la tecnología y la ciencia progresivas fueran la fuerza motriz que impulsara la recuperación social y económica del país. Los organizadores del festival coordinaron esfuerzos para reunir la ciencia y el arte. Los visitantes podían comprar camisas y corbatas de tejidos estampados con dibujos basados en las formas de la materia cristalina. En la actualidad, las exposiciones científicas siguen siendo un gran negocio en lugares como el Museo Smithsoniano Nacional del Aire y el Espacio o el Museo de la Ciencia de Londres. Centros innovadores como el Exploratorium de San Francisco utilizan tecnologías que son todavía sorprendentemente parecidas a los juguetes filosóficos que había más de un siglo y medio atrás en lugares como la Galería de Adelaide.

Ciencia publicada

Los inicios de la revolución científica coincidieron con una revolución en el mundo de las publicaciones (véase cap. 2, «La revolución científica»). De hecho, según algunos historiadores, la revolución en la impresión fue uno de los precursores de la revolución científica (Eisenstein, 1979). En los siglos XVIII y XIX, proliferaron los libros y las revistas que llevaban la filosofía natural a un público amplio. Además, como veremos, las editoriales científicas populares no se ocupaban simplemente de difundir un conjunto preestablecido de conocimientos entre una audiencia dócil. Los autores y editores científicos tenían muchos intereses y razones para producir libros y publicaciones de toda clase. Ganar dinero, por ejemplo. Para los criterios de la época, algunos textos científicos populares del siglo XIX, como el conocido *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la Creación] (1844), eran best-séllers (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). No obstante, los autores también querían exponer opiniones particulares ante la gente. En realidad, un libro como los *Vestiges...* de Chambers se vendió mucho sólo porque su mensaje sintonizaba muy bien con lo que los lectores de clase media querían oír (Secord, 2000). Los auditorios tampoco eran ni mucho menos receptores sumisos de conocimientos

científicos. En el siglo XIX, por ejemplo, el público lector albergaba sus propias ideas sobre lo que debía ser la buena ciencia. El último libro científico tenía tantas probabilidades como la última novela de George Eliot o la historia de Macaulay de ser vapuleada en las prestigiosas reseñas trimestrales si no estaba a la altura de lo esperado.

Durante buena parte de los siglos XVII y XVIII, la cultura publicada era inestable y maleable (Johns, 1998). Por ejemplo, la poderosa Stationer's Company dominó el ramo de la impresión en la Inglaterra del siglo XVII. La empresa se había constituido bajo los Tudor para supervisar y regular la producción de material impreso en Londres. Sólo ella y unos cuantos organismos más, como las universidades y, curiosamente, la Royal Society, estaban autorizados para imprimir. Los autores tenían poco poder sobre sus obras, si acaso alguno. Los libreros y los tipógrafos (que de hecho, en esa época eran los mismos) podían modificar los textos a su antojo. La situación era prácticamente la misma en otras capitales europeas, como París. A principios del siglo XVIII, escribir a cambio de una remuneración estaba empezando a ser una forma viable de ganarse la vida en ciudades grandes como Londres, con su emergente mundillo de escritores desconocidos. En el siglo XVII nacieron revistas y periódicos. Montones de gacetilleros producían en masa artículos periodísticos de fiabilidad variable junto con obras dramáticas, ensayos filosóficos, novelas y todo aquello que pudiera despertar el interés del cliente. Había un mercado estable de pornografía (el editor de Newton era pornógrafo) y sedición política. A mediados del siglo XVIII, la ciencia era una mercancía lo bastante comercial para que hubiera también una industria próspera dedicada a la literatura científica popular.

Una de las características específicas de las obras de filosofía natural de principios del siglo XVII, como el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano* y el *Discourse on Two Sciences* [Discurso sobre dos ciencias] de Galileo era que estaban escritas en lengua vernácula y no en la lengua académica y de la Iglesia: el latín. Eso ya daba a entender que Galileo quería ser leído por los legos. En conformidad con el espíritu de la ciencia del siglo XVII como ámbito de caballeros de talento, cultivados y con conciencia cívica, los filósofos naturales cada vez dirigían más sus libros de manera habitual a un público que no era simplemente científico (si

cabe decir que existió realmente un público científico en esa época). En el siglo XVIII aparecieron una serie de publicaciones concebidas para respaldar las verdades esotéricas del newtonianismo y explicarlas a la inmensa mayoría de la población alfabetizada incapaz de comprender las matemáticas de Newton. Textos como *History and Present State of Electricity* [Historia y situación presente de la electricidad] (1767) o *Experiments and Observations on Different Kinds of Air* [Experimentos y observaciones sobre distintas clases de aire] (1776) transmitían la versión de Joseph Priestley del mensaje newtoniano a una audiencia discrepante de clase media entusiasmada con la idea de que la ciencia newtoniana allanaría el camino para la revolución moral y social. La ciencia estaba en el centro del gran plan de los filósofos radicales franceses Diderot y D'Alembert de crear una *encyclopédie* universal que clasificara todo el conocimiento.

Proliferaron no sólo los libros científicos sino también las revistas. Ni siquiera venerables publicaciones periódicas como las *Philosophical Transactions* de la Royal Society estaban dirigidas a un auditorio exclusivamente científico. Sus colaboradores querían ser leídos también por caballeros acomodados. Academias científicas de toda Europa crearon revistas similares teniendo en mente el mismo tipo de audiencia. Lo más significativo es que la ciencia formaba parte de la dieta básica producida en masa por los nuevos tipos de publicaciones que florecieron en el siglo XVIII. Un caballero que leyera *Gentlemen's Magazine* (fundado en 1731) o una dama aficionada a *Lady's Magazine* (fundada en 1770) contaban con ponerse al día de lo último en ciencia y chismes científicos. Esas revistas y muchas otras parecidas se dirigían a un mercado en rápida expansión de lectores (relativamente) acomodados, instruidos y principalmente de clase media urbana, y la ciencia era parte de lo que esa audiencia esperaba recibir en su dieta literaria. También en Francia y en las Américas la ciencia pertenecía a la cultura construida en torno a revistas y publicaciones más o menos efímeras que analizaban los últimos escándalos políticos y sociales. La filosofía natural y algunas pretensiones de quienes la practicaban fueron elementos importantes de esa cultura literaria cotidiana hasta el punto de llegar a ser objeto del ingenio satírico en novelas como *Los viajes de Gulliver* de Jonathan Swift.

En el siglo XIX, las editoriales científicas estaban bien asentadas, con autores que concebían su obra pensando en una gran diversidad de públicos. Escritoras como Jane Marcet publicaron libros para niños, como *Conversations on Chemistry* [Conversaciones sobre química] (1806). En las *Connexions of the Physical Sciences* [Conexiones de las ciencias físicas] (1834), Mary Somerville describió de manera diligente los hallazgos de caballeros de la ciencia a una educada audiencia de clase media. Los propios caballeros dirigían sus libros también a públicos amplios. Textos como *Elementos de geología* (1830) de Charles Lyell o *Sobre la correlación de fuerzas físicas* (1846) de William Robert Grove estaban concebidos para un conjunto variado de lectores. Organizaciones tan diversas como la Sociedad para el Fomento del Conocimiento Útil, sus rivales de la Sociedad Anglicana para el Fomento del Conocimiento Cristiano y, en años posteriores, la evangélica Sociedad sobre Tratados Religiosos publicaron una serie de libros científicos populares pensados para las clases medias y trabajadoras. El fenómeno editorial de la primera mitad del siglo fue el anónimo *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la creación] (1844) publicado por Robert Chambers, que llegó a ser un best-séller y además originó una gran controversia por su abierta defensa del desarrollo progresivo en la naturaleza y la sociedad (Secord, 2000). Textos como los cinco volúmenes de *Cosmos* (1845-1862), de Alexander von Humboldt, fueron muy leídos en Europa y América. Durante buena parte del siglo, los editores americanos dependieron de la reedición de las obras de autores científicos europeos. Sin embargo, a finales de siglo, escritores americanos como Edward Livingston Youmans estaban adquiriendo fama por derecho propio. Youmans fue una figura clave en la creación de la Serie Científica Internacional de libros científicos populares a principios de la década de 1870.

La publicación de obras científicas populares prosiguió durante el siglo XX y lo que llevamos del XXI. Científicos como el astrónomo Arthur Eddington y el físico James Jeans escribieron libros que divulgaron la teoría de la relatividad de Einstein entre un público amplio. Obras como *The Nature of the Physical World* [La naturaleza del mundo físico] (1928), de Eddington, o *The Universe around Us* [El uni-

verso que nos rodea] (1929), de Jeans, tuvieron mucho que ver con las primeras percepciones públicas de las repercusiones filosóficas de la nueva física (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). A medida que las ciencias se volvían cada vez más profesionalizadas y esotéricas, los científicos recurrían a menudo a los escritos populares para hacer afirmaciones o manifestar puntos de vista que eran incapaces de mantener en el ámbito de las revistas profesionales. Más en los primeros que en las segundas solían publicarse, por ejemplo, análisis sobre la relación entre ciencia y religión (Bowler, 2001). Físicos como sir Oliver Lodge, cuyas opiniones estaban cada vez más enfrentadas a las de la mayoría de los físicos, también se valieron de la prensa popular para divulgar sus ideas. A mediados del siglo XX surgió asimismo una clara tendencia favorable a los escritos científicos populares con una marcada orientación socialista. Por ejemplo, Lancelot Hogben, en *Science for the Citizen* [Ciencia para el ciudadano] (1938), sostenía que, en una sociedad progresista, la ciencia y la planificación científica debían desempeñar un papel central.

Durante todo el siglo XX las revistas científicas proliferaron. A finales de siglo, incluso publicaciones de élite como la francesa *Académie's Comptes Rendus* o la científica *Nature* aspiraban nuevamente a llegar a algo más que a una audiencia profesional. En Estados Unidos, *Scientific American* se proponía explícitamente ser el portavoz de la ciencia popular. Tanto en Europa como en América, gran variedad de revistas y publicaciones de orientación científica, entre ellas la *Magazine of Popular Science* de la Galería de Adelaide, intentaban entrar en el mercado de la ciencia popular. Publicaciones como *Inventor's Advocate* o la más exitosa *Mechanics' Magazine* trataban de comercializarse como los órganos de los excluidos del discurso científico dominante. Semanarios británicos de clase media como *Literary Gazette* o *Athenaeum* incluían en sus columnas noticias sobre reuniones científicas y los últimos chismes en el campo de la ciencia. Asimismo, prestigiosas revistas trimestrales como la liberal *Edinburgh Review* o la más conservadora *Quarterly Review* publicaban en sus páginas críticas sobre las novedades científicas más recientes. En Francia, el jesuita Frédéric Moigno era corresponsal científico de *La Presse* al tiempo que editaba su propia publicación popular semanal, *Cosmos*. Normal-

mente, un régimen regular de información y noticias científicas formaba parte del repertorio periodístico ofrecido por revistas populares como *Penny Cyclopaedia* y otras publicaciones periódicas de organizaciones como la Sociedad sobre Tratados Religiosos, deseosas de vender a sus lectores su propia visión de la ciencia. Durante todo el siglo, importantes acontecimientos científicos, entre ellos las reuniones anuales de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, hicieron correr ríos de tinta en los principales diarios.

La ciencia también fue abriéndose cada vez más paso en el terreno de la ficción. Por el modo como se burlaba de la «Asociación de Mudfog para el Avance de Todo» en los *Papeles póstumos del club Pickwick*, Charles Dickens presuponía que sus lectores estaban familiarizados con las actividades de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia (BAAS). George Eliot contaba chistes científicos en sus novelas. En la segunda mitad del siglo XIX, la especulación científica empezaba a convertirse en un género literario (lo que se conocería como ciencia ficción) de pleno derecho. En *La vuelta al mundo en ochenta días*, por ejemplo, Julio Verne jugaba con las posibilidades de la ciencia y la tecnología contemporáneas, mientras en *De la tierra a la luna* elucubraba sobre las posibilidades futuras. H. G. Wells utilizó la ciencia novelada en *La máquina del tiempo* (1895) para articular una crítica de las divisiones sociales en la sociedad industrializada del siglo XIX, igual que hiciera Edward Bulwer Lytton en *La raza venidera* (1871). Esa clase de libros constituían la franja más popular de un interés cada vez mayor por las novelas científicas utópicas y distópicas que especulaban sobre las consecuencias morales y sociales del progreso científico (Fayter, 1997). A principios del siglo XX, especialmente H. G. Wells se había consolidado como especulador científico con *La guerra de los mundos* (1895) y como profeta social con *The Shape of Things to Come* [La forma de las cosas venideras] (1933).

Durante la primera mitad del siglo XX, la ciencia ficción llegó a ser un género cada vez más importante y popular. Concretamente en Estados Unidos, revistas de ciencia ficción como *Amazing Stories* llevaron historias breves de ciencia ficción a audiencias entregadas de seguidores a la vez que procuraban un medio de vida a autores en ciernes como Isaac Asimov y Robert Heinlein. En la década de 1950,

la ciencia ficción apareció en la relativamente nueva televisión con series del espacio como *Flash Gordon*. A medida que en la misma época la guerra fría aumentaba su escalada, la ciencia ficción, tanto en la televisión como en el cine, servía para representar temores de invasión e imperios malvados en un escenario (aparentemente) despolitizado. Desde finales de la década de 1960, Gene Roddenberry usó su serie *Star Treck* para cruzar nuevas fronteras, criticando la guerra del Vietnam e introduciendo el primer beso interracial televisado con la seguridad que daba la lejanía en el espacio y el tiempo de la nave *Enterprise*. A pesar de ser rechazados y ridiculizados por los críticos literarios de la corriente dominante, los autores de ciencia ficción consiguieron (y siguen manteniendo) un gran número de lectores estables y fieles. Desde finales de la década de 1970, el gran éxito de *La guerra de las galaxias* originó una renovada oleada de películas del espacio en Hollywood al tiempo que se reponía el *Star Treck* de Roddenberry. Al igual que sucedió con muchas exposiciones científicas de principios del siglo XIX, el éxito de gran parte de la ciencia ficción como género literario, cinematográfico y televisivo se basa en jugar y ampliar los conocimientos y expectativas de la audiencia respecto a la ciencia contemporánea.

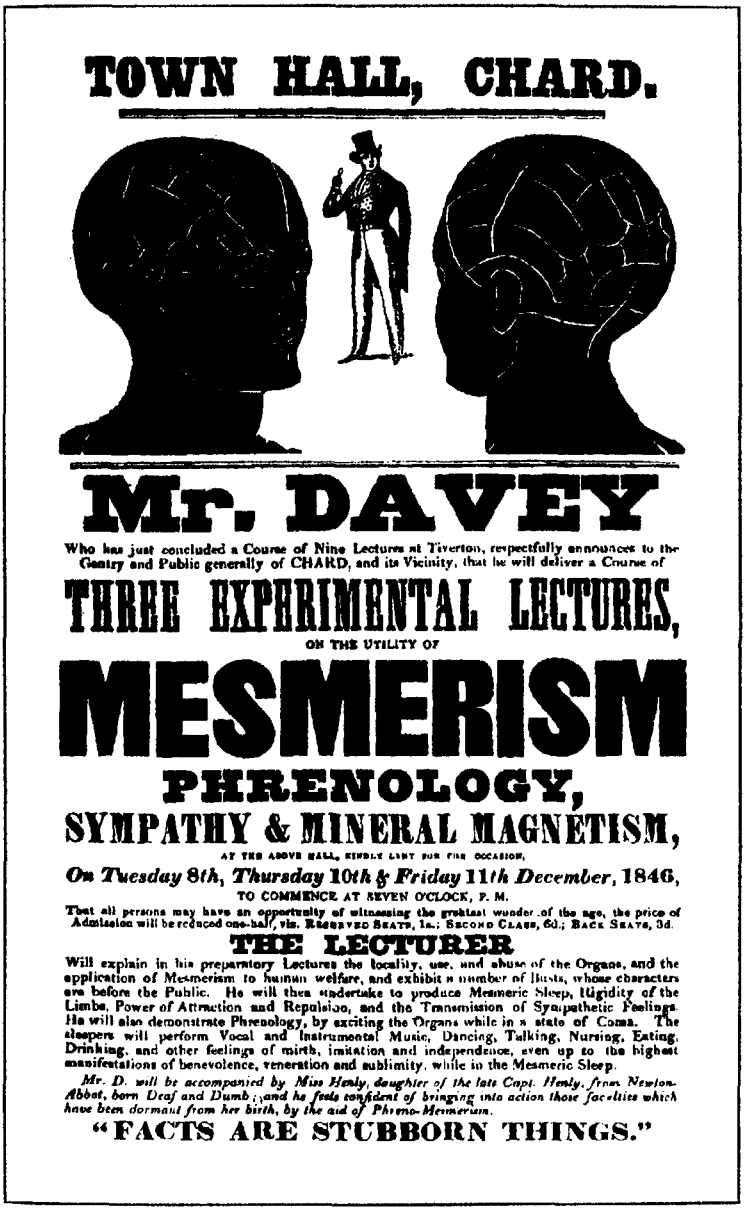
Ciencia alternativa

La ciencia popular nunca ha estado del todo controlada por los que se definen a sí mismos como corriente principal o por los que practican de manera profesional la ciencia. En conferencias, exposiciones, libros y, en los últimos tiempos la televisión, ha surgido una y otra vez la necesidad de replantear y redefinir el término «científico». Los públicos de la ciencia nunca han sido del todo pasivos. Bien al contrario, continuamente se implican en cuestiones y preocupaciones científicas, recurriendo a ellas para tratar sus propios problemas e inquietudes. Partiendo de esa perspectiva, la ciencia popular en su sentido amplio siempre ha sido un campo de batalla entre percepciones enfrentadas sobre qué tipo de actividades podrían ser descritas legítimamente como ciencia. Ya hemos visto que en cualquier género en que se haya

presentado históricamente la ciencia popular, sus presentadores siempre intentan conformarla, por decirlo así, a su imagen. Algunos creadores de ciencia popular han elaborado versiones de la actividad científica que los practicantes de la corriente principal han rechazado de manera categórica. En muchos aspectos, lo que actualmente se considera ciencia ortodoxa, respetable, deriva de esos debates del pasado. La última parte del siglo XVIII y el siglo XIX fueron especialmente propicios para esas ciencias «alternativas», de las que aquí veremos dos: el mesmerismo y la frenología (fig. 16.4).

El mesmerismo, o magnetismo animal, tiene su origen en la obra del médico vienés del siglo XVIII Franz Anton Mesmer (1734-1815), que creyó haber hallado un modo de manipular el fluido magnético inherente a los cuerpos animal y humano para llevar a cabo diversos efectos físicos en sus sujetos y pacientes experimentales. Si pasaba las manos por ciertas partes del cuerpo del individuo o si le miraba fijamente a los ojos, Mesmer era capaz de provocarle diversas sensaciones y conductas mentales y corporales. Pudiera ser que los miembros se movieran involuntariamente o se quedaran paralizados; que los propios individuos se volvieran histéricos o comatosos; o que Mesmer ordenara al cuerpo en cuestión realizar acciones determinadas sin que su dueño fuera consciente de ello. Tras huir de Viena perseguido por sus creencias filosóficas y religiosas, Mesmer se instaló en París, donde el magnetismo animal enseguida se puso de moda. Las multitudes acudían en masa a los salones de mesmerismo a ser hipnotizadas por Mesmer o cualquiera de sus discípulos. Los entusiastas aclamaron el magnetismo animal como una nueva ciencia revolucionaria de la mente. Los críticos acusaron a Mesmer de charlatán e incluso establecieron vínculos entre el mesmerismo y la Revolución Francesa. Una comisión real, creada por la Académie des Sciences y de la que formaba parte Benjamin Franklin, condenó rotundamente a Mesmer calificándolo de farsante descarado.

El mesmerismo experimentó un importante auge en las islas Británicas a partir de la década de 1830, a medida que fueron llegando a Londres discípulos de Mesmer a probar suerte en un nuevo entorno. Los profesionales recorrían el país dando conferencias y organizando actuaciones sobre el mesmerismo en las que se invitaba a miembros del



TOWN HALL, CHARD.

Mr. DAVEY

Who has just concluded a Course of Nine Lectures at Tiverton, respectfully announces to the Gentry and Public generally of CHARD, and its Vicinity, that he will deliver a Course of

THREE EXPERIMENTAL LECTURES,

ON THE UTILITY OF

MESMERISM

PHRENOLOGY,

SYMPATHY & MINERAL MAGNETISM,

AT THE ABOVE HALL, KINDLY LENT FOR THE OCCASION,

On Tuesday 8th, Thursday 10th & Friday 11th December, 1846,

TO COMMENCE AT SEVEN O'CLOCK, P. M.

That all persons may have an opportunity of witnessing the greatest wonder of the age, the price of Admission will be reduced one-half, viz. RESERVED SEATS, 1s.; SECOND CLASS, 6d.; BACK SEATS, 3d.

THE LECTURER

Will explain in his preparatory Lectures the locality, use, and abuse of the Organs, and the application of Mesmerism to human welfare, and exhibit a number of Busts, whose characters are before the Public. He will then undertake to produce Mesmeric Sleep, Rigidity of the Limbs, Power of Attraction and Repulsion, and the Transmission of Sympathetic Feelings. He will also demonstrate Phrenology, by exciting the Organs while in a state of Coma. The sleepers will perform Vocal and Instrumental Music, Dancing, Talking, Nursing, Eating, Drinking, and other feelings of mirth, imitation and independance, even up to the highest manifestations of benevolence, veneration and sublimity, while in the Mesmeric Sleep.

Mr. D. will be accompanied by Miss Henly, daughter of the late Capt. Henly, from Newton-Abbot, born Deaf and Dumb; and he feels confident of bringing into action those faculties which have been dormant from her birth, by the aid of Phreno-Mesmerism.

"FACTS ARE STUBBORN THINGS."

FIGURA 16.4. Cartel anunciador de una serie de conferencias populares sobre mesmerismo y frenología en 1846. Esa clase de charlas fueron cruciales para la difusión de nuevas ideas.

público a subir al escenario para ser magnetizados. Mujeres de clase media realizaban en la intimidad de su casa sesiones mesmerianas, en las que hipnotizaban a sus criados, sus hijas o sus vecinos. La periodista y escritora Harriet Martineau provocó un escándalo al anunciar que el magnetismo animal había curado una enfermedad crónica. En la década de 1830, el mesmerismo llegó a ser un caso célebre en manos del médico radical John Elliotson, del University College Hospital de Londres. Elliotson creía que el mesmerismo podía sentar las bases de una ciencia nueva y materialista de la mente al poner de manifiesto que todos los estados mentales resultaban simplemente del estado físico del cuerpo. Llevó a cabo experimentos mesmerianos con sus pacientes del hospital antes de invitar como testigos a científicos como Michael Faraday. Fueron especialmente conocidos sus ensayos con una joven de clase trabajadora, Elizabeth O'Key. La defensa que hizo del mesmerismo ocasionó su distanciamiento de algunos colegas radicales, entre ellos Thomas Wakley, editor de *Lancet*, y desembocó finalmente en su despido del puesto que ocupaba en el University College (Winter, 1998). En la década de 1840, se llegó a usar el mesmerismo como método anestésico.

El planteamiento de Elliotson da una pista de la generalizada popularidad del mesmerismo tanto en Europa como en Norteamérica. Se trataba de una ciencia radical que proporcionaba, respecto a la mente y la acción, una descripción alternativa a la que ofrecían muchos científicos ortodoxos y la religión oficial (véase cap. 15, «Ciencia y religión»). Esto también ayuda a explicar la virulencia con que la comunidad científica recibió al advenedizo rival. El mesmerismo proponía convertir la ciencia de la mente en una ciencia física. La conducta de la gente y su posición en la sociedad se explicaba mediante el flujo de fluido magnético a través del cerebro y no por la intervención de la divina providencia ni la herencia. Otra pista del éxito del mesmerismo fue el carácter igualitario de su práctica. Mientras los caballeros alegaban que a la verdadera ciencia sólo podía dedicarse la minoría de los muy preparados, los mesmeristas sostenían que cualquiera podía pasar a engrosar sus filas. Las mujeres y los hombres de clase trabajadora tenían las mismas posibilidades que los caballeros de clase media de ser buenos mesmerianos. Los políticos radicales de izquierda que

buscaban una base materialista para sus teorías sociales respaldaban el mesmerismo por esos motivos. En términos más prosaicos, pese a la frenética oposición de los científicos de clase media, amplios sectores de esa clase social quedaron fascinados por el mesmerismo simplemente como fuente de especulación y entretenimiento. El mesmerismo era una ciencia que, cuando menos en cierta medida, cruzó fronteras de clase y género (véase cap. 21, «Ciencia y género»). Proporcionó una vía a través de la cual los miembros de la clase trabajadora podían acercarse a las gentes de clase media como sus iguales desde el punto de vista intelectual.

Como el mesmerismo, la ciencia de la frenología tenía su origen en los esfuerzos de finales del siglo XVIII por crear una ciencia materialista de la mente. Resultó de los intentos de otro médico vienés, Franz Joseph Gall (1758-1828), por comprender la relación entre la estrucutura física del cerebro y diferentes estados mentales. La nueva ciencia de Gall se basaba en varios principios simples e incontrovertibles: que el cerebro era el órgano de la mente, que la mente se componía de diversas facultades diferenciadas, que cada facultad estaba asociada a un órgano cerebral distinto; que el tamaño de cada órgano determinaba la capacidad relativa de la facultad correspondiente, que el tamaño y la forma del cerebro estaban determinados por el tamaño y la forma de los órganos respectivos, y que los contornos del cráneo estaban definidos por la forma y el tamaño del cerebro. Todo eso significaba que era posible conocer al punto la forma del cerebro y, por tanto, el tamaño de los órganos respectivos y la capacidad de las correspondientes facultades a partir del tamaño y la forma del cráneo. Durante los primeros años del siglo XIX, Gall y su discípulo J. C. Spurzheim (1776-1832) recorrieron Europa de una parte a otra dando conferencias sobre la ciencia de la frenología y sus repercusiones.

La Nueva Ciencia adquirió importancia primero en las islas Británicas tras una despiadada reseña de la obra de Gall publicada en 1815 en *Edinburgh Review*. La vehemente defensa que hizo Spurzheim del trabajo de su maestro, ante un público mayoritariamente hostil de médicos en la Universidad de Edimburgo, despertó una considerable solidaridad y centró la atención en los principios fundamentales de la frenología, que enseguida llegó a ser una ciencia popular (Cooter, 1984).

Su principal seguidor en Edimburgo —y en general en el país— era George Combe, cuya frenológica *Constitution of Man* [Constitución del hombre] (1828) fue un superventas del que a finales de siglo se habían vendido 350.000 ejemplares. El libro de Combe situaba la frenología en el contexto de otros esfuerzos por crear una ciencia naturalista del lugar del hombre en la naturaleza y la sociedad como consecuencia del funcionamiento de la ley natural. Combe también contribuyó, junto con su *Phrenological Journal*, a la fundación en 1820 de la Sociedad Frenológica. Esa clase de sociedades florecieron en las islas Británicas, el resto de Europa y Norteamérica durante la década de 1830. Como sucedió con el mesmerismo, los ejecutantes populares recomendaban lecturas a auditorios, y diversos libros populares procuraban guías de «hágalo usted mismo» a la ciencia frenológica. Las giras de conferencias del frenólogo americano L. N. Fowler por Estados Unidos y Europa durante la segunda mitad del siglo hicieron mucho por restablecer la popularidad cada vez menor de la frenología.

Como pasó con el mesmerismo, una de las razones clave de la aceptación de la frenología fue su carácter popular. Por un lado, era una ciencia que podía practicar cualquiera. Sus principios orientadores eran relativamente sencillos y fáciles de entender. En cuanto se dominaban, todo lo que necesitaba el practicante en ciernes para empezar a rodar era un plano con la ubicación de los diversos órganos frenológicos del cerebro y los correspondientes bultos en la superficie del cráneo. El materialismo implícito de la frenología atraía a los políticos radicales. Más incluso que el mesmerismo, la frenología traía consigo un mensaje igualitario y antijerárquico. Si el carácter y el talento estaban determinados por el tamaño y la forma de los órganos del cerebro, entonces ésas, y no la posición y la riqueza familiar heredadas, serían también las características que deberían determinar el estatus y las oportunidades sociales. Se trataba de una propuesta muy atractiva para las audiencias de clase media baja que acudían en gran número a las conferencias o devoraban el libro de Combe. Parecía proporcionar una base científica a sus pretensiones de reforma social y política por razones de mérito. Había que conceder poder social y político a los que fueran frenológicamente aptos para ello. Los disertadores hacían interpretaciones a los padres acerca de las probables aptitudes ocupacionales

de sus hijos o a los preocupados cabezas de familia sobre la honradez de potenciales sirvientes (figs. 16.4 y 18.1, p. 525).

Conclusiones

Si analizamos la dinámica cultural que rodea a ciencias alternativas como el mesmerismo y la frenología, vemos lo importante que puede ser la ciencia popular para comprender las relaciones entre ciencia y sociedad. Las dos ciencias citadas prosperaron gracias a una serie completa de medios históricos, como conferencias, exposiciones, libros de divulgación y publicaciones. Los partidarios crearon sociedades para fomentar esas nuevas ciencias igual que se habían creado otras para promover la astronomía o la geología. Sus relatos ponen de manifiesto precisamente lo importante que puede ser el rostro público y popular de la ciencia para determinar el modo como, a lo largo de la historia, se ha definido la ciencia en cuanto a práctica. Es mediante la interacción con un público amplio, al menos tanto como por medio de la interacción con sus colegas, como los científicos definen qué es ciencia. En los casos del mesmerismo y la frenología del siglo XIX, sus defensores lucharon duramente por establecer esas prácticas como ciencias y, de ese modo, redefinir qué era ciencia, cómo debía llevarse a cabo y qué clase de personas tenían que ser quienes la practicaran. Eran debates que, por su misma naturaleza, debían producirse en el ámbito público y a través de medios de comunicación tanto populares como profesionales. Y eso simplemente debido a que en casos como éste, al menos, era la gente la que en última instancia decidía qué era ciencia, o como mínimo a qué ciencia deseaba prestar atención.

No obstante, tener un rostro público también es importante para otras ciencias y otros científicos que acaso calificaríamos fácilmente de ortodoxos. Durante la mayor parte del período abarcado por este libro, los científicos y los filósofos naturales han intentado vincularse con sus públicos no como algo tangencial a sus principales preocupaciones sino como un elemento fundamental de aquello de lo que se ocupaba su ciencia. Como hemos visto, se han implicado en multitud

de distintas vías conducentes a este fin. Asimismo, durante la mayor parte de este período a la gente no le parecieron nada extraños los esfuerzos de los científicos por llamar su atención. Bien el contrario, de una manera u otra se ha mostrado entusiasmada con la ciencia. En este sentido, C. P. Snow acierta plenamente al decir que la ruptura en «dos culturas» es un fenómeno moderno. Esto no equivale a sugerir que lo que teníamos en el pasado fuera un contexto común. Los diferentes grupos, clases y sexos tenían distintas experiencias y expectativas de la ciencia popular y los usos a que se podía destinar. Los diversos géneros recurrían a un abanico de diferentes circunscripciones; y los creadores de la ciencia popular, fueran practicantes científicos, gacetilleros, artistas, activistas políticos o religiosos, autores de ciencia ficción o realizadores de televisión, tenían objetivos y aspiraciones dispares —así como ideas contrapuestas sobre qué era ciencia.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Beauchamp, Ken, *Exhibiting Electricity*, Institution of Electrical Engineers, Londres, 1997.

Berman, Morris, *Social Change and Scientific Organization: The Royal Institution, 1799-1844*, Heinemann, Londres, 1978.

Bowler, Peter J., *Reconciling Science and Religion: The Debate in Early Twentieth-Century Britain*, University of Chicago Press, Chicago, 2001.

Cooter, Roger, *The Cultural Meaning of Popular Science: Phrenology and the Organization of Consent in Nineteenth-Century Britain*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

Desmond, Adrian, *Huxley: The Devil's Disciple*, Michael Joseph, Londres, 1994.

Eisenstein, Elizabeth, *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early Modern Europe*, Cambridge University Press, Cambridge, 1979 (hay trad. cast.: *La revolución en la imprenta en la edad moderna europea*, Akal, Madrid, 1994).

Fayter, Paul, «Strange New Worlds of Space and Time: Late Victorian Science and Science Fiction», en *Victorian Science in Context*, Bernard Lightman, ed., University of Chicago Press, Chicago, 1997.

Golinski, Jan, *Science as Public Culture: Chemistry and Enlightment in Britain, 1760-1820*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Hays, J. N., «The London Lecturing Empire, 1800-50», en *Metropolis and Province: Science in British Culture, 1780-1850*, Ian Inkster y Jack Morrell, ed., Hutchison, Londres, 1983.

Heilbron, John, *Electricity in the Seventeenth and Eighteenth Centuries: A Study of Early Modern Physics*, University of California Press, Berkeley, 1979.

Johns, Adrian, *The Nature of the Book: Print and Knowledge in the Making*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

Marvin, Carolyn, *When Old Technologies Were New*, Oxford University Press, Oxford, 1988.

Morrell, Jack y Arnold Thackray, *Gentlemen of Science: The Early Years of the British Association for the Advancement of Science*, Oxford University Press, Oxford, 1981.

Morton, Alan, *Public and Private Science: The King George III Collection*, Oxford University Press, Oxford, 1993.

Morus, Iwan Rhys, *Frankenstein's Children: Electricity, Exhibition and Experiment in Early Nineteenth-Century London*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1998.

Porter, Roy, *Enlightmnent: Britain and the Creation of the Modern World*, Allen Lane, Londres, 2000.

Secord, James, *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication. Reception, and Secret Autorship of Vestiges of the Natural History of Creation*, University of Chicago Press, Chicago, 2000.

Snow, C. P., *The Two Cultures and the Scientific Revolution*, Cambridge University Press, Cambridge, 1959.

Stewart, Larry, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology, and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Winter, Alison, *Mesmerized: Powers of Mind in Victorian Britain*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

17

Ciencia y tecnología

Desde una óptica contemporánea, la ciencia y la tecnología parecen estar intrincadamente conectadas. La relación, si cabe, da la impresión de ser cada vez más estrecha. No hace ni una década que los políticos y los científicos daban por sentadas unas fronteras —entre investigación pura y aplicada, entre ciencia e ingeniería, o entre la teoría y su aplicación— que parecen estar más y más desdibujadas. En la actualidad, es muy probable que rechacen esas distinciones calificándolas, en el mejor de los casos, de artificiales, y en el peor, de realmente engañosas respecto a las suposiciones de cómo funcionan en la práctica las disciplinas de la ciencia y la ingeniería. En general, en un contexto más popular la ciencia y la tecnología también se representan en buena parte como colindantes. En la televisión, por ejemplo, la ciencia suele aparecer como la suma de sus aplicaciones tecnológicas. No obstante, esta percepción es relativamente reciente. Desde un punto de vista histórico, filosófico y sociológico, la relación entre la ciencia y la tecnología ha sido objeto de un importante debate que sigue vigente. La opinión filosófica predominante es que la relación entre la ciencia y la tecnología ha sido claramente jerárquica. Los científicos crean teorías nuevas que los ingenieros y los tecnólogos usan después a fin de encontrar aplicaciones que sirvan para resolver problemas prácticos, como construir puentes o hacer explotar bombas nucleares. Como veremos, esa perspectiva de la relación tiene su propia historia.

Los planteamientos sociológicos y sociales contemporáneos sobre

la relación entre ciencia y tecnología tienden a considerarlas actividades estrechamente entrelazadas, si no indistinguibles. El sociólogo Bruno Latour, por ejemplo, las reúne bajo la etiqueta «tecnociencia» y las trata como si fueran idénticas (Latour, 1987). Sugiere que, desde la óptica del sociólogo (o historiador) que intenta comprender la ciencia y la tecnología, no hay diferencias prácticas entre ellas. Aquí debemos hacer tres observaciones. Primero, tras el trabajo de los historiadores de la ciencia y la tecnología en los últimos cincuenta años, caben pocas dudas de que la relación histórica entre ciencia y tecnología es mucho más compleja de lo que supone la idea jerárquica. Segundo, también está claro que las fronteras disciplinarias entre ciencia e ingeniería que pudieran existir hace unas décadas se están volviendo cada vez más difusas. Tercero, en la actualidad los historiadores y los sociólogos de la ciencia tienden a considerar que ésta es (al menos en parte) una actividad práctica más que una abstracción teórica. Por lo tanto, es muy probable que centren la atención en los aspectos científicos que tienen más que ver con la práctica tecnológica. Naturalmente, en un sentido más general el giro cultural en la historia de la ciencia también significa que los historiadores quizá están más interesados que antes en buscar conexiones entre la ciencia y otros ámbitos de la cultura.

Actualmente, los historiadores son cada vez más conscientes de que no sólo está cambiando continuamente la relación entre ciencia y tecnología sino que las propias figuras históricas han mantenido diversas opiniones enfrentadas sobre qué era, o debía ser, esa relación. Comprender esos conflictos es importante para entender la relación entre ciencia y tecnología. Por lo común, esa clase de pugnas formaban parte de debates más amplios sobre la naturaleza de la ciencia y quién debía ejercerla y cómo. Por ejemplo, habitualmente, como veremos, los que en la época victoriana defendían una mayor financiación estatal de la actividad científica exponían argumentos que avalaban la estrecha relación entre la ciencia y la industria. Les convenía sostener que la ciencia hacía una aportación tangible a la productividad económica. Los que se oponían al incremento de la financiación del Estado solían negar tal conexión. En períodos anteriores, las discusiones sobre ciencia y utilidad han sido a menudo planteadas por quienes buscaban el patrocinio de sus actividades. Aparte de los inte-

reses profesionales, en disputas como ésta puede entrar también en juego otras cuestiones políticas. Las polémicas sobre la relación entre ciencia y tecnología con frecuencia han tenido como tema central el de la propiedad cultural de la ciencia. Veremos que muchas posturas historiográficas contemporáneas concernientes a la relación entre tecnología y ciencia tienen sus equivalentes en las declaraciones realizadas por figuras históricas acerca de dicha relación.

Empezaremos este capítulo con una visión general de algunas perspectivas de la relación entre ciencia y tecnología junto con las afirmaciones hechas acerca de la misma por ciertas figuras históricas. Al menos desde Francis Bacon, los filósofos naturales han propuesto periódicamente diversos argumentos referentes a la utilidad de sus ciencias. Para Bacon, por ejemplo, esa utilidad era uno de los rasgos importantes que distinguía la Nueva Ciencia del viejo escolasticismo (véase cap. 2, «La revolución científica»). Durante la época revolucionaria y napoleónica, Francia aunó esfuerzos para poner la ciencia al servicio del país. Ciertos comentaristas británicos —por ejemplo, Charles Babbage y William Whewell— discrepaban acerca de la relación entre la ciencia y las artes. Y científicos de izquierda de principios del siglo XX como J. D. Bernal querían dirigir la ciencia hacia el bien común. A continuación analizaremos dos casos —la máquina de vapor y el telégrafo— a fin de intentar entender mejor la dinámica de la relación entre ciencia y tecnología durante los siglos XVIII y XIX. Por supuesto, para lograr ese propósito podríamos utilizar otros ejemplos, como la industria química del siglo XIX o la electrónica del XX. Por último, examinaremos cómo los debates concernientes a la relación entre ciencia y tecnología —si la tecnología resulta de la ciencia o la ciencia de la tecnología— a menudo han estado entrelazados con discusiones más amplias relativas a la identidad social del científico.

El huevo y la gallina

Durante gran parte del pasado siglo, la mayoría de quienes la practicaban consideraban que la —relativamente nueva— disciplina de historia de la ciencia era totalmente distinta de la historia de la tecnolo-

gía. La primera se ocupaba de conceptos y sus orígenes, no de aplicaciones tecnológicas. Asimismo, no se mostraba muy favorable a la idea de que la propia ciencia tuviera sus raíces en la actividad tecnológica práctica. El historiador George Sarton, que en 1912 fundó *Isis*, una de las primeras revistas especializadas en historia de la ciencia, entendía que, para el historiador, las aplicaciones tecnológicas son en buena parte distracciones irrelevantes. La ciencia se encargaba de la producción de verdades, no de tecnologías (Sarton, 1931). De hecho, también podía tener aplicaciones beneficiosas, pero eso era un subproducto secundario de la búsqueda de la verdad, motivada por la «curiosidad desinteresada». La opinión de Sarton era bastante común. El historiador francés de las ideas Alexandre Koyré expuso argumentos parecidos. Las grandes figuras de la historia de la ciencia, como Galileo o Newton, no tenían nada que ver con los ingenieros o los artesanos. Su actividad era producto de la teoría más que de la práctica (Koyré, 1968). El historiador británico Herbert Butterfield y sus alumnos defendieron un punto de vista similar. Evidentemente, la ciencia tenía aplicaciones tecnológicas, pero éstas eran incidentales y quedaban fuera del ámbito de su historia que debía ocuparse ante todo de ideas (Butterfield, 1949).

Al menos en cierta medida, el idealismo consciente de muchos de los padres fundadores de la historia de la ciencia y su reticencia a abordar la relación entre ciencia y tecnología constituían una reacción ante una tendencia incipiente de la historia marxista, según la cual la ciencia era una ramificación del desarrollo económico y tecnológico. En 1931, el historiador económico soviético Boris Hessen articuló perfectamente esa postura en su ensayo «Las raíces sociales y económicas de los "Principia" de Newton» (1931, 1971). De acuerdo con Hessen, la ciencia matemática creada por Newton y sus contemporáneos era tan sólo la consolidación, en el lenguaje teórico, de los conocimientos prácticos generados por artesanos e ingenieros involucrados en actividades económicas y tecnológicas. La fuerza motriz que habría tras la aparición de la ciencia moderna era su utilidad potencial: balística, fortificación, navegación y construcción naval. Era una argumentación marxista clásica, que privilegiaba la actividad económica como fuente primordial de todo desarrollo histórico. El sociólogo

Edgar Zilsel (1942) adoptó una postura parecida. Según él, el ascenso de la ciencia era inseparable del ascenso del capitalismo moderno. Al igual que Hessen, mantenía que la aparición de la ciencia debía entenderse como la apropiación, por parte de los eruditos académicos, de las destrezas artesanales y los conocimientos tecnológicos de trabajadores manuales como los carpinteros, los fabricantes de instrumentos y los mineros.

Algunos historiadores de la ciencia ajenos a la tradición idealista han evitado este debate (a menudo centrado en la antítesis externalismo-internalismo) y han dirigido la atención al desarrollo de ciencia aplicada, especialmente en el contexto de la Revolución Industrial y sus secuelas (Cardwell, 1957). Cardwell, por ejemplo, aunque admitía que los avances económicos y tecnológicos de los siglos XVI y XVII habían desempeñado un papel claro en la revolución científica de esos siglos, negaba el determinismo tecnológico y económico implícito (y a veces totalmente explícito) en argumentos como los de Hessen y Zilsel. Como mínimo, sugería, una tesis así era en última instancia inverificable. El principal interés de Cardwell radicaba en seguir atentamente el desarrollo de conexiones, sobre todo de carácter institucional, entre ciencia e ingeniería desde finales del siglo XVIII. Como poseía formación en ciencia tanto «pura» como «aplicada» (como él las calificaba), insistía reiteradamente en las ventajas de una interacción fructífera de ciencia y tecnología en ambas iniciativas. En este sentido, su trabajo es típico de la recientísima historia del nexo entre ambas. Los historiadores a menudo han dado por sentadas las categorías y han intentado describir el vínculo que había entre las dos actividades en un determinado momento histórico. Un modo de poner en entredicho este enfoque es analizando qué han dicho ciertas figuras históricas sobre esa relación.

Francis Bacon sólo fue uno de los muchos comentaristas modernos de la Nueva Ciencia de los siglos XVI y XVII que hacían hincapié en la utilidad como uno de sus rasgos definitorios. Como hemos visto antes, Bacon insistía en que debían dedicarse a la filosofía natural caballeros de mucho mundo y no eruditos recluidos (véase cap. 2, «La revolución científica»). Entre otras razones alegaba que la ciencia tenía que estar al servicio del bien común. Una de las ventajas que cabía

esperar de la búsqueda sistemática de conocimiento era una mayor capacidad para manipular la naturaleza con fines utilitarios (fig. 17.1). Como lo expresó Bacon quizá en su máxima más célebre, «conocimiento es poder». Los filósofos naturales del siglo XVII de toda Europa en busca de patrocinio estatal o privado repetían encantados la sentencia de Bacon a sus potenciales mecenas. Uno de los motivos subyacentes a la creación tanto de la Royal Society de Londres como de la Académie des Sciences francesa era que las instituciones promoverían la utilidad de la ciencia (véase cap. 14, «La organización de la ciencia»). Algunos historiadores han identificado ese giro utilitarista como uno de los aspectos distintivos de la revolución científica (Merton, 1938; Webster, 1975). Ciertos conferenciantes populares del siglo XVIII, como J. T. Desaguliers, subrayaban el potencial tecnológico de sus conocimientos en filosofía natural a medida que recorrían los cafés londinenses en busca de público y benefactores (Stewart, 1992; véase también cap. 16, «Ciencia popular»).

El Estado revolucionario francés de finales del siglo XVIII fue uno de los primeros en coordinar esfuerzos institucionales para aprovechar lo que muchos de los partidarios de la Revolución consideraban el evidente potencial tecnológico de las ciencias. Ya antes de la Revolución Francesa, muchos militares franceses tenían un interés creciente en aplicar la ciencia a la mejora del diseño y la producción de armamento (Alder, 1997). Tras la reorganización sistemática de las instituciones científicas y educativas francesas inmediatamente después de la Revolución, se crearon explícitamente nuevos organismos, como la École Polytechnique, para ofrecer formación en filosofía natural (concretamente a cadetes del ejército) con la esperanza de que se tradujera en conocimientos tecnológicos y de ingeniería. Los defensores de la educación científica, como el general revolucionario Lazare Carnot, sostenían que las herramientas científicas como el análisis geométrico servían a las mil maravillas para resolver problemas de ingeniería. Bajo el régimen revolucionario, Gaspar Monge, principal impulsor de l'École, afirmaba también que la geometría era la base de los conocimientos en ingeniería. Después de las reformas en la École bajo Napoleón, y especialmente del aumento de influencia del físico matemático Pierre-Simon Laplace, la física adquirió cada vez mayor

FIGURA 17.1. Frontispicio de *Instauratio magna*, de Francis Bacon, donde se aprecia el barco del descubrimiento a punto de zarpar a través de las columnas de Hércules para surcar los mares del conocimiento. La leyenda en latín reza así: «Muchos parten, y el conocimiento crece».

protagonismo en el plan de estudios. De todas formas, las reformas como ésa no señalaban ninguna pérdida de fe en la capacidad de la ciencia para generar beneficios tecnológicos. La disputa se daba en torno a qué tipo de ciencia produciría los mejores resultados.

En Gran Bretaña, simpatizantes del régimen napoleónico miraban con envidia el apoyo del Estado francés a la ciencia y se mostraban mayoritariamente de acuerdo con la suposición de los filósofos naturales franceses de que la formación en filosofía natural generaría beneficios industriales tangibles. *Reflexions on the Decline of Science in England* [Reflexiones sobre el declive de la ciencia en Inglaterra] (1830), de Charles Babbage, un ataque frontal contra la dirección de la Royal Society y la actitud liberal del gobierno inglés hacia las ciencias, estableció comparaciones muy poco halagüeñas entre el respaldo francés e inglés a las mismas. Babbage y colegas partidarios suyos, como John Herschel, se mantenían firmes en que la ciencia era una herramienta indispensable para el progreso industrial. Únicamente la aplicación sistemática de principios científicos —no sólo al proceso de invención tecnológica sino también a la organización industrial— podía garantizar un desarrollo continuo (Ashworth, 1996; Schaffer, 1994). Babbage volvió al ataque en su *Exposition of 1851* [Exposición de 1851], donde leyó la cartilla a los organizadores de la Exposición Universal por no haberla planeado a partir de principios científicos adecuados. La postura de Babbage recibió diversos apoyos, como el del químico Lyon Playfair, que se mantenía igualmente firme en que la ciencia química era una condición *sine qua non* de la industria química. No obstante, como veremos, a Babbage y sus seguidores les gustaba muy poco la idea de que las destrezas artesanales y los conocimientos de artesanos y mecánicos podían hacer aportaciones a la ciencia; para ellos, por el contrario, la innovación tecnológica dependía de sustituir la destreza, el oficio, por ciencia dura.

Durante la primera mitad del siglo XIX, pocos científicos británicos compartían el entusiasmo de Babbage por el régimen napoleónico o por el modelo francés de financiación estatal de las instituciones científicas. De cualquier modo, en la mayoría de las descripciones británicas del progreso científico se apreciaba una inclinación claramente utilitarista. El filósofo natural galés William Robert Grove hizo la

típica afirmación de que la grandeza británica dependía de su industria y su comercio y que éstos dependían de la ciencia. Sin embargo, había opiniones opuestas. El erudito William Whewell, director del Trinity College de Cambridge, recelaba mucho de las aseveraciones sobre la utilidad de la ciencia. Whewell negaba rotundamente que ésta fuera un requisito imprescindible del progreso industrial. Las ciencias y las artes industriales evolucionaban con arreglo a sus propios principios de desarrollo. Según Whewell, si había alguna relación entre las dos, era la contraria de la sugerida por Babbage y sus aliados. La relación entre el arte (es decir, la tecnología) y la ciencia equivalía a la existente entre la poesía y la crítica. En otras palabras, la tecnología iba por delante. Tal vez la ciencia intentaba comprender el proceso natural en virtud del cual funcionaba la tecnología, pero eso no se producía como resultado de una fuente segura de innovación tecnológica. Whewell, reacio —como su amigo George Bidell Airy— a la financiación estatal de las ciencias progresivas, no le encontraba ningún sentido al argumento de que dicha financiación era fundamental para garantizar el progreso tecnológico constante.

Diversos comentaristas de otras partes recelaban igualmente del argumento utilitarista. El físico americano y primer secretario del Instituto Smithsoniano Joseph Henry, por ejemplo, mostraba un gran afán por mantener la respetabilidad de la ciencia americana, estaba preocupado por la tendencia de sus compatriotas a preferir los inventores a los descubridores y tenía dudas sobre la conexión entre ciencia y tecnología. No obstante, a principios del siglo XX, los defensores del argumento utilitarista favorable a la financiación estatal se hacían oír cada vez más. En Gran Bretaña, los científicos liberales y socialistas se mantenían firmes en la idea de que el progreso científico era indispensable para que no se interrumpiera la prosperidad económica. Eso significaba que la ciencia necesitaba ser objeto de financiación y control centralizado por el Estado y que los científicos debían implicarse activamente en las políticas de planificación económica. Hacia la década de 1930, el científico marxista J. D. Bernal sostenía, con Boris Hessen, que la ciencia y la tecnología estaban unidas en un abrazo simbiótico y que las fuerzas económicas eran la clave de su desarrollo. El progreso científico y tecnológico precisaba planificación cen-

tralizada para alcanzar el bien común. En palabras de Bernal, «la ciencia dirigida deliberadamente, y no dejada a merced de la suerte ciega, puede transformar casi sin limitaciones la base material de la vida» (1954). Las utopías tecnológicas y científicas de Bernal eran compartidas por otros, sobre todo tras el aparente éxito de la planificación científica durante la guerra (véase cap. 20, «Ciencia y guerra»). De hecho, los historiadores idealistas intentaron separar la ciencia de la tecnología principalmente para responder a lo que consideraban el secuestro de la historia de la ciencia por marxistas y deterministas tecnológicos como Bernal o Hessen.

Cultura del vapor

Naturalmente, alguien como Bernal daba por sentado que la máquina de vapor era un caso clásico del papel de la ciencia en la creación de innovaciones tecnológicas. De hecho, desde finales del siglo XVIII la máquina de vapor ha sido uno de los ejemplos habituales de vehículo del progreso industrial utilizados por los defensores de la ciencia. En el siglo XIX, los partidarios de la financiación estatal de la actividad científica —y en particular de la educación científica— señalaban concretamente a James Watt y su aportación al desarrollo de la tecnología del vapor como prueba del vínculo directo entre los principios científicos y los adelantos tecnológicos; se decía que las mejoras de Watt en la máquina de vapor eran el resultado directo de sus conocimientos sobre ciencia del calor (fig. 17.2). En el siglo XX, diversos historiadores marxistas de la ciencia, como Bernal, llevaron la argumentación más lejos al afirmar que no sólo las innovaciones de Watt derivaban de la ciencia aplicada, sino que la ciencia del calor del siglo XVIII que él había usado para mejorar el rendimiento de las máquinas de vapor derivaba en sí misma de la tecnología del vapor. Bernal sugería que habían sido los avances de finales del siglo XVII y principios del XVIII en el uso de dichas máquinas para bombear agua de las minas por Newcomen y otros, amén de la creciente proporción de actividad industrial que requería calor, lo que había centrado la atención científica principalmente en los problemas de su transferencia.

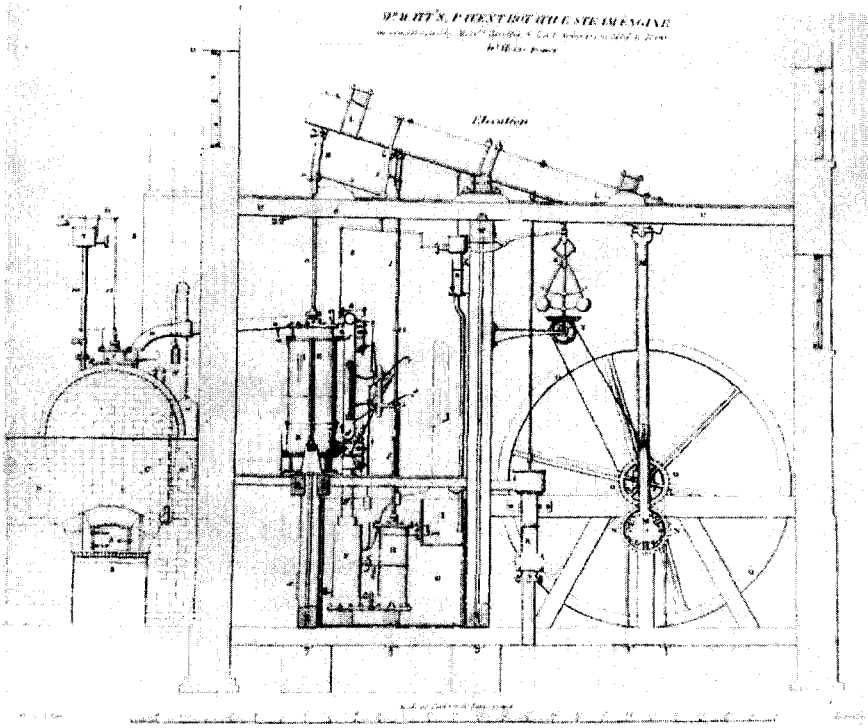


FIGURA 17.2. Ilustración de las mejoras en la máquina de vapor de James Watt.

Durante la segunda mitad del siglo XVIII, en Escocia tuvieron lugar importantes avances en la ciencia del calor. William Cullen, que dio clases de medicina y química en Edimburgo y Glasgow, llamó la atención sobre la aparente relación entre la presión y el punto de ebullición de los líquidos y estudió los efectos refrigerantes de la evaporación. Joseph Black, alumno de Cullen, fue aún más lejos en sus esfuerzos por comprender el calor. Black quería averiguar la razón de que, al parecer, hicieran falta cantidades diferentes de calor para cambiar el estado (sólido, líquido, gaseoso) de distintas clases de sustancias. Según decía, sus experimentos revelaban que sustancias diferentes tenían capacidades distintas para el calor —necesitaban más o menos calor para pasar de un estado a otro—, y que esa capacidad parecía ser algo inherente a la sustancia más que una característica de su densidad.

También mantenía que, como el cambio de un estado a otro requiere tiempo, durante ese período las sustancias absorbían una determinada cantidad de calor sin incrementar su temperatura. Black denominó a esa cantidad «calor latente de la sustancia» y creó técnicas para intentar medirla comparando el tiempo tardado en calentar agua hasta la ebullición y el transcurrido hasta que ésta se ha evaporado del todo (Cardwell, 1971).

Ésa era la ciencia que Bernal y otros tenían presente cuando señalaban las innovaciones en la máquina de vapor de Watt como ejemplos de ciencia aplicada (Bernal, 1954). Siendo un joven fabricante de instrumentos de Glasgow, James Watt fue contratado por Joseph Black para que reparara la máquina de vapor de Newcomen de la universidad. Según se cuenta, Watt observó que el problema radicaba en el hecho de que el vapor se condensaba en el pistón frío, y Black le explicó el fenómeno aludiendo al calor latente. Según la leyenda, gracias a esa observación, Watt se dio cuenta de que si el vapor se condensaba en un recipiente aparte, la máquina funcionaría mucho mejor. Podemos encontrar la fuente de esta tradición en la *Encyclopaedia Britannica*, en un artículo de finales del siglo XVIII de John Robison —un alumno de Black— sobre las máquinas de vapor. Más adelante, el propio Watt negó el hecho, pero a lo largo del siglo XIX y bien entrado el XX quedó como el clásico ejemplo de contribución de la ciencia a la tecnología. Cardwell ha señalado que la leyenda es particularmente inverosímil, pues no concuerda con lo que sabemos sobre la secuencia cronológica de los inventos de Watt (Cardwell, 1971).

De todas formas, lo que sí parece claro es que, al margen de los detalles de la leyenda, para muchos inventores, filósofos naturales y empresarios había pocas diferencias prácticas entre sus actividades: todos estaban inmersos en la misma cultura. Tanto durante la primera época de fabricante de instrumentos en Glasgow como posteriormente en calidad de ingeniero en Inglaterra, Watt se movió en círculos que establecían pocas diferencias entre la filosofía natural y las innovaciones tecnológicas. En los grupos de Glasgow en los que estuvo al principio, hombres como Joseph Black o su amigo y alumno John Robison pasaban fácilmente de los problemas prácticos a las abstracciones filosóficas naturales y viceversa. La máquina modelo de Newcomen

que Watt tuvo que reparar en el aula revela el carácter práctico del plan de estudios. En este caso, la respuesta a la pregunta sobre los orígenes del conocimiento de Watt —¿qué iba antes, la ciencia o la tecnología?— pasa simplemente por entender que, en el contexto en el que trabajaba Watt, había pocas diferencias prácticas entre ambas. Lo mismo podríamos decir de los círculos en los que estuvo Watt más adelante en Inglaterra. Fue miembro de la Sociedad Lunar, en la que se celebraban reuniones informales de entusiastas —de ideas afines— de la filosofía natural del área de Birmingham entre los que se contaba su socio capitalista Matthew Boulton, el industrial Josiah Wedgwood, el médico y precoz defensor de la evolución Erasmus Darwin y el químico radical Joseph Priestley. Una señal de la falta de interés del grupo en establecer diferencias entre lo que se entendía por ciencia y por tecnología es que la propia respuesta de Priestley al aislamiento de Joseph Black del «aire fijado» (dióxido de carbono) iba a crear una nueva técnica industrial para producir agua carbonatada.

Como hemos visto en los anteriores análisis sobre los orígenes de la conservación de la energía, los esfuerzos de Sadi Carnot por desarrollar una teoría de las máquinas de calor ideales durante la década de 1820 fueron también intentos por hallar formas prácticas de incrementar la eficiencia de las máquinas de vapor (véase cap. 4, «La conservación de la energía»). Carnot fue educado por su padre, ingeniero republicano, en la École Polytechnique, institución dedicada, como hemos visto, a aplicar la filosofía natural al progreso económico, militar y tecnológico de Francia. Con estos antecedentes, no es de extrañar que Carnot hijo recurriera a la filosofía natural en su propósito de lograr más mejoras tecnológicas. En las décadas de 1830 y 1840, la búsqueda de maneras de incrementar el rendimiento de las máquinas de vapor era una preocupación de los filósofos naturales y de los ingenieros franceses por igual. Unos y otros trataban de encontrar maneras de transformar la industria francesa para que pudiera competir con la del viejo enemigo, Gran Bretaña. En 1839, el prestigioso tratado *De l'influence des chemins de fer* [Sobre la influencia del ferrocarril], del ingeniero Marc Séguin, analizó con cierto detalle la cuestión del rendimiento de la máquina de vapor y sus mejoras. Victor Regnault, uno de los valores en alza de la física francesa de la década

de 1830, recibió del Ministerio de Obras Públicas el encargo de llevar a cabo investigación experimental sobre la eficiencia de las máquinas de vapor. Los resultados de su trabajo no se publicaron en su totalidad hasta 1870. Entretanto, no obstante, el laboratorio parisino de Regnault fue adquiriendo cada vez más prestigio como centro de física experimental sistemática.

Fue al laboratorio de Regnault adonde llegó William Thomson en 1845, tras licenciarse en Cambridge, en busca de conocimientos sobre las últimas técnicas experimentales que concordaran con la educación en matemáticas adquirida en la universidad. Habida cuenta de los antecedentes de Thomson en Glasgow y de sus intereses en filosofía natural, la elección de laboratorio no fue ninguna sorpresa. En Glasgow, Thomson, junto con su padre y su hermano, se movió en círculos que daban por sentada la utilidad de la ciencia. En instituciones como la Sociedad Filosófica de Glasgow, los profesores universitarios y los empresarios industriales se mezclaban sin problemas y compartían diversos valores y actitudes según los cuales la ciencia era un agente del desarrollo económico. No era exactamente que para Thomson y su hermano sus investigaciones en la ciencia del calor tuvieran un uso potencial para mejorar el diseño de las máquinas de vapor, sino que ambas empresas —la investigación en filosofía natural y la mejora tecnológica— eran dos caras de la misma moneda (Smith, 1999). Igual que otros ingenieros y filósofos naturales de mediados del siglo XIX, entre ellos W. J. M. Rankine, simplemente no establecían una distinción sistemática entre las dos. Como en el caso de Watt y Carnot, más que buscar ejemplos específicos de principios de filosofía natural utilizados directamente para generar una innovación técnica, o de mejoras técnicas que se tradujeran en un nuevo principio científico, era más provechoso analizar el contexto cultural en el que cada individuo realizaba su trabajo, bien en ciencia o en tecnología.

Hay pocas dudas de que en la Gran Bretaña de principios y mediados del siglo XIX, la máquina de vapor era considerada comúnmente como el principal vehículo del progreso económico. Representaba la supremacía industrial británica. Economistas políticos y otros comentaristas se esforzaban por explicar el papel de la máquina de vapor, y más en general de la maquinaria industrial, en el impulso a la econo-

mía nacional. En libros y artículos de autores científicos populares se explicaban los principios subyacentes a esas máquinas nuevas. Entusiastas del nuevo «sistema de producción industrial», como el químico Andrew Ure en su *Philosophy of Manufactures* [Filosofía de las manufacturas] (1835), o Charles Babbage con su *Economy of Machinery and Manufactures* [Economía de la maquinaria y las manufacturas] (1832), ensalzaban las virtudes de la maquinaria industrial. El vapor sustituiría al trabajo humano y animal como fuente principal de energía. La maquinaria también mantendría a raya a los trabajadores. Ure ansiaba un futuro en el que los seres humanos y las máquinas funcionarían juntos en armonía, todos regulados por un ingenio central. Los comentaristas como Ure daban por sentado que la ciencia era la fuente primordial de innovación técnica. Para ellos, el aprovechamiento de la filosofía natural con fines prácticos era la principal explicación del progreso industrial británico durante aquel siglo. Incluso filósofos naturales como Michael Faraday, que no estaba de acuerdo con la idea de que el objetivo más importante de la ciencia fuera la mejora tecnológica, aceptaban que aquélla inevitablemente generaría esos beneficios.

Redes de poder

Ya en la década de 1830, cuando la máquina de vapor estaba empezando a tener un uso más común como medio de locomoción tras los ensayos de Reinhill, en 1829, en la Línea Férrea Liverpool-Manchester, donde triunfó el *Rocket* de Stephenson, algunos comentaristas predecían su decadencia. La competencia provenía de la electricidad, el otro gran símbolo del progreso victoriano. A principios de la década de 1830, ya se estaban coordinando esfuerzos para utilizar la electricidad como fuerza motriz en la locomoción y otros ámbitos. Según sus optimistas promotores, el que la electricidad reemplazara al vapor como principal fuente de energía industrial y locomotriz era sólo cuestión de tiempo (y no mucho). Asimismo, soñaban con el día en que sería posible cruzar el Atlántico con sólo unos galones de ácido y unas libras de cinc (para las baterías) como combustible. A finales de

la década de 1840, esos comentaristas ya podían señalar algunos éxitos prácticos como prueba de que el siglo XIX sería el de la electricidad: destacaban los avances en la industria electrometalúrgica mediante técnicas electroquímicas para platear metales, y, lo más espectacular, presentaban el ascenso del telégrafo eléctrico como evidencia del modo como la filosofía natural podía generar un progreso tecnológico antes inimaginable.

Pese a la unanimidad aparentemente general respecto al telégrafo eléctrico como ejemplo de contribución de la filosofía natural a las innovaciones tecnológicas, sus orígenes a ambos lados del Atlántico generaron una controversia que giraba en torno a la relación entre el descubrimiento científico y el invento tecnológico. En Inglaterra, el primer telégrafo electromagnético fue patentado satisfactoriamente en 1837 por Charles Wheatstone, profesor de filosofía natural del King's College de Londres, y William Fothergill Cooke. Mientras estudiaba modelado anatómico en Heidelberg, Cooke se topó casualmente con la posibilidad de utilizar la electricidad para mandar señales a larga distancia. Tras intentar sin éxito crear un prototipo, se puso en contacto con Wheatstone para pedirle consejo, y éste le informó de que también él había estado trabajando en el problema de la comunicación eléctrica a larga distancia. Se unieron y, después de obtener la patente, trataron de convencer a los directores de diversas compañías férreas para que adoptaran su telégrafo como sistema de señales. A mediados de la década de 1840, cuando Cooke y diversos inversores crearon la Electric Telegraph Company, Wheatstone ya había vendido su parte de la empresa a Cooke a cambio de royalties regulares. Su sociedad se había ido a pique porque cada uno creía tener el derecho a calificar el telégrafo eléctrico como invención propia.

Las posturas mantenidas por Cooke y Wheatstone mientras intentaban convencerse mutuamente de sus respectivos derechos sobre el invento del telégrafo —finalmente aceptaron un arbitraje— ponen de manifiesto la dificultad para distinguir entre ciencia y tecnología. En muchos aspectos, el problema era que no se ponían de acuerdo en los criterios básicos para decidir. Según Cooke, suya era la idea original del mecanismo, él ya había creado maquetas de trabajo antes de acudir a Wheatstone, había ideado un sistema integral (o «de proyec-

ción», como él lo llamaba) sobre cuál debía ser el funcionamiento práctico del telégrafo, y había sido el responsable de su puesta en marcha. Wheatstone replicaba que él también había tenido la idea de un telégrafo y había experimentado con esa posibilidad antes de conocer a Cooke. Pero lo decisivo fue que insistiera en que, sin sus superiores conocimientos sobre los principios científicos de la electricidad, los prototipos de su colega jamás habrían funcionado a larga distancia. El arbitraje final dividió cuidadosamente las reivindicaciones de ambos. Se reconocía que Cooke había sido el primer «proyector» del sistema y que Wheatstone había proporcionado el conocimiento de los principios científicos que posibilitaron el invento. De hecho, los árbitros intentaron diferenciar entre invento y descubrimiento, declarando a Cooke el inventor del telégrafo y a Wheatstone su descubridor (Morus, 1998).

En Estados Unidos causó furor una controversia parecida respecto a los orígenes del telégrafo. Para los americanos, el inventor no era ni William Fothergill Cooke ni Charles Wheatstone, sino Samuel Morse. Éste, artista venido a menos, se había entusiasmado con la posibilidad de transmitir información a larga distancia mediante la electricidad tras ver demostraciones eléctricas en un viaje a Europa a principios de la década de 1830. Ya de regreso en Estados Unidos, se puso a construir un prototipo de sistema telegráfico; y a la larga —siguiendo los consejos de Leonard Gale, profesor de química en Nueva York y más adelante uno de sus socios, y de Joseph Henry, profesor de filosofía natural en el New Jersey College de Princeton— le sonrió el éxito. En 1837, Morse solicitó una patente americana por el invento, y empezó a exhibirlo y a buscar mecenas potenciales (fig. 17.3). En 1843, consiguió convencer al Congreso de que le concediera una subvención de treinta mil dólares para desarrollar su sistema, que incluía el código para transmitir el alfabeto como una secuencia de puntos y rayas en una tira de papel. Un año después, mandó el primer mensaje telegráfico («Qué nos ha forjado Dios») entre Baltimore y Washington, DC.

Como pasó con Cooke y Wheatstone, las controversias entre Morse y su antiguo colega Leonard Gale, así como con el profesor de Princeton (y posteriormente secretario del Instituto Smithsoniano) Joseph Henry, giraban sobre la cuestión de qué había aportado la ciencia a esa

FIGURA 17.3. Samuel Morse posando heroicamente con la mano apoyada en su telégrafo electromagnético.

nueva tecnología. Los debates se produjeron, al menos en parte, al producirse algunos intentos de invalidar la patente de Morse debido a que el invento se basaba en principios ya conocidos de filosofía natural. Tanto Gale como Henry insistían en que el asesoramiento científico que habían dado a Morse era indispensable para el funcionamiento del sistema telegráfico. Morse, naturalmente, discrepaba diciendo que

los consejos recibidos tenían poca importancia. Las sugerencias brindadas a Morse por los dos filósofos naturales se habían basado en los mejores métodos para enrollar bobinas en torno a los electroimanes utilizados en el telégrafo. Henry ya tenía cierta fama como filósofo natural gracias a experimentos que buscaban determinar la mejor clase de bobinas para producir diferentes tipos de efectos magnéticos. También afirmaba haber usado en su aula relés como los de Morse para aumentar periódicamente las señales eléctricas a larga distancia antes de que aquél se apropiara de los mismos para su invento. Lo que ambas disputas ponen de manifiesto es que, pese a la aparente unanimidad en torno al telégrafo como ejemplo de la aplicación de la ciencia al avance tecnológico, decidir con exactitud los detalles de las contribuciones respectivas podía ser un camino repleto de dificultades.

En etapas posteriores del siglo XIX, siguió habiendo tensión entre la nueva profesión de la ingeniería eléctrica y la física sobre la cuestión de cuál tenía los conocimientos adecuados para comprender el funcionamiento del sistema telegráfico. Ingenieros telegráficos competentes, como William Henry Preece, director del Servico Británico de Correos y Telégrafos, mantenían que era la práctica de ese tipo de hombres, con una larga experiencia con las peculiaridades de los sistemas eléctricos, lo más apropiado para hacer frente al funcionamiento cotidiano de la red telegráfica. Físicos como Oliver Heaviside, Oliver Lodge y el americano Henry Rowland afirmaban que, por el contrario, eran ellos los expertos en el telégrafo debido a su conocimiento de las teorías del electromagnetismo desarrolladas por el físico escocés James Clerk Maxwell (véase cap. 4, «La conservación de la energía»). La polémica llegó a un punto decisivo en 1888, cuando los teóricos aprovecharon el descubrimiento de Heinrich Hertz de las ondas electromagnéticas para defender que la teoría maxwelliana de los campos eléctricos y magnéticos funcionaba mejor que la idea sólidamente empírica de los ingenieros telegráficos de que la electricidad en un alambre es como un líquido que recorre una tubería (Hunt, 1991). Otra vez se producía, al menos en parte, una disputa sobre el papel relativo de las destrezas científicas y técnicas en el desarrollo de la tecnología. Era una controversia que cobró más importancia a causa del papel cada vez más crítico desempeñado por el

telégrafo en el sostenimiento del Imperio Bitánico del siglo XIX (Headrick, 1988).

A lo largo del siglo XIX resultó con frecuencia difícil distinguir entre el descubridor y el inventor. Incluso a finales de siglo, como sugiere la fama que obtuvo un personaje como Thomas Alva Edison, había pocas diferencias prácticas, al menos para la mayoría de las personas. Edison cultivó una imagen pública de hombre hecho a sí mismo, autodidacta, cuyo éxito se debía a su talento inventivo, no a formación científica alguna (Millard, 1990). Pero por debajo de esa imagen, Edison se aprovechó claramente de las credenciales científicas de los empleados que trabajaban como hormiguitas en sus laboratorios de Menlo Park. De cualquier modo, para la opinión pública de principios del siglo XIX, Edison era un icono del genio inventivo y científico individual. Se tomó la molestia de identificarse con los inventos de su empresa de la manera más pública y llamativa posible (Marvin, 1988). No obstante, como señala el historiador de la tecnología Thomas Hughes, a finales del siglo XIX, al menos, industrias en desarrollo del estilo de la de Edison, como la de la energía eléctrica —en rápida expansión—, necesitaban una red de toda clase de conocimientos para competir satisfactoriamente (Hughes, 1983). En lo referente al desarrollo de sistemas tecnológicos a gran escala en el siglo XX, cualquier distinción entre ciencia y tecnología era irrelevante sin más.

Técnicos invisibles

Por lo general, los debates sobre los papeles desempeñados por la ciencia y la tecnología respectivamente se han producido en torno a las relaciones entre trabajo intelectual y trabajo manual. Los científicos trabajan con la cabeza; los ingenieros, técnicos y artesanos, con las manos. Ese tipo de controversias han tenido también a menudo una importante dimensión política pues muchas veces han versado sobre la posición social. Tradicionalmente —quizá desde la civilización griega—, los que trabajan con las manos han sido considerados socialmente inferiores a los que trabajan con la cabeza. En las primeras sociedades esclavistas, como Grecia o Roma, existía un inequívoco

estigma social ligado al trabajo corporal de cualquier tipo, pues era algo que hacían los esclavos. En la Edad Media, por un lado, la idea de que trabajar con las manos era indigno de un caballero coexistía con una tradición monástica que, por otro, exaltaba cada vez más el trabajo manual como camino hacia la salvación personal. A principios de la época moderna, podemos hallar diversas posturas relativas a la dignidad del trabajo manual. No obstante, seguía dándose el caso de que los caballeros se desentendían de esa clase de trabajo. Dado que, como hemos visto antes, los primeros filósofos naturales modernos tomaban como modelo las normas de conducta de los caballeros, también mantenían una actitud ambivalente hacia el trabajo manual y hacia quienes lo realizaban (véase cap. 2, «La revolución científica»).

En los primeros años del período moderno, como ha señalado el historiador de la ciencia Steven Shapin, los técnicos (quienes llevaban a cabo el trabajo manual de los experimentos) generalmente permanecían en la sombra a menos que algo saliera mal. Por ejemplo, los experimentos llevados a cabo por Robert Boyle con la bomba de aire requerían una gran dosis de destrezas técnicas y trabajo manual para que todo funcionara correctamente. Las propias bombas de aire tenían que ser fabricadas por artesanos muy habilidosos. Sin embargo, en los informes finales de los experimentos de Boyle aparecía poca actividad técnica entre bastidores, si acaso alguna. En la mayoría de los casos, para quien leyera un texto así no era disparatado deducir que Boyle había llevado a cabo los experimentos totalmente por su cuenta. Desde luego, a ningún técnico (o «laborante», como se les solía llamar en aquella época) se le habría atribuido ninguna autoría en la producción de conocimiento científico. Incluso en casos excepcionales (como aquel en que estaba implicado un ayudante célebre, Denis Papin) en los cuales Boyle explicitó el hecho de que un técnico había hecho realmente la mayor parte del trabajo, el experimento seguía siendo claramente de su propiedad. En principio, los defensores del experimentalismo del siglo XVII sostenían que los filósofos naturales tenían que ensuciarse las manos y realizar por sí mismos el trabajo manual más degradante. Está claro que, en la práctica, eso casi nunca fue así (Shapin, 1994).

La ambivalente relación entre la experimentación filosófica natu-

ral, las destrezas técnicas y artesanales y el trabajo manual aparece claramente ilustrada en la carrera de Robert Hooke, contemporáneo de Boyle. Se sabe que al principio Hooke, uno de los técnicos de laboratorio de Robert Boyle, fue el encargado de mejorar la versión original de la bomba de aire. Tras su nombramiento, en 1662, como supervisor de experimentos en la Royal Society, a su entender iba camino de llegar a ser un filósofo natural de pleno derecho. Sus dificultades al respecto revelan lo difícil que podía ser la transición de técnico a filósofo. Para los empresarios de la Royal Society, Hooke seguía siendo un mecánico cuya tarea consistía en realizar experimentos siguiendo las instrucciones que se le dieran y no en llevar a cabo investigaciones de manera autónoma. El hecho de ser alguien que trabajaba con las manos (y que además lo hacía por un salario) dificultaba su aceptación como filósofo natural. El comportamiento que se esperaba de los mecánicos y artesanos en relación con su trabajo era simplemente distinto del que cabía esperar de los filósofos naturales. En lo que se refería a los caballeros de la filosofía natural, estaba el problema de hasta qué punto se podía confiar en un técnico.

Los filósofos naturales de principios del siglo XIX compartían algunas de esas preocupaciones sobre las diferencias entre las conductas que cabía suponer de los técnicos y los científicos. John Herschel, por ejemplo, establecía una distinción entre los hábitos de franqueza y transparencia de los filósofos naturales y las tendencias de los artesanos a cubrir sus actividades con un halo de misterio. Decía que sólo era posible considerar hombres de ciencia a los técnicos y mecánicos si abandonaban sus prácticas secretas y comenzaban a actuar como filósofos naturales. Los mecánicos y los artesanos, en cambio, a menudo consideraban que los intentos de los filósofos naturales por trazar una línea divisoria entre la ciencia y la tecnología eran esfuerzos ilegítimos para negarles los frutos de su trabajo. Según comentaristas como Joseph Robertson y Thomas Hodgkin, fundadores y editores de *Mechanics' Magazine* (fig. 17.4), el conocimiento íntimo de las máquinas y los procesos naturales procuraba a los artesanos percepciones excepcionales sobre el funcionamiento de la naturaleza. Los verdaderos científicos eran los técnicos, no los caballeros como Herschel. Según *Mechanics' Magazine*, la mayoría de las veces los filósofos

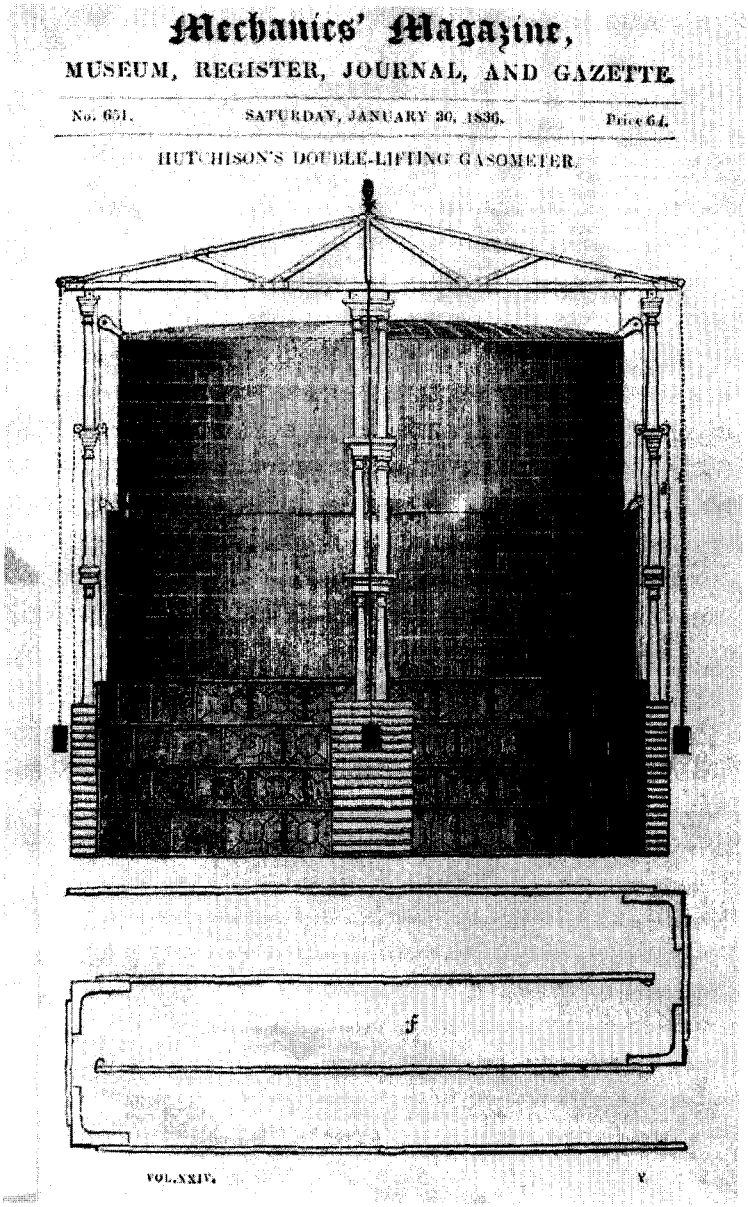


FIGURA 17.4. Primera página de un número de 1830 de *Mechanics' Magazine*. Publicaciones como ésta cumplieron una función importante en la difusión de información técnica entre un público amplio.

naturales hacían sus descubrimientos científicos simplemente robando el conocimiento artesano y reclamándolo como propio. Una de las razones por las que los editores de la revista apoyaban el movimiento de los institutos de mecánica era porque esperaban que eso ayudaría a los mecánicos a convertirse en hombres de ciencia de pleno derecho evitando así que otros se aprovecharan de sus conocimientos.

La revista se presentaba a sí misma como la defensora del artesano-inventor frente a los caballeros de la ciencia. En diversas ocasiones, los editores organizaron campañas públicas para proteger a individuos concretos cuyo derecho a que se les reconociera la autoría de un descubrimiento o un invento podía estar amenazado por filósofos naturalistas sin escrúpulos. Por ejemplo, cuando el fabricante de relojes escocés Alexander Bain aseguró que Charles Wheatstone le había robado sus ideas para fabricar un reloj eléctrico, *Mechanics' Magazine* salió en su defensa. Wheatstone fue presentado como un simple plagiario que había intentado aprovechar su prestigio como profesor de filosofía natural para negarle a un trabajador su legítimo derecho al invento. En el caso de una controversia similar que afectaba a la electrometalurgia, una parte sostenía que no había invento alguno: la electrometalurgia no era más que la simple aplicación de principios filosóficos naturales conocidos a un proceso industrial. En cambio, *Mechanics' Magazine* estaba dispuesta a comparar el «descubrimiento» con la ley de la gravedad de Newton. Naturalmente, no admitía las diferencias entre las prácticas de los científicos y los mecánicos sugeridas por John Herschel o Charles Babbage. Para la revista, todo estribaba en quién tenía el prestigio social que le permitiera reclamar esto o aquello.

Babbage y Herschel, a la inversa, estaban dispuestos a sostener que no sólo la ciencia era, en principio, diferente de las prácticas de trabajo de mecánicos y artesanos, sino que, si se trataba de conseguir progreso económico y tecnológico sostenido, también había que aplicar principios científicos a esas prácticas. Para asegurar el progreso, y que éste no fuera una mera casualidad, era esencial que el modo de trabajar de la gente estuviera sometido a una supervisión científica minuciosa y continua. Desde esta perspectiva, la relación entre ciencia y tecnología era más bien de tipo jerárquico, con el control claramente en manos de la ciencia y los científicos. Como los científicos de

todo el siglo XIX y ya entrado el XX abogaban por el respaldo del Estado a la ciencia y la educación, la forma que solía adoptar su argumentación era la siguiente: la ciencia es la única fuente segura de progreso tecnológico, y preservar ese progreso requiere el mantenimiento de una jerarquía estricta entre la ciencia y la tecnología. Había en juego un espíritu similar en las nuevas filosofías empresariales, como el taylorismo y el fordismo, aparecidas a principios del siglo XX. Para que el trabajo fuera más productivo era cuestión de aplicar principios científicos estrictos. Ello significaba sustituir los criterios y expectativas de los trabajadores respecto a cómo llevar a cabo tareas particulares por los de gerentes con formación científica, igual que cuando Herschel había insistido en que había que reemplazar las prácticas secretas de los artesanos por la transparencia.

A partir de esos ejemplos, debería quedar claro que, desde siempre, a la hora de decidir la relación entre ciencia y tecnología ha entrado en juego algo más que sutilezas filosóficas o epistemológicas. Tradicionalmente, en las sociedades occidentales, a los que trabajan con la cabeza —en este contexto, los científicos— se les ha considerado culturalmente superiores a los que trabajan con las manos. Como hemos visto, a menudo se entiende que el trabajo intelectual es epistemológicamente más importante que el trabajo manual: en otras palabras, se da por supuesto que el primero tiene más categoría, por decirlo así, que el segundo. Eso es lo que Herschel o Babbage tendrían en mente al definir la relación práctica en términos jerárquicos tal como hicieron. Es también así como Boyle habría justificado su postura respecto a sus técnicos experimentales. Por lo tanto, esa jerarquía filosófica conllevaba ciertas repercusiones culturales y políticas. Está claro que para Boyle, por ejemplo, el tipo de trabajo que hacía (o no hacía) uno tenía consecuencias importantes para el estatus social. Sucede lo mismo con el caso del siglo XIX: la explicación de que los editores de *Mechanics' Magazine* y otros defendieran tan enérgicamente que, en última instancia, la ciencia y la tecnología eran actividades intercambiables era que querían reorganizar la distinción jerárquica tradicional. En otras palabras, definir la frontera entre ciencia y tecnología consistía (y consiste), en el fondo, en definir también la posición social de los profesionales.

Conclusiones

En la actualidad, los debates sobre la naturaleza de la ciencia y la tecnología y la adecuada relación entre ambas siguen siendo enconados. Una de las cosas que nos revela el examen de la historia es que ese tipo de discusiones no tienen respuestas correctas o incorrectas. En diferentes épocas, distintas personas han observado las conexiones entre ciencia y tecnología de muchísimas maneras. En el siglo XVII, Francis Bacon y otros partidarios de la Nueva Ciencia sostenían que, si estaba organizada debidamente, la filosofía natural podría ser una fuente de inventos y descubrimientos útiles. Con afirmaciones así trataban de diferenciar su ciencia de la de los escolásticos académicos. Como hombres del mundo, querían que su ciencia fuera importante en el mundo. En el siglo XIX, los defensores británicos de la financiación estatal de la ciencia decían que ésta era fundamental para el progreso industrial. Según dicha idea, entre la ciencia y la tecnología había una simple relación jerárquica. Los científicos hacían descubrimientos, que podían ser explotados para obtener un beneficio económico. De acuerdo con Charles Babbage, sólo la gestión científica del proceso de invención garantizaba el progreso. Los contrarios a la financiación estatal de la ciencia, como William Whewell, negaban que hubiera vínculo alguno entre ciencia y tecnología. Ninguna de las dos hacía falta para el progreso ininterrumpido de la otra. A medida que, durante el siglo XX, la ciencia se convertía en una profesión tanto académica como industrial, muchos científicos universitarios fueron considerando las actividades de sus homólogos de la industria como algo menos que ciencia «pura».

También hemos visto que, en el pasado, las opiniones de los historiadores sobre la naturaleza de la relación entre ciencia y tecnología a menudo se han inspirado en sus percepciones sobre asuntos contemporáneos. Esos historiadores de la ciencia, como George Sarton, Alexandre Koyré o Herbert Butterfield, rechazaban impacientes las conexiones entre la ciencia y la tecnología porque querían defender una determinada imagen de la ciencia moderna. Al igual que al menos algunos de sus colegas científicos académicos, para ellos la ciencia era

un logro estrictamente intelectual, algo que en realidad incumbía a los humanistas, no a los técnicos ni a los burócratas. También querían proteger la ciencia del determinismo económico de historiadores marxistas como Boris Hessen. Hessen y J. D. Bernal, que mantenían que la tecnología y la ciencia estaban estrechamente relacionadas porque, como marxistas, pretendían poner de manifiesto que la ciencia era fruto de determinadas circunstancias económicas ligadas al desarrollo del capitalismo moderno. Esa visión de la ciencia como producto de condiciones históricas concretas más que del genio individual mereció la reprobación de muchos historiadores intelectuales para quienes (como para Whewell) la ciencia progresaba con arreglo a su propia lógica interna y no como respuesta a avances culturales específicos. Defenderla de acusaciones de contaminación cultural (como ellos lo veían) también significaba separarla de la tecnología. En el contexto contemporáneo, con científicos, ingenieros y políticos poniendo cada vez más en entredicho la frontera entre ciencia y tecnología, los historiadores también están desarrollando un renovado interés por la relación histórica entre la ciencia y la tecnología.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Alder, Ken, *Engineering the Revolution: Arms and Enlightenment in France, 1763-1815*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1997.

Ashworth, Will, «Memory, Efficiency and Symbolic Analysis: Charles Babbage, John Herschel and the Industrial Mind», *Isis*, n.º 87 (1996), pp. 629-653.

Bernal, J. D., *Science in History*, Watts & Co, Londres, 1954.

Butterfield, Herbert, *The Origins of Modern Science, 1300-1800*, Bell, Londres, 1949.

Cardwell, Donald, *The Organisation of Science in England*, Heinemann, Londres, 1957.

—, *From Watt to Clausius: The Rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1971.

Headrick, Daniel, *The Tentacles of Progress: Technology Transfer in the Age of Imperialism, 1850-1940*, Oxford University Press, Oxford,1988.

Hessen, Boris, «The Social and Economic Roots of Newton's "Principia", en

Science at the Cross Roads, N. I. Bukharin, ed., Frank Cass, Londres, 1931, 1971.

Hughes, Thomas P., *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880-1930*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1983.

Hunt, Bruce, *The Maxwellians*, Cornell University Press, Ithaca, Nueva York, 1991.

Koyré, Alexandre, *Metaphysics and Measurement*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1968.

Latour, Bruno, *Science and Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*, Open University Press, Milton Keynes, 1987.

Marvin, Carolyn, *When Old Technologies Were New: Thinking about Electric Communication in the Late Nineteenth Century*, Oxford University Press, Oxford, 1988.

Merton, Robert K., *Science, Technology and Society in Seventeenth-Century England*, St. Catherine's Press, Brujas, 1938.

Millard, Andre, *Edison and the Business of Innovation*, Johns Hopkins University Press, Baltimore, 1990.

Morus, Iwan Rhys, *Frankenstein's Children: Electricity, Exhibition and Experiment in Early Nineteenth-Century London*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1998.

Sarton, George, *The History of Science and the New Humanism*, Holt & Co, Nueva York, 1931.

Schaffer, Simon, «Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System», *Critical Inquiry*, n.º 21 (1994), pp. 203-227.

Shapin, Steven, *a Social History of Truth: Civility and Science in Seventeenth-Century England*, University of Chicago Press, Chicago, 1994.

Smith, Crosbie, *The Science of Energy*, University of Chicago Press, Chicago, 1999.

Stewart, Larry, *The Rise of Public Science: Rhetoric, Technology and Natural Philosophy in Newtonian Britain, 1660-1750*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Webster, Charles, *The Great Instauration: Science, Medicine and Reform, 1626-1660*, Duckworth, Londres, 1975.

Zilsel, Edgar, «The Sociological Roots of Science», *American Journal of Sociology*, n.º 47 (1942), pp. 245-279.

18

Biología e ideología

En el mundo actual, sabemos que es posible aplicar el conocimiento biológico a los seres humanos, si bien todos los intentos de explicar la naturaleza partiendo de fundamentos biológicos han estado marcados por la polémica. La sugerencia de que nuestra conducta está determinada por procesos biológicos se ha considerado un ataque a la responsabilidad moral y la dignidad humanas. Si la mente es sólo un reflejo de ciertos cambios físicos en el cerebro, entonces quizá debamos recurrir al neurofisiólogo, no al filósofo, en busca de consejo sobre asuntos morales y políticos. Y si el cerebro resulta de la evolución natural, acaso un estudio del proceso evolutivo explicaría por qué estamos programados para comportarnos como lo hacemos o ilustraría el mejor modo de lograr progreso social. Estas cuestiones plantean necesariamente problemas no sólo morales y teológicos sino también políticos e ideológicos. El científico o el filósofo tal vez mantengan que el cerebro es el órgano de la mente, pero es el ideólogo el que utiliza esta afirmación para justificar acciones sociales como la de limitar la reproducción de personas con presuntos instintos peligrosos o discapacidades mentales. Los liberales han llegado a considerar políticamente sospechoso casi cualquier intento de aplicar la biología a la naturaleza humana, y a menudo se valen de la historia para poner de relieve los peligros que advierten. Al avisar del legado del «darwinismo social» o de los primeros esfuerzos para proporcionar cobertura científica al racismo, pretenden tildar el determinismo biológico mo-

derno de producto de una agenda política conservadora. Así pues, la historia deviene en un campo de batalla para las ideologías enfrentadas, y los historiadores de la ciencia han de trabajar en un campo minado para defender las posturas modernas.

Los historiadores han centrado mucho la atención en áreas clave en las que se ha aplicado la biología a cuestiones sociales y son muy conscientes del carácter potencialmente controvertido de lo que hacen (para diversos estudios, véase Bowler [1993]; Smith [1997]). Hay muchísima literatura sobre los intentos para demostrar que la naturaleza humana está dictada por la estructura del cerebro, por limitaciones heredadas de la inteligencia o pautas de conducta, o por el carácter del proceso evolutivo. Algunas de las aportaciones más antiguas quizá todavía traten de presentar una imagen convencional de la ciencia como fuente de conocimiento objetivo, libre de valoraciones subjetivas, y admitan sólo que las ideas y percepciones así generadas pueden ser tergiversadas por los que pretenden aplicarlas al mundo real. Según un modelo así, la teoría darwiniana es producto de la buena ciencia, pero el darwinismo social es una aplicación distorsionada de conceptos derivados de la misma a cuestiones sociales. Recientemente, sin embargo, los historiadores han comenzado a interpretar los propios debates científicos en términos ideológicos. El viejo supuesto de que la ciencia ofrece conocimiento científico se ha venido abajo en muchos ámbitos, pero en ninguno de forma tan clara como en el darwinismo social, donde las consecuencias humanas del conocimiento científico son muy inmediatas. Cada vez estamos más seguros de que lo que en épocas pasadas se admitía como conocimiento científico estaba influido (aunque no forzosamente determinado) por los valores sociales del momento. Como dijo un influyente portavoz de ese movimiento, «el darwinismo *es* social» (Young, 1985*a*). El problema no es la aplicación del darwinismo a la sociedad, sino la incorporación de imágenes sociales a la misma estructura de la ciencia. Un pionero de la «escuela de Edimburgo» —los defensores más activos de la idea de que el conocimiento científico se construye socialmente (Shapin, 1979)— estudió el auge y la caída de la frenología, una teoría temprana sobre la localización cerebral. Los científicos rechazan con frecuencia la citada idea calificándola de desafío a su objetividad, pero si la historia

pone de manifiesto que los primeros esfuerzos por aplicar la biología al estudio de la naturaleza humana estaban influidos por valores sociales, los que se enzarzan en las discusiones actuales deberían aprender la lección.

En este capítulo nos centraremos en cuestiones que han despertado especialmente el interés de los historiadores, empezando por la localización cerebral de las funciones mentales. También examinaremos la compleja esfera del darwinismo social, y destacaremos la importancia de las ideas que no aceptan la selección de la evolución a la hora de favorecer los valores sociales a menudo calificados de «darwinianos». Por último, abordaremos diversas teorías que defienden la existencia de diferencias entre las razas y otras aplicaciones del determinismo genético vagamente agrupadas bajo el término «eugenesia» (acuñado por Francis Galton para un programa de cría selectiva de la especie humana). En cualquier caso, esos ámbitos no son tan diferentes como a veces parece. Todo depende de la suposición de que el cerebro controla la conducta, aunque esto a menudo se olvida cuando se centra la atención en los orígenes evolutivos de patrones de conducta concretos. Las presuntas diferencias mentales entre razas son una manifestación de la afirmación más general de que el carácter humano está regulado por la herencia y no puede ser modificado por el aprendizaje. El propio determinismo con frecuencia se basa en suposiciones sobre el papel desempeñado por la evolución en la especificación de los rasgos transmitidos por la herencia. El debate sobre las capacidades relativas de la «naturaleza» y la «cultura» para determinar la conducta plantea un amplio abanico de cuestiones sobre la relación entre las ciencias biológicas y las sociales. Así pues, teorías modernas como la sociobiología pueden combinar influencias de orígenes distintos en el desarrollo de la biología. Quizá valga la pena señalar que los historiadores de la ciencia han dejado la paleoantropología —la ciencia de los orígenes humanos— en buena parte intacta (una excepción es Bowler [1986]), si bien los propios paleoantropólogos son conscientes de la historia de su disciplina y del grado en que ésta revela una tendencia a que el pensamiento científico resulte influido por los valores sociales imperantes (por ejemplo, Lewin, 1987).

Mente y cerebro

Los materialistas de la Ilustración del siglo XVIII pusieron en tela de juicio la idea ortodoxa del alma al declarar que la mente humana era un subproducto del funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso. Si para Descartes los animales no eran más que máquinas complejas, ¿por qué los seres humanos iban a ser distintos? Materialistas como J. O. de la Mettrie y Denis Diderot sostenían que ciertos cambios cerebrales, por ejemplo durante una enfermedad, ocasionaban los cambios correspondientes en la mente. Una persona con ictericia lo ve realmente todo de color amarillo. Pero pese a utilizar datos médicos y de otras clases, los materialistas no hicieron intento alguno de crear una ciencia detallada del funcionamiento del cerebro. Su programa se desarrolló más en un plano filosófico, aunque tras su ataque a las creencias religiosas tradicionales también había una acusada vertiente social —la Iglesia se identificaba claramente con el régimen político de la Francia prerrevolucionaria.

A principios del siglo XIX, con la aparición de la frenología se produjo un ataque más centrado en la idea de que la mente existe en un nivel estrictamente espiritual (Cooter, 1984; Shapin, 1979; Young, 1970). Ese movimiento fue promovido por Franz Josef Gall y Johann Gaspar Spurzheim, pero despertó un interés especial en Gran Bretaña. Basándose en estudios de anatomía cerebral y conducta observada, Gall y Spurzheim presuponían una serie de funciones mentales diferenciadas, cada una localizada en un área cerebral concreta. De hecho, la conducta individual estaba determinada por la estructura del cerebro —supuestamente perceptible a partir de la forma externa del cráneo—. Así, se podía «leer de un tirón» el carácter de una persona mediante un estudio de su cabeza (fig. 18.1). La frenología llegó a ser popular en las décadas de 1820 y 1830, pese a las críticas procedentes de filósofos y anatomistas. En Gran Bretaña, el paladín de la frenología, George Combe, la vinculó a una política social reformista basada en la afirmación de que las personas podían controlar mejor su vida si conocían sus puntos mentales fuertes y débiles. *Constitution of Man* [La constitución del hombre]

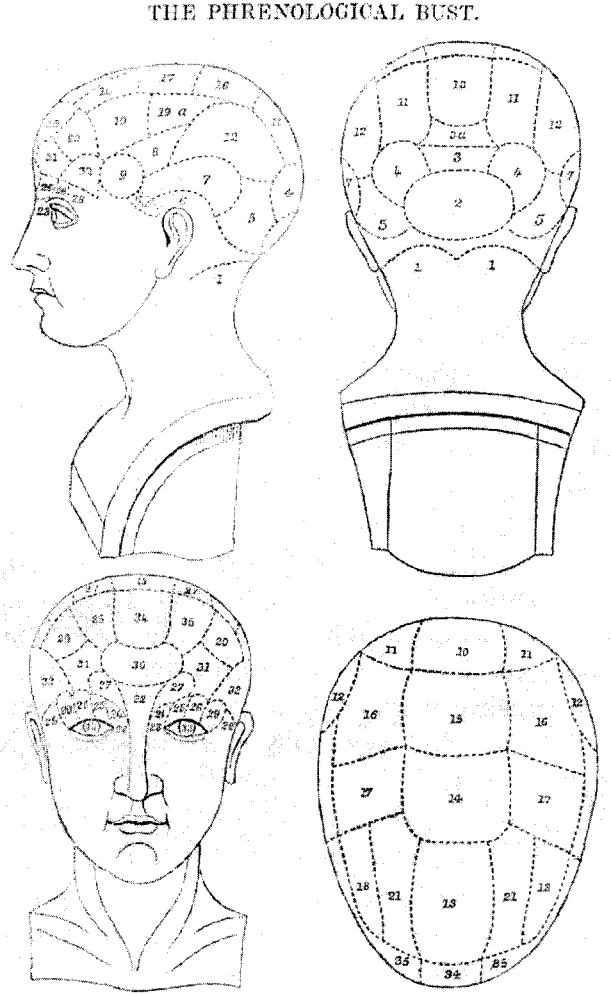


FIGURA 18.1. Cabeza frenológica, frontispicio de *Elements of Phrenology* (Edimburgo, 1841). La cabeza se divide en sectores, cada uno definido por una facultad mental concreta, al parecer controlada por el área cerebral que hay inmediatamente debajo de esa parte del cráneo. El frenólogo «leía» una personalidad palpando los contornos del cráneo para ver qué áreas tenían protuberancias reveladoras de que el cerebro subyacente estaba bien desarrollado. Críticos posteriores rechazaron la frenología calificándola de pseudociencia, pues en realidad el cráneo no refleja los contornos detallados del cerebro.

(1828) de Combe fue uno de los libros más vendidos a principios del siglo XIX.

La frenología es a menudo considerada una pseudociencia porque, como bien señalaban los anatomistas, la estructura del cerebro no se refleja en la forma del cráneo. En la actualidad, para los historiadores ese rechazo fácil parte de una percepción retrospectiva que pasa por alto el hecho de que, con el tiempo, las principales reivindicaciones de la frenología fueron refrendadas por la ciencia ortodoxa. A finales del siglo XIX, el estudio de las localizaciones cerebrales pudo demostrar que ciertas funciones mentales tienen lugar en determinadas regiones cerebrales porque si la zona se lesionaba, quedaba afectada la función correspondiente. En estas circunstancias, hemos de formularnos una pregunta más compleja: ¿quién decide qué se va a considerar conocimiento científico? Shapin (1979) y Cooter (1984) revelan que la frenología fue aceptada por los que sacaban provecho de la filosofía social reformista vinculada a la misma por Combe y otros. Se opusieron a ella los pensadores conservadores que preferían la tradicional idea de un alma humana diferenciada del cuerpo. La frenología influyó en muchos pensadores destacados, entre ellos algunos que contribuyeron a posteriores avances en anatomía cerebral. Su eliminación inicial de la ciencia académica nos revela más sobre los procesos sociales que determinan las actitudes de la comunidad científica que sobre la verificación objetiva de teorías.

A la larga, ciertos avances en neurofisiología confirmaron que algunas funciones mentales dependen del adecuado funcionamiento de una parte determinada del cerebro. En 1861, Paul Broca identificó un área que, si resultaba dañada por una apoplejía, provocaba que el individuo perdiera la capacidad de hablar. David Ferrier y otros siguieron trabajando en esa línea. Ferrier había estado influido del filósofo Herbert Spencer, cuya obra *Principles of Psychology* [Principios de psicología], de 1855, adoptaba una perspectiva evolutiva de las capacidades mentales, que utilizaba para sostener que la naturaleza humana se adapta a los cambios sociales. Según Spencer, la mente individual estaba predeterminada por las experiencias de los antepasados: los hábitos aprendidos se convertían en patrones de conducta instintiva transmitidos de forma hereditaria. La psicología de Spencer se apo-

yaba en la teoría lamarckiana de la herencia de rasgos adquiridos, pero su suposición de que los hábitos aprendidos podían transmitirse dependía de la creencia de que los hábitos están determinados por estructuras desarrolladas en el cerebro y transmitidas por herencia biológica. La psicología evolutiva de Spencer también estaba ligada a su darwinismo social (que veremos más adelante).

Posteriormente, sir Charles Sherrington incorporó los estudios de Ferrier a una descripción más exhaustiva de las acciones del sistema nervioso. No obstante, Sherrington evitó el análisis de los estados mentales, con lo que mantuvo la neurofisiología separada de la psicología, lo cual posiblemente retrasó el avance de la segunda en Gran Bretaña (Smith, 1992). Un impacto mucho mayor se debió a partidarios del naturalismo científico, como T. H. Huxley y John Tyndall, para quienes la actividad mental era simplemente una consecuencia de la actividad física del cerebro. Aunque aceptaban que el mundo mental no podía reducirse al mundo físico, insistían sin embargo en que la mente no ejercía una influencia controladora sobre el segundo. En un conocido discurso pronunciado en Belfast en 1874, Tyndall declaró que la ciencia pretendía explicarlo todo en términos naturalistas, mente incluida, marginando así a la religión. En el siglo XX, los avances en localización cerebral, que han confirmado la naturaleza real pero muy compleja de la relación entre mente y cerebro, han sido pasados por alto en buena parte por los historiadores, aunque actualmente son objeto de una gran atención pública.

La frenología también desempeñó un papel en los debates sobre la evolución. Naturalmente, los evolucionistas acogieron satisfechos la inferencia de que a medida que los animales adquirían un cerebro mayor, se incrementaba su capacidad mental. Esta conexión se explicitó en los anónimos *Vestiges of the Natural History of Creation* [Vestigios de la historia natural de la creación], publicados en 1844 por el popular escritor Robert Chambers (Secord, 2000). En la década de 1860, cuando Darwin difundió la teoría de la evolución, muchos daban por sabido que el tamaño del cerebro era aproximadamente proporcional al nivel de desarrollo mental del animal. Darwin podía explotar el hecho evidente de que el cerebro efectivamente se había agrandado a lo largo de la historia de la vida en la tierra, como se apre-

ciaba en los restos fósiles. De cualquier modo, el vínculo entre la evolución y la localización cerebral tenía repercusiones de gran alcance cuando se aplicaba a la evolución de la propia especie humana.

Antropología física y teoría de las razas

Ya en el siglo XVII, anatomistas como Petrus Camper habían comparado las estructuras del cuerpo de los seres humanos y de los simios y habían afirmado que las razas no blancas constituían una suerte de estadio intermedio entre unos y otros (Greene, 1959). Camper definió el «ángulo facial» entre la horizontal y la línea que unía la barbilla, la nariz y la frente. Los individuos con un ángulo facial menor tenían una frente más huidiza, signo clásico de inferior inteligencia según los prejuicios de la época. Los simios tenían un ángulo facial muy pequeño, si bien Camper y otros antropólogos físicos también representaban a las razas no blancas con un ángulo entre el de los simios y la raza blanca. A finales del siglo XVIII, antropólogos como J. F. Blumenback dividían la especie humana en razas distintas en función de rasgos físicos como la forma del cráneo (Blumenbach poseía una famosa colección de cráneos de todo el mundo). Con mucha frecuencia, esas descripciones se manipulaban para que pareciera que las razas de color eran inferiores a las blancas (fig. 18.2). La frenología sólo servía para remachar el clavo: si la mente es producto del cerebro, los individuos con el cerebro más grande han de ser más inteligentes. En esta tesitura, se estaba a un paso de afirmar que como unas razas tenían el cráneo mayor que otras, poseían también un nivel superior de inteligencia.

A principios del siglo XIX, los antropólogos físicos, resueltos a demostrar que las razas no blancas eran menos inteligentes que las blancas, empezaron a utilizar la craneometría (medida de la capacidad craneal) para avalar sus posturas (Gould, 1981; Stanton, 1960). Samuel George Morton usaba una técnica volumétrica en virtud de la cual medía la capacidad de los cráneos con alpiste o perdigones; aseguraba haber hallado pruebas de que los blancos tenían el cráneo más grande —Gould señala lo fácil que sería para una mentalidad inconsciente

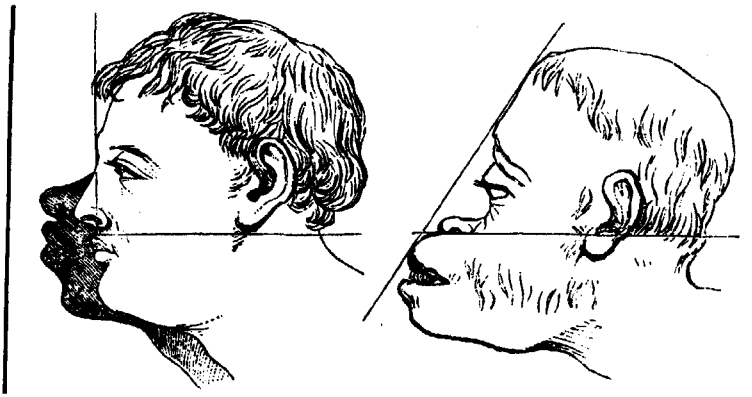


FIGURA 18.2. Ángulo facial de un negro, un europeo y un orangután, de *The Races of Men*, de Robert Knox (Londres, 1851). El ángulo facial se define por la línea que va desde la frente a la boca y la horizontal; un ángulo más agudo supone una frente achatada, lo que popularmente se asocia a un cerebro pequeño y, en consecuencia, a una inteligencia inferior. Knox desea a todas luces que sus lectores crean que el negro equidista, con respecto al tamaño cerebral, y por tanto al intelecto, del europeo y el simio.

obtener los resultados de esas mediciones tan rudimentarias—. También Broca aplicó la craneometría a la antropología fisica y acabó convencido de que la raza humana se dividía en varias especies distintas, cada una con diferentes niveles de capacidad mental. En París fundó una sociedad antropológica dedicada a promover esa idea de las diferencias raciales innatas. En Gran Bretaña, surgieron ideas parecidas a cargo de anatomistas como Robert Knox, que cayó en el descrédito por comprar cadáveres para su disección a los ladrones de tumbas —y asesinos— Burke y Hare. Knox se centró en lo que percibía como diferencias innatas mentales y físicas entre las razas. En su *Races of Man* [Razas del hombre], que se publicó por primera vez en 1850, Knox declaraba: «Mi raza, o mi linaje hereditario, lo es todo; deja su impronta en el hombre» (1862, 6). Fue especialmente mordaz en sus alusiones al carácter tanto de las razas negras como de los irlandeses. James Hunt, discípulo de Knox, pronto fundó en Londres una sociedad con los mismos objetivos que la del grupo de Broca en París. En

la época en que Darwin popularizó la teoría de la evolución, casi se daba por sentado que las razas «inferiores» eran vestigios de fases anteriores en el progreso de la humanidad, viéndose confirmado su carácter primitivo por el cerebro más pequeño y las capacidades intelectuales menos desarrolladas: en *El origen del hombre*, Darwin incluyó datos que supuestamente lo confirmaban. Esa antropología física siguió prosperando hasta bien entrado el siglo XX, a menudo ligada a la teoría de la evolución mediante el supuesto de que las razas inferiores eran reliquias de estadios tempranos de la evolución humana (véase más adelante y también Haller [1975]; Stepan [1982]). Desde entonces, estas ideas han sido en buena parte expulsadas de la ciencia, al menos en apariencia, aunque su legado sigue rondando los debates populares.

Un exponente destacado de las mediciones aplicadas a los cráneos humanos vivos fue Francis Galton, fundador del movimiento eugenésico (que veremos más adelante; véase fig. 18.3). Galton medía cráneos como parte de un esfuerzo por diferenciar tipos raciales, aunque también introdujo la medición sistemática de capacidades mentales examinando a numerosos individuos. A principios del siglo XX, las primeras aplicaciones de los cuestionarios de inteligencia, que también se hacían para confirmar las capacidades mentales inferiores de las razas no blancas, se basaban en técnicas similares de análisis masivos. Al utilizar preguntas que presuponían conocimientos de un estilo de vida de clase media, los test utilizados en América dificultaban a los negros o los inmigrantes que acababan de llegar demostrar toda su capacidad (Gould, 1981).

Progreso cultural y biológico

La teoría de la evolución tuvo una enorme influencia en la idea victoriana de la sociedad y la naturaleza humana. En *El origen de las especies*, Darwin evitó la discusión de los orígenes humanos porque se dio cuenta de lo polémico que sería el tema, pese a que T. H. Huxley pronto estableció la estrecha relación entre los seres humanos y los simios, especialmente en cuanto a la estructura cerebral. Pero estaban en jue-

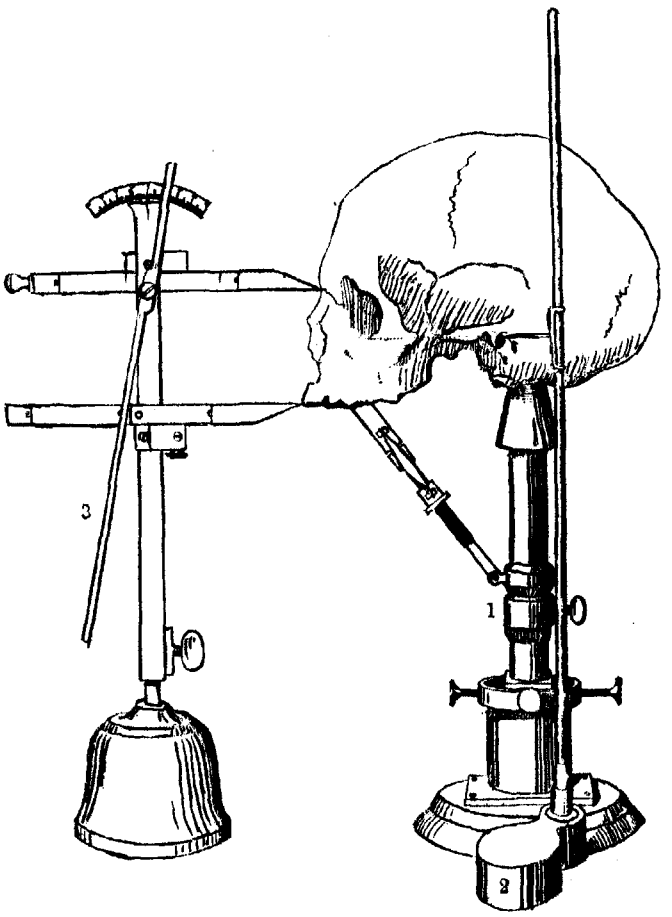


FIGURA 18.3. Material antropométrico para medir el cráneo, incluyendo el ángulo facial, en *Der Mensche* (Leipzig y Viena, 1894), n.º 1, p. 393, de Johannes Ranke.

go mucho más que las relaciones anatómicas. El incremento relativo del tamaño del cerebro humano, ¿explicaba la aparición de la mente humana, con las capacidades racionales y morales que en otro tiempo se creía que nos distinguían de las bestias? El filósofo Herbert Spencer había elaborado una perspectiva evolutiva de la mente, antes incluso de que Darwin publicara. Arqueólogos y antropólogos estaban

asimismo desarrollando la idea de que la cultura y la sociedad habían progresado desde orígenes primitivos. Cuando publicó *El origen del hombre*, en 1871, Darwin pudo recurrir a diversos estudios que habían comenzado a explorar las repercusiones del evolucionismo en la aparición de la mente humana y el desarrollo de la sociedad. A finales del siglo XIX, se manifestó un enorme interés por los modelos evolutivos en las ciencias humanas. Algunos de esos modelos subrayaban el papel de la lucha por la existencia como motor del progreso, y han sido calificados comúnmente como «darwinismo social». Pero otros contenían elementos que no derivaban directamente del darwinismo; además, primero debemos examinar la influencia mucho más generalizada de la perspectiva progresiva de la evolución.

Casi todos los modelos de evolución mental y social presumían que el desarrollo consistía en la ascensión por una escala de madurez creciente. Un modelo así fue propuesto de manera independiente por distintos antropólogos del siglo XIX que intentaban comprender la diversidad de culturas y sociedades que veían en diferentes partes del mundo (Bowler, 1989). Aunque en otro tiempo las historias de la antropología daban por sentado que esa óptica evolutiva estaba estimulada por la revolución darwiniana, varios estudios modernos tienden a considerar los dos hechos como manifestaciones paralelas de los mismos valores culturales. Antropólogos evolutivos como Edward B. Tylor en Gran Bretaña o Lewis H. Morgan en América suponían que los «salvajes» modernos eran vestigios de la fase de desarrollo cultural que habían vivido los antepasados de la raza blanca en la época prehistórica. Su inspiración se basaba en los nuevos descubrimientos arqueológicos que, desde la década de 1860, confirmaron la enorme antigüedad de la raza humana y alumbraron la idea de una «Edad de Piedra» primitiva. El geólogo Charles Lyell resumió esas pruebas en *Antiquity of Man* [La antigüedad del hombre] (1863). Los antropólogos asignaban a todas la culturas vivas una posición en una escala de desarrollo, que empezaba con los salvajes de la Edad de Piedra y culminaba en la civilización industrial moderna. Las diferencias culturales se explicaban no mediante evolución divergente sino como disparidades en el nivel de desarrollo a lo largo de una única escala. Al principio, los antropólogos se oponían a la idea de que los pueblos

culturalmente más «primitivos» eran mentalmente inferiores a la raza blanca, pero la aparición del darwinismo les impidió cada vez más separar el desarrollo mental del cultural (véase cap. 13).

Antes incluso de que Darwin publicara nada, la filosofía de Herbert Spencer sobre la evolución conectó firmemente el desarrollo mental con el cultural y el social (Richards, 1987). La psicología de Spencer hacía hincapié en que no había ninguna «naturaleza humana» universal: la mente humana estaba determinada por el entorno social, y cuanto más estimulante fuera el entorno, mayor sería el nivel de desarrollo mental individual. A la inversa, cuanto mayor fuera el nivel de inteligencia individual, más rápido progresaría la sociedad, lo que crearía un circuito de retroalimentación entre la evolución mental y la social. Según ese modelo, era inevitable que las razas que mantenían un nivel primitivo de tecnología (que supuestamente caracterizaba un nivel primitivo de estructura social) se hubieran quedado también atascadas en un estadio inferior de la evolución mental. Los salvajes eran reliquias tanto biológicas como culturales del pasado, que conservaban una mentalidad apenas por encima de la de los simios.

Darwin adoptó la perspectiva materialista de la mente desde el principio de sus investigaciones sobre la evolución. Estaba especialmente interesado en el origen de los instintos, que según él eran patrones de conducta que en el proceso evolutivo habían quedado grabados en el cerebro. Spencer asumió la idea lamarckiana de que los hábitos aprendidos podían transformarse en instintos hereditarios gracias a la herencia de rasgos adquiridos. Pero Darwin reparó en que la selección natural podía también modificar instintos siempre y cuando hubiera alguna variación en los patrones de conducta. En *El origen del hombre* explicaba la procedencia de los instintos sociales por medio tanto del lamarckismo como del proceso de selección de grupos (competencia en que sobreviven los grupos con los instintos sociales más marcados). Para Darwin, los esfuerzos humanos por racionalizar los instintos reguladores de nuestras interacciones sociales constituían la base de todos los sistemas éticos.

Darwin admitía que, a largo plazo, la evolución había incrementado continuamente el nivel de inteligencia animal, aunque sabía que

muchas ramificaciones del árbol de la vida no progresaban hacia estadios superiores de desarrollo. Sugería que los seres humanos habían alcanzado un grado de inteligencia muy superior al de los simios porque nuestros antepasados, al trasladarse de los bosques a las llanuras de África, se pusieron de pie y, en consecuencia, comenzaron a utilizar las manos para fabricar herramientas rudimentarias. De cualquier modo, la mayoría de los evolucionistas mostraron poco interés en la posibilidad de que pudiera haber habido un momento crucial que separara los caminos de la evolución de los seres humanos y la de los simios. Esbozaron una escala detallada, aunque totalmente hipotética, del desarrollo mental que recorre el reino animal hasta la humanidad, y luego dieron por sentado que, casi inevitablemente, la evolución habría ascendido continuamente por dicha escala (Richards, 1987). Podemos hallar este enfoque en el trabajo de George John Romanes, que llegó a ser el discípulo más destacado de Darwin en el ámbito de la evolución mental. En América, fueron James Mark Baldwin y G. Stanley Hall quienes propusieron modelos evolutivos de la mente.

A finales del siglo XIX, un elemento importante de las teorías del desarrollo fue el concepto de la recapitulación: la creencia de que la historia evolutiva de las especies está resumida en el desarrollo del organismo individual (Gould, 1977). En biología, esto fue defendido por el darwinista alemán Ernst Haeckel y por neolamarckianos americanos como Edward Drinker Cope. La teoría de la recapitulación ofrecía un modelo de evolución en que parecía ineludible el progreso hacia el objetivo de incrementar la madurez: la evolución ascendía sin más por la escala, igual que el embrión. Los psicólogos evolucionistas estaban convencidos de que el desarrollo de la mente humana individual atravesaba las fases de la evolución mental que habían marcado la evolución del reino animal. Romanes identificaba explícitamente la capacidad mental del niño a ciertas edades con diversos niveles de mentalidad animal. Ese modelo alentó la creencia de que las razas salvajes, supuestas reliquias de las fases más tempranas en el avance desde los simios, tenían una mente equivalente a la de los niños blancos y algo superior a la de los simios. En Italia, Cesare Lombroso propuso un sistema de «antropología criminal» según el cual los delincuentes poseían una mente semejante a la de los salvajes —también ellos po-

dían ser rechazados como vestigios de etapas pasadas de la evolución humana.

Gracias a la teoría de la recapitulación, el evolucionismo tuvo un impacto en lo que pronto llegó a ser la perspectiva más controvertida sobre la mente humana: la psicología analítica de Sigmund Freud (Sulloway, 1979). Tras emprender el estudio del sistema nervioso, Freud abandonó ese enfoque de las funciones mentales y empezó a considerar las enfermedades de la mente como derivadas de tensiones estrictamente psicológicas. Visualizó un nivel mental inconsciente que era una huella de los estadios animales de la evolución y estaba accionado principalmente por impulsos sexuales. Sin embargo, donde los primeros evolucionistas habían visto que las posteriores y, por tanto, más evolucionadas funciones mentales tenían el control de toda la personalidad, Freud veía la mente consciente luchando por hacer frente a los impulsos socialmente inaceptables que surgían del subconsciente. Aquí el progresismo optimista del siglo XIX cedió el paso a una visión más severa de la personalidad humana que obsesionó a los pensadores del siglo XX. Freud insistía en que había rechazado el papel de la biología pese a que su teoría se basaba en la idea de que la mente constaba de distintas capas evolutivas. Su afán por distanciarse de sus raíces darwinianas era análogo a una tendencia más general de las ciencias humanas de principios del siglo XX, según la cual la psicología experimental, la sociología y la antropología cultural pretendían proclamar su independencia al mantener que la biología no predeterminaba la conducta humana (véase cap. 13; Craves, 1978).

Darwinismo social

¿Cuál fue la fuerza motriz de la evolución mental y social? En la teoría de Darwin de la selección natural, el cambio resulta de la eliminación de los no aptos en una lucha por la existencia, con lo que sobreviven y se reproducen los individuos mejor adaptados. Lógicamente, había muchos «darwinistas sociales» para quienes esa lucha era el motor del progreso. Pero suponer que la teoría de Darwin se trasladaba de la biología a la sociedad es —para algunos historiadores—

empezar la casa por el tejado. Sabemos que el mismo Darwin estaba directamente influido por el principio de la expansión de la población de Thomas Malthus, producto clásico del pensamiento económico de la libre empresa (véase cap. 6, «La revolución darwiniana»). Esto ha llevado a historiadores como Robert M. Young (1985*a*, 1985*b*) a afirmar que en el núcleo del evolucionismo científico había incorporados ciertos valores ideológicos. Las ideas de Darwin sin duda reflejaban la filosofía social individualista de la época, aunque él fue mucho más allá que Malthus en su disposición a considerar la lucha como una fuerza creativa. Pero si la propia teoría científica refleja valores sociales, no es de extrañar que entonces se utilizara para legitimar la ideología en la que se basaba al sostener que la sociedad debía fundamentarse en el principio «natural» de la competencia.

A finales del siglo XIX, se escribió mucho sobre la moda del «darwinismo social», con Spencer como defensor destacado de la idea de que el sistema de la libre empresa generaba progreso gracias a la lucha. Los capitalistas prósperos desde luego justificaban el sistema recurriendo a la metáfora de la supervivencia de los más aptos. La opinión tradicional —respaldada por el estudio clásico de Hofstadter (1995) y más recientemente por Hawkins (1997)— es que esa afirmación se inspiraba en el darwinismo. Sin embargo, algunos historiadores han pedido cautela y señalado que el término «darwinismo social» fue introducido por escritores que precisamente se oponían a que la lucha debiera desempeñar un papel importante en los asuntos humanos. También está claro que podrían justificarse muchas políticas sociales diferentes en virtud de principios supuestamente darwinianos (Bannister, 1979; Jones, 1980). El extendido uso del término «darwinismo social» por los críticos del movimiento ha puesto de relieve la implicación de la teoría de Darwin; y además no hay ninguna duda de que la teoría de la selección formó parte de esa ideología. Pero la selección natural no era ni mucho menos el único mecanismo biológico explotado de esa forma. Otras teorías, en especial el lamarckismo, se contagiaron del entusiasmo por el progreso mediante la lucha. «Darwinismo social» acaso sea una denominación oportuna para el conjunto del movimiento, pero puede inducir a error si se cree que da a entender que lo destacado por los biólogos modernos como idea más

importante de Darwin fue la principal inspiración del pensamiento social del siglo XIX.

La forma más discutida de darwinismo social es la aplicación de la teoría para justificar el sistema de la libre empresa, esencial al capitalismo del siglo XIX. El paralelismo parece evidente: si la evolución natural (supuestamente progresiva) funciona gracias a la selección de los individuos más aptos en su lucha por la supervivencia, el progreso social estará asegurado si se permite que una lucha semejante seleccione los mejores individuos de cada generación. Se considera que el artífice de esa forma de darwinismo social fue Herbert Spencer, cuya filosofía evolutiva alcanzó gran popularidad en Gran Bretaña y especialmente en América. Muchos de los capitalistas americanos más prósperos, y más despiadados, se consideraban seguidores suyos.

Por supuesto, Spencer defendía un individualismo sin trabas, pues —en la medida en que fue él, no Darwin, quien acuñó el término «supervivencia de los más aptos» para describir la selección natural— el vínculo con el darwinismo biológico parecía obvio. Sin embargo, un análisis que presupone que la teoría de la selección natural de Darwin (a través de Spencer) sirve para fomentar el capitalismo encierra varios problemas. Para empezar, hemos visto que la selección natural no era muy popular entre los biólogos de finales del siglo XIX, así que, ¿por qué considerarla un respaldo científico a una política social? Aunque desde luego sostenía que la selección natural desempeñaba un papel, el propio Spencer era un lamarckiano convencido que defendía esa teoría enérgicamente cuando recibía ataques de los críticos científicos. También esa teoría presenta paralelismos en su evolucionismo social: para Spencer, la función de la competencia no consiste sólo en eliminar a los no aptos sino también en obligar a todos a serlo más. Cuando se ven estimulados por el desafío de la competencia, muchos individuos aprenden a mejorar (aunque unos cuantos desafortunados acaso sean incapaces de sacar provecho alguno y paguen las consecuencias). Y si la teoría lamarckiana de la herencia de rasgos adquiridos es válida, esas autosuperaciones pasarán a la generación siguiente para beneficiar al conjunto de la raza. Algunos partidarios de la libre empresa, entonces y ahora, afirman que debe morir gente para que haya progreso social —el argumento siempre ha sido que los sub-

sidios del Estado vuelven a las personas perezosas y no dispuestas a aprender habilidades nuevas para sustituir las obsoletas—. Así pues, buena parte de lo que se ha descrito como darwinismo social quizá en realidad sea una forma de lamarckismo social. Acaso sería más adecuado considerar que el darwinismo y el lamarckismo spenceriano son reflejos paralelos de la ideología capitalista en la ciencia. Aun así, tal vez fue el componente lamarckiano el que alcanzó más popularidad, al menos en las décadas de 1860 y 1870, cuando Spencer logró su máxima influencia.

En parte como consecuencia de la insistencia exagerada en el componente darwiniano del pensamiento de Spencer, el lamarckismo ha adquirido fama como teoría que podría ser utilizada más fácilmente por los contrarios a las políticas sociales inflexibles. Ciertos lamarckianos, como el americano Lester Frank Ward, creían que su teoría ofrecía una ruta humana al progreso social: si se enseñaba a los niños una conducta social adecuada, a la larga los hábitos resultantes se convertirían en instintos heredados. Por tanto, la propia especie humana acabaría más socializada. Eso naturalmente era una vía posible para explotar la teoría, pero no deberíamos pasar por alto el factor lamarckiano en el apoyo de Spencer a la libre empresa. Para Spencer, la «escuela de la vida» siempre sería más eficaz que cualquier cosa procurada por el Estado, pues sus lecciones estaban respaldadas por el sufrimiento experimentado como castigo por el fracaso. También deberíamos señalar que el lamarckismo desempeñó un papel importante en el fomento de la teoría de la recapitulación, con su clara insistencia en la inferioridad de las mentalidades «primitivas». La jerarquía social presumida por tantos pensadores del siglo XIX se basaba en una perspectiva progresiva de la evolución que —como sucedía con el spencerianismo— debía al lamarkismo al menos tanto como al darwinismo. No es que Darwin se librara de la fascinación por la idea de progreso típica de su época. Pero sabía que, en la mayoría de los casos, la «aptitud» debe definirse sólo en función de la adaptación al entorno local. Esto no supone la existencia de una escala absoluta de perfección física, mental o cultural.

El recordatorio de que el evolucionismo también se aplicaba a la cuestión de las razas apunta a otra complejidad en el carácter del dar-

winismo social: la posibilidad de aplicar el concepto de lucha a otros niveles aparte del de la competencia individual en el seno de la misma población. En la medida en que los pensadores de finales del siglo XIX aceptaban un papel para la selección natural, éste era en buena parte negativo. No creían que la selección pudiera crear nuevas formas de vida —esto estaba reservado al lamarckismo y otros mecanismos más positivos—, aunque quizá fuera capaz de eliminar los productos menos satisfactorios del impulso hacia el progreso. Si la evolución generó varias formas diferentes de humanidad (los tipos raciales supuestamente distintos), éstas acaso se enzarzaran en una competencia entre sí para decidir cuál era la más avanzada. Y el castigo para los perdedores habría sido la extinción. Eran pocos los científicos europeos y americanos que dudaban de la superioridad de la raza blanca. Se consideraba que las razas «inferiores» eran fósiles vivos, vestigios de etapas tempranas en la ascensión de la humanidad preservados en ciertas partes del mundo que hasta la fecha habían quedado a salvo de la invasión del tipo superior. Ahora que los blancos victoriosos estaban colonizando la totalidad del globo, las formas de humanidad inferiores debían ser apartadas a un lado en una lucha racial por la existencia. A medida que el siglo XIX avanzaba hacia la época del imperialismo, se podía recurrir a la teoría darwiniana para justificar la conquista, incluso el exterminio, de las poblaciones nativas de los territorios codiciados por los blancos en todo el mundo. El darwinista e imperialista Karl Pearson escribió que nadie debería lamentar «que una raza capaz y decidida de hombres blancos reemplace a una tribu de piel oscura que ni utiliza su tierra con pleno provecho para la humanidad, ni aporta su cuota al acervo común de conocimientos humanos» (Pearson, 1900, p. 369). Los negros mejor adaptados sólo sobrevivirían en los trópicos, donde serían gobernados por sus superiores en el nuevo orden mundial. A principios del siglo XX, la disminución y potencial eliminación de los nativos de América y Australia se comparó con la aniquilación del hombre de Neandhertal por parte de los antepasados de la Edad de Piedra de los seres humanos modernos —una consecuencia desgraciada pero necesaria de la evolución progresiva (Bowler, 1986).

Incluso las rivalidades entre las potencias europeas podrían interpretarse como una lucha por la existencia en la carrera por el dominio

del mundo. Ya en 1872, el escritor británico Walter Bagehot aplicó la lógica de la selección natural a las rivalidades nacionales en su *Physics and Politics* [Física y política]. El mensaje era que cualquier cosa que reforzara la autoridad del Estado era importante para procurar la cohesión nacional que resistiría a las amenazas extranjeras. Como a finales del siglo aumentaron las hostilidades internacionales, llegó a ser normal hablar de una guerra que determinaría quién debía dominar Europa (Crook, 1994). Algunos escritores militares de Alemania insistían en que una guerra que pusiera de manifiesto la superioridad de la cultura alemana estaba justificada —y seguramente era necesaria—. El resultado inevitable de esas rivalidades fue la primera guerra mundial. Cuando el biólogo americano Vernon Kellogg recorrió las líneas alemanas en Bélgica, observó que en el cuerpo de oficiales predominaba esa ideología del darwinismo social nacionalista. Ahí desempeñó un papel importante la filosofía evolutiva de Ernst Haeckel, de quien se ha dicho también que influyó en el desarrollo de la ideología nazi en la generación siguiente (Gasman, 1971). Es una afirmación discutible, en parte porque Haeckel estaba articulando prejuicios muy extendidos en la época, compartidos por muchos que no eran darwinianos. Desde luego respaldó la jerarquía racial y previó una lucha entre las razas, pero, igual que en el caso de Spencer, su evolucionismo era tan lamarckiano como darwiniano.

La ideología de la competencia nacional era diametralmente opuesta al spencerianismo, que ha sido ampliamente representado como la forma más esencial de darwinismo social. Spencer detestaba el militarismo y el nacionalismo, pues los tenía por reliquias de la era feudal de la evolución social que favorecían una ideología del control del Estado frente a las amenazas externas, lo contrario a su insistencia en la libre competencia entre los individuos en una sociedad con un gobierno mínimo. El hecho de que ideologías mutuamente hostiles pudieran justificarse recurriendo a distintos aspectos de la teoría darwiniana pone de manifiesto que el darwinismo social no era, desde luego, un movimiento unificado, e impide ver la teoría de la selección natural como un participante activo en el desarrollo de la sociedad o del pensamiento político. Tanto la idea general de la evolución como las teorías específicas —darwiniana y lamarckiana— de cómo operó

aquélla proporcionaron un rico filón de metáforas y retórica que sería explotado por los escritores políticos de la época. Además no hay duda de que las teorías biológicas de Darwin, Spencer y muchos más estuvieron determinadas por inspiraciones derivadas de valores culturales. Sin embargo, considerar las diversas formas del darwinismo social predominante en el siglo XIX como subproductos de la teoría de la selección de Darwin es atribuir demasiada influencia a la comunidad científica —eran los científicos los que reflejaban la ideología de la época, y en el mejor de los casos sus ideas servían para justificar políticas ya en vigor—. También hemos de ser cautos y señalar que, a finales del siglo XIX, el darwinismo predominante ofrecía una visión general de la evolución progresiva en la que la selección natural desempeñaba un papel sólo limitado. De hecho, en la intersección de la biología y las ideas sobre la naturaleza humana, aún tenía que producirse una transición importante que correspondería a la aparición de una perspectiva mucho más rígida de cómo la herencia determina el carácter.

Herencia y determinismo genético

Los pensadores del siglo XIX que afirmaban que la capacidad de una persona estaba predeterminada por su origen racial estaban defendiendo una forma de determinismo biológico o hereditario. Por su parte, los liberales afirmaban que la personalidad y las capacidades de un individuo dependían sobre todo de la educación y el ambiente social, no de su raza. Esa diferencia de opinión alimentaba un debate aparentemente interminable sobre la importancia relativa de la «naturaleza» (herencia) y la «cultura» (educación) en la determinación del carácter. A finales del siglo XIX, se produjo un importante cambio de orientación hacia la herencia. La gente siempre había sido reacia a admitir que había alguien loco «en la familia». Ahora se sostenía que todas las diferencias individuales estaban predeterminadas por el linaje. Los niveles de capacidad, y quizá incluso el temperamento, se transmitían de manera hereditaria de padres a hijos, por lo que alguien que recibiera una herencia «mala» al nacer estaría condenado a la inferio-

ridad con independencia de su educación. Ese avance en la opinión pública coincidió con una mayor atención de los biólogos a la cuestión de la herencia, lo que llevó a los historiadores a indagar sobre el papel de la ideología en la determinación de las prioridades científicas, cuando no del propio conocimiento científico.

Francis Galton, primo de Darwin, encabezó el apoyo científico a «la herencia». Mientras exploraba África, Galton se convenció de la inferioridad de la raza negra. A continuación empezó a sostener que el principio hereditario era aplicable incluso entre los blancos: las personas inteligentes tienen hijos inteligentes y, por tanto, las estúpidas tienen hijos estúpidos. Su *Hereditary Genius* [Genio hereditario], de 1869, brindó la base científica de una campaña para conjurar los peligros sociales que se corrían si se pasaba por alto esa supuesta desigualdad biológica. Galton afirmaba que, en la sociedad moderna, los «no aptos» ya no son eliminados por selección natural toda vez que pueden sobrevivir en los barrios bajos de las grandes ciudades, donde se reproducen rápidamente y elevan el nivel de herencia perniciosa en el conjunto de la población. Galton acuñó el término «eugenesia» en su programa de mejora de la raza, consistente en limitar la reproducción de los no aptos y animar a los aptos a tener más hijos (Kevles, 1985; Mackenzie, 1982; Searle, 1976).

A principios del siglo XX, Galton se había convertido en el mascarón de proa de un poderoso movimiento social. La eugenesia prosperó en la mayoría de los países desarrollados, gracias al miedo a la degeneración social y al entusiasmo por la idea de que la ciencia abría el camino hacia una sociedad gestionada con eficiencia. En 1901, Karl Pearson, discípulo de Galton, avisó de la «degeneración» de la población como se ponía de manifiesto en la baja calidad de los reclutas llamados a filas durante la guerra de los bóers en Sudáfrica (que ganaron los británicos, pero a un alto precio). Según él, para mejorar la raza y defender el Imperio hacía falta un programa eugenésico. Como hemos señalado antes, Pearson daba por sentado que la raza blanca era superior a las razas nativas de las zonas del mundo colonizadas. El apoyo a la eugenesia compartió con la herencia la atención especial de los biólogos. Pearson ideó varias técnicas estadísticas para evaluar el efecto de la selección en los rasgos hereditarios de una población; por

otro lado, en 1900 se produjo el «redescubrimiento» de las leyes de Mendel (véase cap. 6, «La revolución darwiniana», y cap. 8, «Genética»). Los historiadores han vinculado esos adelantos científicos a los cambios en la opinión pública. Y de acuerdo con las interpretaciones más radicales, la estructura de las teorías de la herencia estaba determinada por el uso que se les daba para respaldar la eugenesia. Como en la cuestión de las razas, es comparativamente fácil mostrar que las presiones sociales han centrado el interés de los científicos en temas concretos, pero no tanto probar que las propias teorías reflejen valores sociales. El hecho de que se usaran teorías rivales para avalar las mismas actitudes debilita la interpretación determinista, lo que deja margen para que las cuestiones científicas puedan configurar los detalles del pensamiento en un marco por lo general hereditario.

Pearson defendía la selección natural de Darwin, por lo que el darwinismo ha sido considerado un modelo para la eugenesia: la selección natural es sustituida por la selección artificial en la población humana. Pearson sentó las bases de muchas técnicas estadísticas modernas, y su firme apoyo a la eugenesia llevó a Donald Mackenzie (1982) a sugerir que esas técnicas estaban concebidas para poner de relieve los efectos de la herencia en la sociedad humana. No obstante, en un estudio estadístico más reciente Pearson señala que muchas de sus técnicas tenían su origen en problemas biológicos; cuando empezó a dedicarse a la herencia humana, introdujo métodos de análisis diferentes (Magnello, 1999). Así pues, la conexión con el darwinismo hay que examinarla con cuidado: el propio Galton hacía hincapié en los efectos negativos de la supresión de la presión selectiva, pero no creía que la selección fuera el origen de nuevos rasgos en la evolución. Uno de los partidarios británicos de la eugenesia más extremistas —proponía la esterilización obligatoria de los irlandeses— fue E. W. MacBride, uno de los últimos defensores del lamarckismo.

El producto más característico de la nueva oleada de interés por la herencia era, naturalmente, la genética mendeliana. Aunque las leyes de la herencia de Gregor Mendel habían sido publicadas en 1865, fueron en gran parte ignoradas hasta ser redescubiertas en 1900 por Hugo de Vries y Carl Correns. Pronto el mendelismo pasó a ser un rival poderoso para el modelo «sin partículas» de la herencia, lo que puso de

manifiesto cómo tipos de ciencia enfrentados podían ser estimulados por las mismas presiones sociales. Sobre todo en América, la genética estuvo vinculada al programa eugenésico por medio de suposiciones excesivamente simplificadas sobre la base genética de las características humanas (Haller, 1963). Se creía que todo rasgo físico y psicológico era fruto de un solo gen (véase fig. 18.4). Charles Benedict Davenport sostenía que la debilidad mental, por ejemplo, era un rasgo mendeliano único que podía ser eliminado fácilmente de la población esterilizando a los portadores del gen. De cualquier modo, no había una conexión automática entre el mendelismo y la eugenesia. El destacado genetista británico William Bateson no apoyaba la eugenesia, mientras que Pearson —el gran rival científico de Bateson— desconfiaba de la genética porque pensaba que era una teoría demasiado simplificada que podía socavar la credibilidad de la eugenesia. Así pues, la ma-

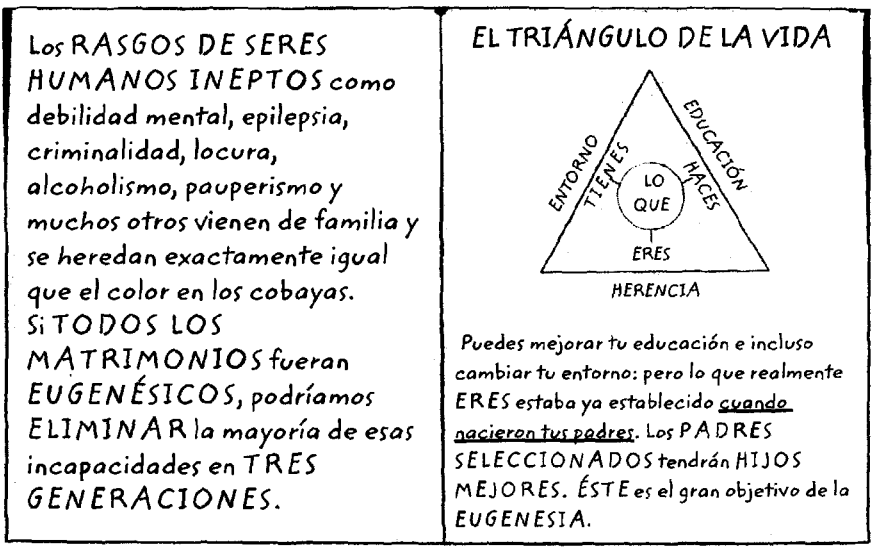


FIGURA 18.4. Muestras de eugenesia en la Feria Libre de Kansas, en 1929. Esas exposiciones se utilizaban para convencer a la gente de que muchos defectos físicos y mentales se heredaban como rasgos unitarios y, por tanto, podían ser eliminados de la población si se evitaba que los individuos con esos defectos se reprodujeran.

nera exacta en que el entusiasmo por el pensamiento hereditario se reflejaba en la ciencia dependía de las circunstancias de los científicos implicados. Uno de los pioneros de la genética de poblaciones, Ronald Aylmer Fisher, estuvo muy influido por la eugenesia, aunque su obra ayudó a mostrar lo difícil que sería eliminar genes perjudiciales de la población humana. Debemos un trabajo similar sobre teoría de la selección a J. B. S. Haldane, socialista temeroso de que los esfuerzos del movimiento eugenésico limitaran la variabilidad de la población humana.

También existían importantes diferencias entre las preocupaciones manifestadas por los partidarios de la eugenesia en distintos países. En América, el movimiento acabó muy implicado en la oposición a la inmigración de razas «inferiores», que propagarían sus rasgos en la población. Entre científicos americanos y alemanes de la raza había lazos estrechos que se mantuvieron tras la llegada de los nazis al poder. En Gran Bretaña, la raza era un problema menor (si exceptuamos, quizá, las diatribas de MacBride contra los irlandeses). Es significativo que, aunque algunos biólogos respaldaban la eugenesia y la teoría de las razas, a principios del siglo xx los antropólogos y los científicos sociales habían abandonado la postura hereditaria (Cravens, 1978; véase cap. 13, «La aparición de las ciencias humanas»). En la Rusia soviética, la desconfianza en la idea de que el progreso social no podía mejorar la naturaleza humana generó una oposición ideológica a la genética. En las décadas de 1940 y 1950, T. D. Lysenko promovió una nueva forma de lamarckismo y obtuvo el apoyo del dictador Stalin para expulsar a los genetistas de la comunidad científica soviética (Joravsky, 1970). Aunque Lysenko ofrecía la esperanza (ilusoria, como se vio) de mejorar la ciencia agrícola, el odio de los marxistas al determinismo genético explicaba su hostilidad hacia la genética. El asunto Lysenko se considera a menudo un ejemplo de cómo ciertos intentos de imponer un control ideológico sobre la ciencia suelen fracasar, si bien los críticos del determinismo señalan el entusiasmo de los biólogos occidentales por la eugenesia para poner de manifiesto que el sesgo ideológico no era unilateral.

Fueron los excesos nazis los causantes de que a la larga el movimiento hereditario cayera en el descrédito en América y Europa occi-

dental. Su aversión a los judíos, que culminó en el Holocausto, corrió pareja con medidas draconianas para eliminar de la raza aria «personas anormales». En la década de 1940, una oleada de repulsa ante esos excesos obligó a mucha gente, científicos incluidos, a reconsiderar su apoyo al racismo y la eugenesia (Barkan, 1992). No obstante, también había en juego factores científicos: el ascenso de la teoría genética de la selección natural debilitaba las teorías de la evolución paralela que se habían utilizado para proclamar el carácter diferenciado de las razas y, al mismo tiempo, ponía de relieve la afinidad entre todos los seres humanos actuales. Determinados avances en genética desautorizaron la afirmación de que cada rasgo es producto de un gen individual. Aun así, algunos biólogos se han opuesto a la tendencia, y los historiadores siguen discutiendo el grado en que la ciencia ha contribuido a las actitudes sociales o ha sido impulsada por éstas.

Conclusiones

Los crímenes perpetrados por la Alemania nazi dieron lugar a una nueva oleada de liberalismo en las ciencias sociales y generaron apoyo a la idea de que las mejores condiciones de vida pueden mejorar a las personas. En la década de 1970, estalló de nuevo el debate sobre naturaleza y cultura en torno a las afirmaciones realizadas por Edward O. Wilson relativas a la sociobiología (Caplan, 1978). Wilson promovió técnicas para explicar muchos aspectos de la conducta social, sobre todo en insectos, en función de instintos creados por la selección natural. Cuando sugirió que también la conducta humana podía estar determinada de esta manera, los liberales reaccionaron escandalizados asegurando que se había iniciado una nueva corriente favorable al darwinismo social. Más recientemente, muchos neurocientíficos han empezado a respaldar la idea de que la herencia genética influye a la hora de determinar la estructura del cerebro y, en consecuencia, tanto la conducta instintiva como la capacidad intelectual. Se vuelve a oír de vez en cuando que los distintos grupos raciales tienen diferentes niveles de capacidad intelectual. El proyecto del genoma humano ha estimulado la creencia de que existe una «localización» genética para

cada trastorno físico y emocional. Los últimos avances en biotecnología también han incrementado los temores de que pueda resurgir la eugenesia —no a través del control de la reproducción sino porque haya padres capaces de escoger los rasgos de sus hijos—. Se aprecia nuevamente un interés considerable en la posibilidad de que la evolución y la herencia puedan conformar nuestra personalidad, lo que de forma inevitable centra la atención en estudios históricos de episodios anteriores, cuando esas ideologías tenían influencia.

Los historiadores de la ciencia han explorado las diversas maneras en que se usó la ciencia para procurar legitimidad al supuesto de que las razas no blancas y las clases bajas de las sociedades occidentales eran mentalmente inferiores. No hay duda de que la ciencia fue utilizada así; el verdadero problema que tenemos planteado es el grado en que esas preocupaciones determinaron el desarrollo de la ciencia misma. La óptica sociológica supone que el conocimiento científico refleja los intereses ideológicos de quienes lo crean. Las teorías se elaboraban de tal manera que maximizaran su capacidad para prestar apoyo a prejuicios como el de la superioridad de la raza blanca. La oleada de entusiasmo a favor de teorías de diferenciación racial coincidía con la época del imperialismo, y esa ideología influyó casi con toda seguridad en las ideas de los científicos que rechazaban a las otras razas calificándolas de inferiores. No obstante, los historiadores han recelado de la adopción de un enfoque determinista en el que una ideología concreta genera forzosamente una teoría científica concreta. Muchas teorías diferentes se adaptaron a la misma finalidad social, con lo que los historiadores han acabado buscando otras explicaciones de por qué los científicos implicados elegían sus teorías particulares. La mayoría de las distintas teorías evolutivas propuestas a finales del siglo XIX y principios del XX contribuyeron a la ciencia de las razas, darwiniana y no darwiniana por igual.

El hecho de que la ciencia se implicara en esas discusiones plantea problemas sobre la naturaleza y la objetividad de la ciencia misma. Cuando abordamos el pasado, sacamos a la luz los orígenes de conceptos y actitudes que siguen determinando nuestras opiniones enfrentadas sobre la naturaleza humana. La historia se usa para calificar las teorías modernas a fin de poner de relieve sus supuestas repercu-

siones sociales, como en la identificación de la sociobiología con el darwinismo social. Esos recursos al pasado muestran que en la actualidad la historia todavía es pertinente, pero también revelan los peligros que aguardan a todo historiador que pretenda hurgar en esas controvertidas cuestiones. Tenemos la obligación de advertir sobre el mal uso de la historia, incluyendo ahí las afirmaciones simplonas de que hemos de identificar necesariamente ideologías concretas con teorías científicas concretas. Pero el historiador tiene acceso a una gran cantidad de información que puede confirmar la implicación cotidiana de científicos del pasado en los problemas sociales de su época. Un análisis histórico completo desde el punto de vista social supone un modo valioso de advertirnos del grado en que la ciencia puede aún estar influida por los mismos factores.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Bannister, Robert C., *Social Darwinism: Science and Myth in Anglo-American Social Thought*, Temple University Press, Filadelfia, 1979.

Barkan, Elazar, *The Retreat of Scientific Racism: Changing Concepts of Race in Britain and the United States between the World Wars*, Cambridge University Press, Cambridge, 1992.

Bowler, Peter L., *Theories of Human Evolution: A Century of Debate, 1844-1944*, Johns Hopkins University Press, Baltimore; Blackwell, Oxford; 1986.

—, *The Invention of Progress: The Victorians and the Past*, Blackwell, Oxford, 1989.

—, *Biology and Social Thought*, Oficina para la Historia de la Ciencia y la Tecnología, Universidad de California, Berkeley, 1993.

Caplan, Arthur O., *The Sociobiology Debate*, Harper & Row, Nueva York, 1978.

Cooter, Roger, *The Cultural Meaning of Popular Science: Phrenology and the Organization of Consent in Nineteenth-Century Britain*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

Cravens, Hamilton, *The Triumph of Evolution: American Scientists and the Heredity-Environment Controversy, 1900-1941*, University of Pennsylvania Press, Filadelfia, 1978.

Crook, Paul, *Darwinism, War and History: The Debate over Biology of War from the «Origin of Species» to the First World War*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

Gasman, Daniel, *The Scientific Origins of National Socialism: Social Darwinism in Ernst Haeckel and the Monist League*, American Elsevier, Nueva York, 1971.

Gould, Stephen Jay, *Ontogeny and Phylogeny*, Harvard University Press, Cambridge, 1977.

—, *The Mismeasure of Man*, Norton, Nueva York, 1981 (hay trad. cast.: *La falsa medida del hombre*, Crítica, Barcelona, 1997).

Greene, John C., *The Death of Adam: Evolution and Its Impact on Western Thought*, Iowa State University Press, Ames, 1959.

Haller, John S., *Outcasts from Evolution: Scientific Attitudes of Racial Inferiority, 1859-1900*, University of Illinois Press, Urbana, 1975.

Haller, Mark H., *Eugenics: Hereditarian Attitudes in American Thought*, Rutgers University Press, Brunswick, Nueva Jersey, 1963.

Hawkins, Mike, *Social Darwinism in European and American Thought, 1860-1945: Nature as Model and Nature as Threat*, Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

Hofstadter, Richard, *Social Darwinism in American Thought*, rev. ed. Beacon Press, Boston, 1955.

Jones, Greta, *Social Darwinism in English Thought*, Harvester, Londres, 1980.

Joravsky, David, *The Lysenko Affair*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1970.

Kevles, Daniel, *In the Name of Eugenics: Genetics and the Uses of Human Heredity*, Knopf, Nueva York, 1985.

Knox, Robert, *The Races of man: A Philosophical Enquiry into de Influence of Race on the Destiny of Nations*, Henry Renshaw, Londres, 1862[2].

Lewin, Roger, *Bones of Contention: Controversies in the Search for Human Origins*, Simon & Schuster, Nueva York, 1987.

Mackenzie, Donald, *Statistics in Britain, 1865-1930: The Social Construction of Scientific Knowledge*, Edinburgh University Press, Edimburgo, 1982.

Magnello, Eileen, «The Non-Correlation of Biometry and Eugenics», *History of Science*, n.º 37 (1999), pp. 79-106, 123-150.

Pearson, Karl, *The Grammar of Science*, A. y C. Black, Londres, 1900[2].

Richards, Robert J., *Darwin and the Emergence of Evolutionary Theories of Mind and Behavior*, University of Chicago Press, Chicago, 1987.

Searle, G. R., *Eugenics and Politics in Britain, 1900-1914*, Noordhoff International Publishing, Leiden, 1976.

Secord, James A., *Victorian Sensation: The Extraordinary Publication, Reception and Secret Autorship of «Vestiges of the Natural History of Creation»*, University of Chicago Press, Chicago, 2000.

Shapin, Steven, «Homo Phrenologicus: Anthropological Perspectives on a Historical Problem», en *Natural Order: Historical Studies of Scientific Culture*, ed. Barry Barnes y Steven Shapin, Sage Publications, Beverly Hills, CA, 1979, pp. 41-79.

Smith, Roger, *Inhibition: History and Meaning in the Sciences of Mind and Brain*, Free Association Books, Londres, 1992.

—, *The Fontana/Norton History of the Human Sciences*, Fontana, Londres; Norton, Nueva York; 1997.

Stanton, William, *The Leopard's Spots: Scientific Attitudes toward Race in America, 1815-1859*; Phoenix Books, Chicago, 1960.

Stepan Nancy, *The Idea of Race in Science: Great Britain, 1800-1960*, Macmillan, Londres, 1982.

Sulloway, Frank, *Freud, Biologist of the Mind: Beyond the Psychoanalytic Legend*, Burnett Books, Londres, 1979.

Young, Robert M., *Mind, Brain and Adaptation in the Nineteenth Century*, Clarendon Press, Oxford, 1970.

—, «Darwinism *Is* Social», en *The Darwinian Heritage*, ed. David Kohn, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1985a, pp. 609-638.

—, *Darwin's Metaphor: Nature's Place in Victorian Culture*, Cambridge University Press, Cambridge, 1985b.

19

Ciencia y medicina

Actualmente, los avances y descubrimientos médicos se cuentan entre los logros más importantes de la ciencia moderna. Los médicos y los científicos exhiben prácticamente la misma imagen: individuos serios, con bata blanca, que trabajan en laboratorios de un tipo u otro. Comúnmente, se considera que la ciencia está en el centro mismo de la práctica médica; proporciona a los médicos un núcleo de conocimientos básicos sobre cómo funciona el cuerpo humano y cómo se desarrollan las enfermedades; procura nuevos tratamientos para dolencias, hasta la fecha incurables, mediante, por ejemplo, nuevos fármacos o una mayor comprensión de la función que cumplen los genes en la salud; aporta asimismo una fuente constante de tecnologías diagnósticas nuevas, desde los rayos X a finales del siglo XIX hasta los escáneres (de *scan*, explorar) de resonancia magnética (RM) a finales del XX. La medicina científica es la causante de diversas mejoras sustanciales producidas en la longevidad y la salud pública a lo largo del siglo pasado —al menos en el mundo occidental—. Los científicos afirman estar a punto de descifrar los códigos genéticos, lo que desembocará en una revolución sin precedentes en el conocimiento y el tratamiento de las enfermedades. De tan evidente, esa relación entre la ciencia y la medicina resulta trivial. Al fin y al cabo, ¿de qué otro modo podría obrar la medicina?

No obstante, el tipo de relación que damos por sentada actualmente entre la medicina y la ciencia tiene un origen histórico relativamen-

te reciente (Porter, 1997). Hace trescientos años, o apenas ciento cincuenta, el valor de la ciencia o de la filosofía natural para la práctica médica no era obvio en absoluto. Por el contrario, era una cuestión muy discutida por los médicos y sus pacientes. Hasta no hace mucho, eran pocos los profesionales médicos que habían adquirido algo parecido a una formación científica. Se consideraba que la medicina era algo artesanal, un oficio que se adquiría mediante el aprendizaje con un profesional cualificado. Incluso los médicos, el sector más selecto de la profesión, tenían una formación muy elemental en filosofía natural. Lo que les importaba era el saber práctico y la destreza en el diagnóstico desarrollados a lo largo de los años amén de su conocimiento íntimo de las flaquezas y rarezas de sus pacientes. Los filósofos naturales defensores de las nuevas ciencias, como René Descartes en el siglo XVIII (véase cap. 2, «La revolución científica»), acaso afirmaran que la aplicación de los nuevos conocimientos sobre el cuerpo daría lugar a una transformación milagrosa en la salud y la longevidad, si bien la mayoría de los médicos y pacientes no se creían esas palabras al pie de la letra (Shapin, 2000). Durante la segunda mitad del siglo XIX, cuando se fue asentando cada vez más la «medicina científica», muchos médicos aún seguían diciendo que lo realmente importante para la medicina era el conocimiento práctico más que el aprendizaje científico libresco.

Por tanto, el establecimiento del vínculo entre la medicina y la ciencia que hoy damos por sentado debería considerarse un logro cultural de gran importancia. En términos históricos, hasta hace relativamente poco la relación entre la medicina y la ciencia no era obvia ni mucho menos. Se ha tratado de un proceso tenso y aleatorio que exige una atención histórica minuciosa. Los médicos del pasado tenían —según sus propios criterios— buenas razones para recelar de la ciencia. Reconocían, por ejemplo, que hacer científica la medicina ocasionaría cambios importantes —aunque no necesariamente beneficiosos— en el modo de practicar la medicina y en la relación entre ellos y sus pacientes. En la actualidad, la relación entre ciencia y medicina sigue sin estar clara del todo. De hecho, seguramente se halla más cuestionada hoy de lo que lo estuvo durante gran parte del siglo pasado. Ciertos defensores de diversas clases de me-

dicina no occidental acusan a la medicina científica de ser demasiado materialista, de centrarse en el cuerpo a costa del alma. A la medicina científica también se le reprocha que preste al cuerpo humano demasiada atención como conjunto de partes enfermas y no la suficiente como un todo unificado. Partidarios de planteamientos de la denominada New Age han realizado críticas similares. Los críticos sociales acusan a la medicina científica de «medicalizar» el cuerpo humano y convertir aspectos totalmente normales de la condición y la experiencia humana en dolencias que requieren intervención médica.

En este capítulo plantearemos una visión general del estado de la práctica médica durante las primeras etapas del período actual, y se examinará la estructura de la profesión, la relación entre profesionales y pacientes y el conocimiento del cuerpo. A continuación nos centraremos en el impacto de lo que algunos historiadores han descrito como el «nacimiento de la clínica» a finales del siglo XVIII. Después analizaremos el crecimiento de la medicina de laboratorio durante el siglo XIX y la creciente insistencia de muchos partidarios en que la medicina debía llegar a ser no simplemente una ciencia sino una ciencia experimental. Formaba parte de ese proceso conseguir que la educación científica basada en el laboratorio fuera un aspecto fundamental de la formación médica; pioneros como Louis Pasteur o Robert Koch sostenían que el experimento estaba en el centro de sus esfuerzos por curar enfermedades. Después nos ocuparemos de la revolución terapéutica que, durante el siglo XX, acompañó a la introducción de nuevos fármacos. Para muchos, el éxito de los nuevos tratamientos con antibióticos como la penicilina parecía proporcionar la prueba final del triunfo de la medicina científica así como el programa para futuros esfuerzos terapéuticos. En el siglo XX también se produjo la consolidación de la medicina física: la aplicación de tecnologías como la radiación o los rayos X para curar y diagnosticar enfermedades. En general parecía claro que la ciencia procuraba la única clave para el progreso médico.

La revolución clínica

En una de las más importantes obras de historia de la medicina de los últimos cincuenta años, *El nacimiento de la clínica: una arqueología de la mirada médica*, el historiador y crítico social Michel Foucault describía la transformación de finales del siglo XVIII en la práctica de la medicina como algo decisivo para la aparición de la medicina moderna (Foucault, 1973). Según Foucault, ésta fue posible tras la creación del hospital como centro de la práctica médica. Otro sociólogo médico define ese momento como «la desaparición del hombre enfermo de la cosmología médica». La idea es que, con el desarrollo del hospital, los médicos empezaron a prestar menos atención al cuerpo de los pacientes individuales y a tratar las enfermedades como entidades en sí mismas (Jewson, 1976). Para Jewson, hasta el final del período moderno temprano la práctica médica estuvo centrada en el cuerpo de las personas, mientras que con la llegada de los hospitales y sus grandes concentraciones de pacientes, los cuerpos individuales pasaron a ser tan sólo lugares donde se manifestaban los síntomas de dolencias determinadas. Los profesionales de la medicina contemplaban cada vez más a los pacientes hospitalarios como fuentes de información sobre el desarrollo de distintas afecciones y menos como personas que había que curar. Partiendo de esa perspectiva, como mantiene Foucault, la ciencia médica clave era la nosología —la clasificación de las enfermedades.

A grandes rasgos, la profesión médica del siglo XVIII se dividía en tres grupos: médicos, cirujanos y boticarios, de los cuales sólo de los primeros —que se ocupaban de los achaques internos del cuerpo— cabía esperar que tuvieran algún título universitario. Tanto los cirujanos, que se encargaban de las dolencias externas, como los boticarios, que preparaban medicamentos, generalmente aprendían las destrezas necesarias mediante el aprendizaje con un profesional reconocido. La inmensa mayoría de esos profesionales trabajaban por su cuenta y no como miembros de una institución grande como un hospital. Las personas que deseaban un tratamiento se dirigían a distintos médicos en función de la disponibilidad de éstos, de la naturaleza de la enferme-

dad y de sus posibilidades económicas. Un paciente rico descontento con el tratamiento de un médico podía fácilmente acudir a otro. En este sentido, la relación entre el profesional y el enfermo estaba decantada claramente del lado del segundo, aspecto al que aluden muchos historiadores al explicar la medicina —centrada en el paciente— del siglo XVIII (Porter y Porter, 1989). De todas formas, para la mayoría de las personas ir a la consulta de un médico acreditado era demasiado caro. Tenían que conformarse con los servicios de ensalmadores, herbolarios o hechiceras. Por lo general, la mayor parte de los boticarios recetaban medicamentos pese a tenerlo prohibido (era competencia exclusiva de los médicos). A finales del siglo XVIII, fueron cada vez más habituales los cirujanos-boticarios —más adelante médicos de cabecera— competentes en ambas ramas de la profesión (Waddington, 1984).

¿Qué sabían esos profesionales sobre el cuerpo y las enfermedades? Muchos médicos seguían una teoría humeral de la enfermedad en virtud de la cual el cuerpo estaba regulado por cuatro líquidos o humores: sangre, bilis, bilis negra y flema. En un cuerpo sano, los humores estaban en equilibrio. En un cuerpo enfermo, no, y la tarea del médico consistía en restablecer dicho equilibrio. Ésa era la base lógica de las primeras prácticas médicas modernas: por ejemplo, las sangrías. Los filósofos naturales discutían sobre cómo debían entender el cuerpo. Ciertos entusiastas del newtonianismo, como el profesor universitario holandés Hermann Boerhaave, afirmaban que hemos de contemplarlo como si fuera una simple máquina compuesta de bombas, poleas y dispositivos mecánicos (fig. 19.1). Otros, como Georg Ernst Stahl, eran animistas e insistían en que el cuerpo humano era algo más que la suma de sus partes mecánicas. Algunos filósofos naturales, entre ellos Albrecht von Haller, intentaron clasificar las propiedades de diferentes tipos de tejido animal, describiendo, por ejemplo, el tejido muscular como irritable y el nervioso como sensible (Hall, 1975). No está claro hasta qué punto esos debates entre mecanicistas y vitalistas (los historiadores a menudo especifican los dos bandos) tuvo un impacto perceptible en la práctica de la medicina. Seguramente la mayoría de los médicos estaban muy ocupados tratando de curar a sus enfermos y no prestaron mucha atención (Bynum y Porter, 1985).

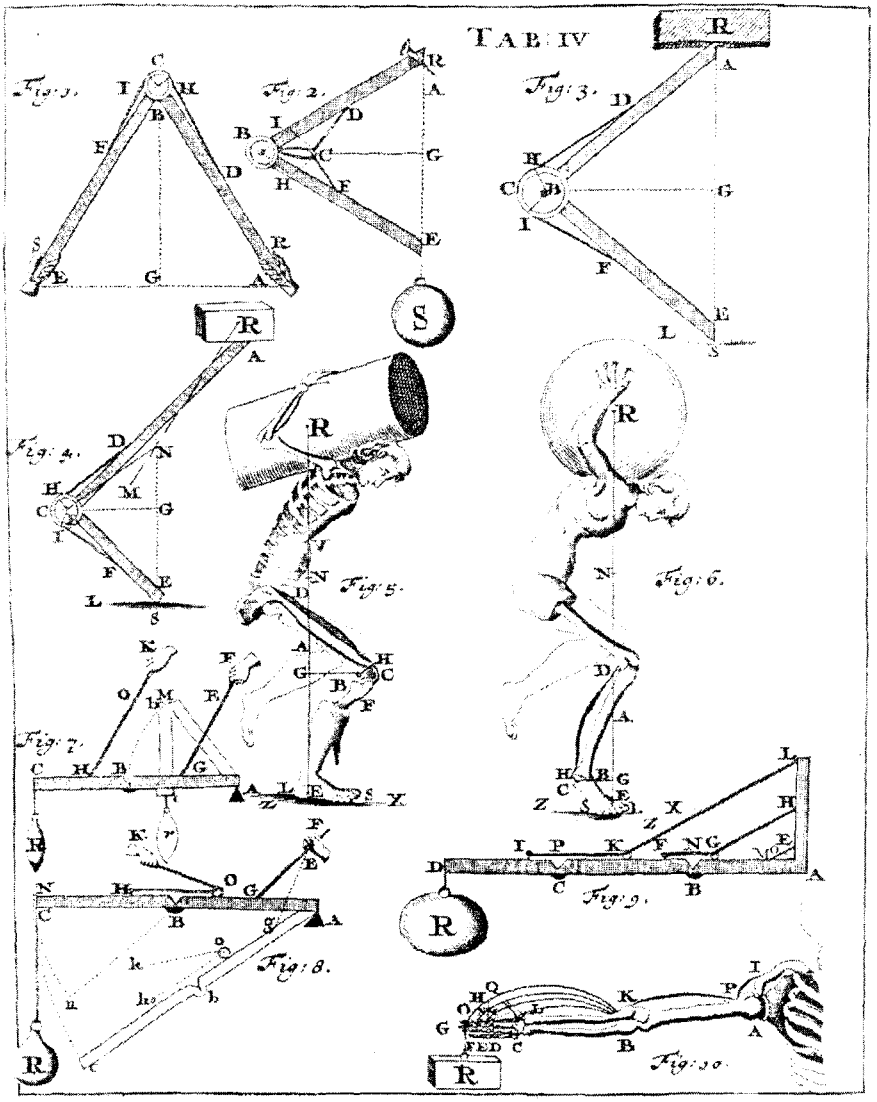


FIGURA 19.1. El cuerpo humano representado como una máquina, en *De motu animalium* (1680), de G. A. Borelli. En la medicina moderna temprana, fue cada vez más común la idea del cuerpo como un sistema mecánico.

Por diversas razones, como señala Foucault, a lo largo del siglo XVIII los hospitales fueron cada vez más importantes como centros de enseñanza y práctica médica. Muchos tenían una historia que se remontaba a la época medieval, cuando fueron fundados como instituciones benéficas, a menudo dirigidas por órdenes monásticas, para ofrecer asistencia a los indigentes. En la Francia del siglo XVIII, esas instituciones fueron pasando gradualmente a ser controladas por el Estado, en especial tras la Revolución (fig. 19.2). Ese control del Estado y la reorganización de la práctica hospitalaria que lo acompañaba es lo que Foucault tenía en mente al hablar del «nacimiento de la clínica». Los hospitales tuvieron cada vez más importancia para las aspiraciones profesionales de los médicos ambiciosos. En el transcurso de ese proceso contribuyeron a transformar el modo como los médicos trataban a los enfermos y las enfermedades. La tesis de Foucault fue bastante menos convincente fuera de Francia, por ejemplo en Gran Bretaña o América, donde el Estado intervenía poco o nada en la crea-

FIGURA 19.2. Escena de un hospital parisino del siglo XIX (Wellcome Medical Library, Londres).

ción de hospitales. No obstante, también en esos países son evidentes el desarrollo del hospital como centro de aprendizaje médico y los cambios de perspectiva que acompañaron a esa evolución. Sanadoras tradicionales como las comadronas se vieron desplazadas por nuevos profesionales acreditados y de formación hospitalaria (como la nueva generación de *accoucheurs*, u hombres-parteras, como se denominaban), que con frecuencia resultaban más atractivos a las ascendentes clases medias urbanas (Wilson, 1995).

En el transcurso del siglo XVIII, la nosología —clasificación de las enfermedades con arreglo a sus características y síntomas particulares— despertó cada vez más interés. En muchos aspectos, fue la ciencia médica clave de la Ilustración. Los nuevos sistemas clasificatorios constituyeron una tendencia muy propia del siglo XVIII, como ponen de manifiesto el sistema taxonómico de historia natural del botánico Linneo o incluso los esfuerzos de los filósofos franceses D'Alembert y Diderot por catalogar todo el conocimiento en la *Encyclopédie*. François Bossier de Sauvages (1706-1767), médico y profesor de medicina de la Universidad de Montpellier, fue uno de los primeros en emprender una clasificación sistemática de las dolencias en su *Nouvelles classses des maladies* [Nuevas clases de enfermedades] (1731). Sauvages identificaba diez tipos diferentes de enfermedades, divididos en 295 géneros y 2.400 especies. William Cullen, cirujano escocés y profesor de medicina en Glasgow, llevó a cabo una de las más influyentes iniciativas del siglo XVIII para clasificar dolencias en su *First Lines of the Practice of Physic* [El abecé de la práctica de la medicina] (1778-1779). Poco a poco, la atención pasó de la clasificación de las enfermedades basada en los síntomas subjetivos explicados por los pacientes al empeño por identificar signos objetivos. La patología anatómica llegó a ser un método cada vez más importante para determinar afecciones gracias al cual se pudieran detectar lesiones orgánicas concretas que correspondieran a estados concretos de la enfermedad. La nosología dependió cada vez más de la existencia de muchos pacientes para ser examinados, como en los hospitales grandes. Así pues, éstos comenzaron a ser considerados centros importantes de investigación así como de enseñanza y atención médica.

Uno de los rasgos más destacados de la revolución clínica en me-

dicina identificados por Foucault es lo que él llamaba la aparición de la «mirada» médica. Con el nacimiento de la clínica, según Foucault, los médicos empezaron a ver a sus pacientes de manera totalmente distinta. En vez de considerarlos como individuos, cada uno con sus necesidades y síntomas únicos, comenzaron a contemplarlos como lugares para la expresión de distintas enfermedades. Los pacientes acabaron siendo sujetos experimentales. Ése fue, al menos en parte, otro aspecto del desarrollo de los grandes hospitales como centros fundamentales para la enseñanza y la investigación. Por lo general, los pacientes hospitalarios procedían de los sectores más pobres de la sociedad, que carecían de la capacidad que sí poseían las clases medias y superiores para relacionarse con médicos en condiciones de igualdad —o incluso superioridad— social. Los enfermos más pobres a menudo tenían miedo de los hospitales, que veían como lugares de muerte y privaciones. Es de destacar la aprobación, en Gran Bretaña, de la Ley de Anatomía en 1832, que permitía a los médicos utilizar los cadáveres no reclamados de los pacientes pobres para su disección y experimentación. Éstos constituían la materia prima para los nuevos sistemas nosológicos surgidos a principios del siglo XIX así como para la enorme expansión de la enseñanza médica que tuvo lugar en el mismo período. Según Foucault, la «mirada» sometía a los enfermos a la vigilancia y el control objetivadores de la autoridad médica moderna.

Foucault pinta un cuadro sombrío de la aparición de la medicina científica hospitalaria. Desde esa perspectiva, hay que considerar la revolución clínica como la imposición de nuevas formas de control y gestión de los cuerpos de los pacientes y no como un esfuerzo por mejorar la salud. No obstante, es posible comprender muchos aspectos de ese análisis de los cambios en la práctica médica a finales del siglo XVIII sin considerar necesariamente los discursos y usos médicos tan sólo como otra forma de relación de poder. Ciertos cambios en la organización del conocimiento médico, concretamente el creciente interés por la nosología, se produjeron de hecho junto con la aparición de nuevas instituciones y estructuras, como el hospital en tanto espacio de enseñanza e investigación. En la actualidad, la mayoría de los historiadores de la medicina coincidirían en que el análisis de Foucault generalizó demasiado rápidamente partiendo del caso particular

de la Francia de la Revolución. En otras partes de Europa o Norteamérica, los avances no sucedieron al mismo tiempo ni de la misma manera. Por ejemplo, hasta principios del siglo XX, en Gran Bretaña el Estado se involucró poco en la creación de hospitales (Lawrence, 1994; Peterson, 1978). En Estados Unidos, la implicación del Estado en la provisión hospitalaria sigue siendo limitada. De todas formas, durante el siglo XIX también en esos países se adoptó con entusiasmo la perspectiva clínica.

Medicina de laboratorio

Actualmente, los laboratorios son lugares de crucial importancia para la investigación médica. Recurrimos a la ciencia de laboratorio en busca de nuevos remedios. En un sentido más rutinario, las pruebas con muestras y fármacos constituyen hoy una verdadera industria sin la cual la medicina moderna no tendría ninguna posibilidad de seguir adelante. En cualquier caso, la contribución del trabajo de laboratorio a la práctica médica es relativamente reciente. No fue hasta los primeros años del siglo XIX cuando tuvieron lugar los primeros esfuerzos sistemáticos por llevar la medicina al laboratorio. Los defensores de la idea sostenían que sólo mediante la aplicación rigurosa de los métodos de la ciencia experimental podría la medicina progresar y crear tratamientos nuevos y efectivos. La aplicación de la ciencia de laboratorio a la medicina no se libró de críticas ni mucho menos. Durante el siglo XIX, los que se oponían (y hasta la fecha se siguen oponiendo) planteaban objeciones a la práctica de la vivisección, que parecía ser el acompañamiento inevitable de la investigación. Muchos médicos también tenían la impresión de que la medicina científica los distraía de su auténtica tarea. A su juicio, la medicina dependía del tacto y la experiencia que sólo podían adquirirse con la práctica, y no mediante los usos y conocimientos técnicos de la ciencia de laboratorio (Lawrence, 1985). Tratar el cuerpo como si fuera un conjunto de partes mecánicas impedía conocerlo verdaderamente como un todo. No obstante, los partidarios de la medicina científica fueron consiguiendo poco a poco que la formación de laboratorio constituyera una parte más de

la educación médica. Importantes avances terapéuticos, como los de Louis Pasteur o Robert Koch, se atribuyeron comúnmente a dicha medicina.

En muchos aspectos, el modelo del siglo XIX de medicina basado en el laboratorio se debe a Justus Liebig (1803-1873). Educado en Bonn, Erlangen y París, en 1824 Liebig fue nombrado profesor de química en Giessen, en cuya universidad creó un instituto de la disciplina. En general, los historiadores consideran a Liebig el fundador de una de las primeras escuelas químicas de investigación (Brock, 1997). Desempeñó un papel clave en la creación de una tradición coherente de estudios químicos y médicos, e investigó las funciones biológicas considerándolas resultados de procesos corporales físicos y químicos y no de una actividad vital innata (véase cap.7, «La nueva biología»). Del mismo modo, la labor de Claude Bernard fue fundamental para fomentar en Francia la ciencia de laboratorio como parte de la medicina. Al igual que Liebig, Bernard es importante tanto por las aportaciones de sus alumnos y la sólida justificación filosófica que elaboró para la medicina científica como por su propio trabajo experimental. Su libro fundamental, *Introducción al estudio de la medicina experimental* (1865), procuró una enérgica defensa del papel de la ciencia experimental en la formación y la investigación médica. La observación hospitalaria era un proceso demasiado azaroso y pasivo para que pudiera proporcionar información fiable sobre la evolución de la enfermedad —su «patofisiología», como la denominaba Bernard—. Por ese motivo, era esencial la experimentación con animales vivos en un marco de laboratorio controlado (Holmes, 1974).

Un nuevo valor, Louis Pasteur (1822-1896), pronto superó en fama a Claude Bernard como máximo exponente de la medicina científica. Pasteur se graduó como químico en la École Normale Supérieure y pasó por distintos puestos en universidades de provincias antes de ser nombrado, en 1854, catedrático en la ciudad fabril de Lille, donde inició sus investigaciones sobre química de la fermentación en respuesta a las necesidades de las fábricas de cerveza de la ciudad. Pasteur llegó a determinar que el proceso de fermentación requería la presencia de microorganismos. También estableció el método, hoy conocido como «pasteurización», para impedir que la cerveza (o la leche) se volviera

agria. Adquirió celebridad gracias a una serie de publicitados debates con el médico radical Felix Pouchet sobre el tema de la generación espontánea: si la materia inanimada podía producir o no espontáneamente organismos (Latour, 1988). El materialista radical Pouchet sostenía que la generación espontánea era una realidad. El católico conservador Pasteur decía que no. En una espectacular serie de experimentos, Pasteur demostró que, si los aparatos estaban debidamente esterilizados y se evitaba la contaminación ambiental, no aparecía ningún organismo. En otras palabras, la supuesta observación de la generación espontánea se debía a la contaminación del aparato por microorganismos ajenos. La reputación de Pasteur quedó sellada en 1862 con su nombramiento para la Académie des Sciences (Geison, 1995).

Pasteur llevó a cabo su trabajo con microorganismos durante las décadas de 1860 y 1870, y se convirtió en un ruidoso y enérgico defensor de la teoría de los gérmenes (fig. 19.3). Sostenía que las enfermedades, igual que procesos como la fermentación y la putrefacción,

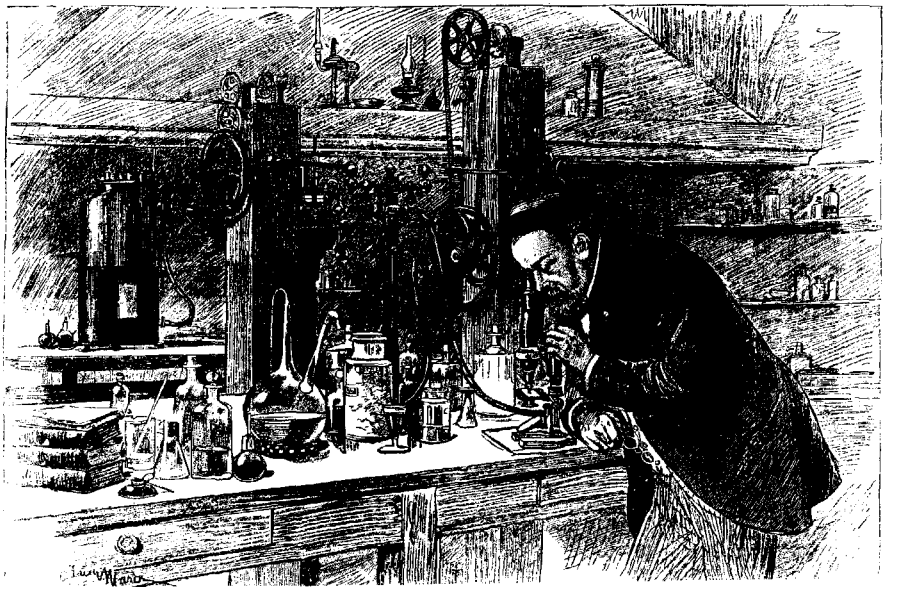


FIGURA 19.3. Louis Pasteur trabajando en su laboratorio.

se debían a la presencia de microorganismos, y que si se podían identificar los responsables de provocar una enfermedad concreta, sería posible crear vacunas contra la misma. En 1879, para verificar sus teorías inyectó microbios «rancios» causantes del cólera a un grupo de pollos, y demostró que las aves ya expuestas a la versión rancia no quedaban infectadas si más adelante se exponían a una forma virulenta de la enfermedad. Más adelante, en 1881, en Pouilly de Fort llevó a cabo una serie aún más sorprendente de experimentos con ántrax, afección mortífera para el ganado y los seres humanos. Inyectó una vacuna a veinticuatro ovejas, seis vacas y una cabra, y tras repetir el tratamiento al cabo de unas semanas, expuso a los animales, junto a otros no vacunados, a un cultivo de ántrax vivo. Los animales vacunados sobrevivieron, y las muertes de los no vacunados fueron recibidas como una triunfante demostración de las teorías de Pasteur, quien en 1885 hizo otra gran demostración al vacunar a Joseph Meister, de nueve años, que había sido mordido por un perro rabioso. Meister sobrevivió. En 1888, se creó en París el Instituto Pasteur como centro para el tipo de investigación científica que Pasteur se había dedicado a promover a lo largo de su carrera.

Los experimentos de Pasteur supusieron un gran espaldarazo a la teoría de los gérmenes (Geison, 1995). Otro defensor significativo e influyente de dicha teoría fue el investigador alemán Robert Koch (1843-1910), rival de Pasteur. Koch había estudiado medicina en la Universidad de Gotinga, y tras doctorarse en 1866 estudió química en Berlín con Rudolf Virchow (1821-1902), entre otros. En los primeros años de su carrera como médico castrense de Wollenstein después de la guerra franco-prusiana, Koch adquirió fama gracias a un estudio sobre la transmisión del ántrax. En 1880, fue nombrado miembro de la Oficina Imperial de Salud, en Berlín (Brock, 1988), donde siguió trabajando sobre el desarrollo de nuevos métodos para realizar medios de cultivo puros de bacterias, incluida la placa de Petri, creada por su colega Richard Julius Petri (1852-1921). Koch fue conocido especialmente por sus famosos cuatro postulados, en los que expuso los procedimientos experimentales para establecer un vínculo entre un microorganismo concreto y una enfermedad concreta: (1) se podía descubrir el organismo en cualquier caso de la enfermedad, (2) una

vez extraído del cuerpo, el germen podía crecer en un cultivo puro y mantenerse durante varias generaciones microbianas, (3) la enfermedad podía reproducirse al inocular un cultivo puro en animales experimentales sanos y (4) era posible recuperar el organismo del animal inoculado y cultivarlo de nuevo.

Al principio, los postulados fueron propuestos en un trabajo de 1879 sobre etiología (causa) de las enfermedades infecciosas y formalizados en 1882. Ese mismo año, Koch también hizo público un importante avance ante la Sociedad Fisiológica de Berlín: la identificación del bacilo *Mycobacterium tuberculosis* como causante de la tuberculosis, una de las enfermedades más mortíferas de la época. En 1883, Koch formó parte de la misión alemana enviada a Egipto a investigar un brote de cólera. Allí logró identificar el «vibrio» (un tipo de bacteria) que provocaba la enfermedad y trajo consigo muestras puras a Berlín para estudiarlas. En 1885, fue nombrado profesor de higiene de la Universidad de Berlín y director de su recién creado Instituto de Higiene. Durante las décadas de 1880 y 1890, Koch y sus alumnos del prestigioso Instituto de Enfermedades Infecciosas de Berlín (del que él llegó a ser director en 1891) se dedicaron a identificar los organismos responsables de una serie de enfermedades mortales del siglo XIX, entre las que se contaba la difteria, la fiebre tifoidea y la neumonía (Brock, 1988). Sin embargo, no todo el mundo estaba convencido. De hecho, para poner de manifiesto su desdén hacia la idea de que la enfermedad podía deberse a organismos invisibles, un médico alemán se bebió un frasco con microbios del cólera que Koch le había enviado (Porter, 1997). De todas formas sobrevivió, seguramente porque la acidez de su estómago era lo bastante elevada para neutralizar los microbios. Koch realizó varios intentos de hallar maneras de curar la tuberculosis basándose en sus descubrimientos. No obstante, pese a sus ambiciosas y optimistas afirmaciones, los remedios resultaron ser en gran parte ineficaces. En 1905, recibió el premio Nobel de Fisiología y Medicina.

Avances importantes como los de Pasteur o Koch, que parecían tener utilidades terapéuticas inmediatas y tangibles para enfermedades incurables hasta la fecha, hicieron mucho en favor de la medicina de laboratorio. Como hemos visto, sin embargo, incluso en esos casos la

aceptación de las ventajas ineludibles de la ciencia experimental para la medicina no fue ni mucho menos automática. Para amplios sectores de la población del siglo XIX, incluidos muchos médicos, la vivisección era un escollo importante. Durante todo el siglo, diversos defensores de la medicina científica insistieron en que los experimentos con animales vivos eran un elemento esencial de su actividad. Por ejemplo, Claude Bernard sostenía que era preciso mantener con vida a los animales experimentales durante el ensayo para garantizar que se controlaba como es debido todo el proceso de la enfermedad. Según los contrarios a la idea, no sólo causar dolor a otras criaturas era moralmente repugnante sino que, si los animales sufrían un dolor extremo, sus respuestas a estímulos concretos no procuraban ningún conocimiento seguro sobre las posibles reacciones en circunstancias normales. Las campañas antivivisección fueron especialmente destacadas en Gran Bretaña. Tras un escándalo producido en la reunión de 1874 de la Asociación Médica Británica, cuando un psiquiatra francés llevó a cabo experimentos públicos con dos perros no anestesiados, se convocó una Comisión Real para analizar la situación. El resultado fue la Ley sobre Crueldad contra los Animales de 1876, que prohibía la experimentación animal sin autorización (French, 1975). A pesar de ese trasfondo de malestar y desacuerdo público, a principios del siglo XX cada vez fue más aceptada la idea de que la ciencia de laboratorio era la clave del progreso médico (Bynum, 1994).

La revolución de los antibióticos

El nombre de sir Alexander Fleming es seguramente uno de los más conocidos de la historia de la medicina. El relato del descubrimiento accidental de la penicilina en su laboratorio del St. Mary's Hospital de Londres se cita a menudo como un momento simbólico de la relación entre la ciencia y la medicina: de repente, el científico de bata blanca Fleming hizo, sin proponérselo, un descubrimiento que cambió la fisonomía de la medicina moderna. Hay mucho más, naturalmente (MacFarlane, 1984). Ya hemos visto que incluso el espacio en el que trabajaba Fleming —el laboratorio de un hospital— no surgió por ca-

sualidad. La existencia de espacios como ése era el resultado final de muchas décadas de duro trabajo y esfuerzo persuasivo de partidarios de la medicina científica. Incluso dando por hecha la existencia de laboratorios de hospital e investigadores como Fleming preparados para trabajar en ellos, hubo que trabajar mucho para transformar una única observación de un fenómeno curioso en un fármaco eficaz. Para producir penicilina y los medicamentos que la siguieron en cantidades útiles, la medicina científica tuvo que convertirse en una actividad de fabricación en serie a escala industrial. En el siglo XX, las empresas farmacéuticas protagonizaron uno de los éxitos más sonados en la ciencia y la industria; tuvieron mucho que ver en que la investigación médica dejara de ser una actividad a una escala relativamente pequeña y se transformara en una industria multimillonaria con cientos de miles de empleados.

A finales del siglo XIX, cada vez había más lazos entre los investigadores médicos que buscaban remedios farmacológicos y las empresas químicas. Paul Ehrlich (1854-1951), director desde 1899 del Instituto Real Prusiano para la Terapia Experimental, mantenía estrechas relaciones con las industrias químicas alemanas. Ésa fue una de las razones por las que usó tintes químicos (productos de esas industrias) en los tratamientos. Igual que los tintes parecían unirse sólo a determinados tejidos, también podrían crearse fármacos que atacaran a microbios específicos. Uno de los primeros resultados de esas investigaciones fue el salvarsán, un compuesto de arsénico que podía utilizarse para tratar la sífilis. Otro investigador alemán, Gerhard Domagk (1895-1964), director de investigaciones de I. G. Farberindustrie (otro fabricantes de tintes), llevó a cabo desde 1927 estudios que desembocaron en la identificación de la sulfonamida, que servía para curar infecciones de estreptococos. Basándose en esas investigaciones, en la década de 1930 diversas empresas farmacéuticas ya estaban fabricando la nueva generación de sulfamidas. Para otros científicos, no obstante, lo que podían lograr esas terapias químicas tenía un límite. Los trabajos de Pasteur y Koch en bacteriología habían demostrado que diversos agentes biológicos, y no simplemente químicos, podían constituir los remedios más eficaces. Lo que hacía falta era un modo de identificar los denominados antibióticos: sustancias de origen biológico que ele-

gían como diana los microbios causantes de enfermedades concretas. Ése fue el planteamiento que Alexander Fleming consideró más prometedor, sobre todo desde que conoció las investigaciones de Frederick Twort (1877-1950) y Felix d'Hérelle (1873-1949), que sugerían la existencia de esos organismos devoradores de bacterias.

Según la leyenda popular, Fleming descubrió la penicilina por casualidad en agosto de 1828. Había estado trabajando en su laboratorio con estafilococos, bacteria responsable de varias afecciones, entre ellas la septicemia y la neumonía. A su regreso de vacaciones, descubrió que un moho había destruido un cultivo de estafilococos que él había dejado creciendo en una placa de Petri. Fleming de inmediato prosiguió con la tarea, identificó el moho como la penicilina, y confirmó que tenía un efecto importante en un amplio abanico de tipos bacterianos sin afectar a las funciones de los leucocitos. Al año siguente publicó sus conclusiones en *British Journal of Experimental Pathology* (MacFarlane, 1984). En realidad, como es lógico, las cosas fueron algo más complejas. Fleming llevaba varios años trabajando en investigaciones afines. Concretamente había identificado un enzima (lisozima), presente en las lágrimas humanas, que parecía atacar a ciertos microbios. Por tanto, ya creía que los antibióticos, más que las sustancias químicas, eran la clave para combatir las enfermedades. La penicilina, pese a su éxito con determinadas clases de bacterias denominadas gram-positivas, no ejercía efecto alguno en las gram-negativas. También resultaba difícil fabricarla en grandes cantidades, y era relativamente inestable. Como consecuencia de ello, la mayoría de los investigadores tenían la impresión de que el descubrimiento de Fleming, aunque interesante, tenía pocas probabilidades de traducirse en ventajas clínicas significativas. El propio Fleming no hizo ningún esfuerzo por desarrollar su hallazgo; y durante los diez años siguientes nadie hizo nada.

Sin embargo, en 1938, el bioquímico Ernst Chain (1906-1979) redescubrió el trabajo de Fleming durante sus propias investigaciones sobre agentes antibacterianos. Él y Howard Florey (1906-1979), de la Dunn School de Patología de la Universidad de Oxford, se propusieron reproducir los experimentos de Fleming y hacer crecer cantidades importantes del moho de la penicilina. Alcanzaron un éxito clínico, al

menos parcial, cuando trataron a un enfermo de septicemia con su reserva acumulada de penicilina, y aquél mejoró durante varios días hasta que se agotó el suministro. La muerte del paciente puso de relieve las dificultades que había para fabricar la sustancia en cantidades efectivas. Dado que la guerra absorbía los recursos de las empresas farmacéuticas británicas, el grupo de Oxford pidió ayuda a Estados Unidos para producir penicilina a nivel industrial. A principios de la década de 1940, las empresas farmacéuticas tanto americanas como británicas poseían medios perfeccionados para fabricarla en grandes cantidades. En 1945, Fleming, Chain y Florey recibieron el premio Nobel por el descubrimiento de la penicilina. El milagroso nuevo fármaco tuvo los mayores elogios por haber salvado muchas vidas aliadas durante el día D y la invasión de Europa en 1944. También puso de manifiesto que, para que esos medicamentos estuvieran a disposición del público en general, era esencial no sólo la investigación científica sino también la producción industrial a gran escala (fig. 19.4).

El éxito de la penicilina impulsó esfuerzos concertados para buscar otros antibióticos (Spink, 1978). En 1939, mientras trabajaba en el Hospital del Instituto Rockefeller de Nueva York, el bacteriólogo de origen francés René Dubos (1901-1982) consiguió aislar una sustancia cristalina —que denominó tirotricina— de un cultivo del organismo del estiércol *Bacillus brevis*. La tirotricina actuaba como un potente agente antibacteriano, eficaz contra una serie de bacterias gram-positivas. Tras el éxito de Dubos, el exiliado ruso Selman Waksman (1888-1973) empezó a estudiar las propiedades medicinales de los microbios del estiércol. En 1940, aisló el agente antibiótico conocido como actinomicina. A diferencia de sus predecesores, la actinomicina era efectiva contra ciertas bacterias gram-negativas, por ejemplo las responsables de enfermedades como la fiebre tifoidea, la disentería y el cólera. Sin embargo, era demasiado tóxica para ser utilizada en seres humanos. Cuatro años después, Waksman aisló el antibiótico estreptomicina, especialmente útil para tratar la tuberculosis; en 1952 recibió el premio Nobel de Medicina por sus trabajos sobre los antibióticos. En 1948, Benjamin M. Duggar (1872-1956), por entonces jubilado recientemente como profesor de fisiología de las plantas y botánica económica de la Universidad de Wisconsin, aisló la clorte-

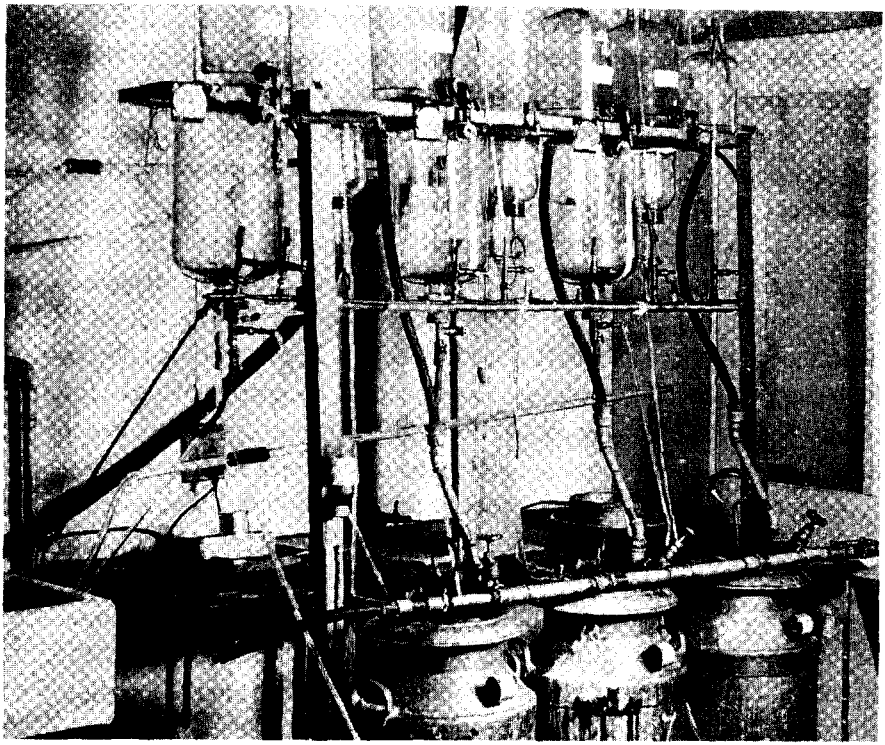


FIGURA 19.4. Primeros equipos de fabricación de penicilina (Wellcome Medical Library, Londres). Obsérvense las improvisadas lecheras.

traciclina del *Streptomyces aureofaciens*. La clortetraciclina, conocida también como aureomicina, fue el primer antibiótico del grupo conocido como tetraciclinas y también el primero de amplio espectro. Era activo contra aproximadamente cincuenta organismos causantes de enfermedades. Los antibióticos parecían estar a punto de proporcionar a los médicos la panacea que les permitiría combatir una amplísima variedad de dolencias antes incurables.

Una característica notable de muchos pioneros de los antibióticos fue que su carrera tenía un pie en el mundo académico y otro en la industria. Las empresas farmacéuticas desempeñaron un papel crítico en la introducción de la penicilina (Weatherall, 1990): brindaron los recursos y los conocimientos gracias a los cuales fue factible su produc-

ción en grandes cantidades. La compañía farmacéutica americana Merck fue el primer fabricante comercial de penicilina. Uno de los colegas de Oxford de Howard Florey, Norman Heatley (1911), que había llegado a Estados Unidos a investigar las posibilidades para la producción comercial a gran escala, fue cedido a Merck para ayudarles a desarrollar el proceso. Selman Waksman también trabajó como asesor de Merck y envió a uno de sus alumnos, H. Boyd Woodruff, a ayudar en la producción de penicilina. Como cabía suponer, la empresa enseguida comenzó a fabricar comercialmente también la estreptomicina de Waksman. Duggar, el creador de la clortetraciclina, asesoró a los laboratorios Lederle, otra firma del sector. Esa clase de acuerdos, en virtud de los cuales los científicos académicos también trabajaban para empresas, fueron cada vez más comunes, pues las compañías farmacéuticas de la posguerra se dieron cuenta enseguida de las posibilidades lucrativas de la investigación médica sobre nuevos fármacos. Grandes firmas como Burroughs Wellcome acabaron manteniendo sus propios laboratorios, bien provistos y financiados, para llevar a cabo investigación. El resultado de todo ello fue la transformación de la medicina a medida que se invertían enormes recursos en la investigación médica y se obtenían sustancias nuevas y grandes beneficios.

No obstante, ya desde el principio de la revolución de los antibióticos algunos observadores advirtieron de que las posibilidades de los nuevos remedios milagrosos tenían límites. René Dubos fue uno de los primeros en señalar el peligro de desarrollar resistencia a los antibióticos. De hecho, con el tiempo Dubos dejó de investigar con antibióticos porque le preocupaba que su consumo indiscriminado provocara la aparición de cepas microbianas resistentes a los mismos. Ya en 1940, Ernst Chain y sus colegas de la Dunn School de Oxford habían identificado una cepa de la bacteria *Staphylococcus aureus* que no podía ser tratada con penicilina. Sería la primera de una larga lista. En la década de 1950, aparecieron más variedades de microbios que parecían ser resistentes a los antibióticos, y a finales del siglo XX se admitía como un problema médico creciente el hecho de que cada vez fueran más habituales las nuevas cepas de «superbacterias» resistentes a todos los antibióticos conocidos. Crecía el miedo a que la revolución de los antibióticos resultara ser una anomalía afortunada pero efímera

en vez de un logro permanente de la historia de la medicina. De cualquier modo, algunos aspectos institucionales de la revolución de los antibióticos parecen tener más capacidad de adaptación. En la segunda mitad del siglo XX, el vínculo entre medicina y ciencia (y gran negocio, en realidad) parece haberse vuelto inextricable.

Medicina física

La medicina no sólo debe a la ciencia los fármacos, sino también importantes aportaciones en el campo de los equipos y materiales. Este fenómeno es asimismo bastante reciente. Muchos médicos del siglo XIX se sentían francamente incómodos ante la perspectiva de introducir la tecnología en la medicina. Les preocupaba que los instrumentos se instalaran entre ellos y sus pacientes. Según esa óptica, la destreza de un médico se basaba en el carácter práctico de su relación con aquellos a quienes atendía. Incluso la introducción del estetoscopio por parte del francés René Theophile Hyacinthe Laennec (1781-1826) encontró por ese motivo cierta resistencia. No obstante, en algunos ámbitos se pensaba que las nuevas tecnologías eran la clave del progreso terapéutico. A partir de mediados del siglo XVIII, para muchos entusiastas las máquinas eléctricas y otros utensilios supondrían una revolución en la actividad curativa. A mediados del siglo XIX, empezaban a ser de uso común instrumentos electromédicos como baterías, bobinas de inducción, generadores electromagnéticos o fajas eléctricas. En la Francia del siglo XIX, enseguida se aceptó la electroterapia como una forma respetable de medicina. En Gran Bretaña, la aceptación tardó más en llegar. Para muchos médicos, cualquier tipo de electroterapia era poco más que lo que ejercían los curanderos. Sin embargo, a finales del siglo, en los hospitales grandes eran relativamente habituales los departamentos eléctricos. Pese a la resistencia en curso, cada vez más médicos reconocían que la tecnología podía ser una incorporación valiosa a su arsenal de recursos.

Fue en esos departamentos eléctricos de los hospitales donde se crearon algunas de las tecnologías médicas clave del siglo XX. El 8 de noviembre de 1895, el físico alemán Karl Röntgen (1845-1923) hizo

un descubrimiento sorprendente. Röentgen, profesor de física en Wurtzburg desde 1895 que tenía gran interés en los rayos catódicos —el extraño resplandor emitido cuando una corriente eléctrica de alto voltaje atravesaba un tubo de vidrio cerrado herméticamente—, observó que una pantalla próxima cubierta de platino-cianuro de bario brillaba durante el experimento. Era como si del tubo saliera una especie de rayo invisible que afectara a la pantalla. En trabajos posteriores se determinó que los rayos penetraban en una amplia variedad de sustancias (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). A la larga, Röntgen intentó incluso —con bastante éxito— valerse de los rayos para tomar una fotografía del interior de la mano de su esposa. Hizo públicos sus resultados en un informe titulado «Un nuevo tipo de rayo», presentado ante la Sociedad Físico-Médica de Wurtzburg el 28 de diciembre de 1895 y publicado poco después en *Sitzungs-Berichte der Physikalisch-medicinischen Gesellschaft zu Wurzburg*. La noticia pronto fue recogida por la prensa popular y difundida en todo el mundo. Rápidamente se reconocieron las posibilidades diagnósticas de los nuevos rayos X para la medicina. Si se podían utilizar para tomar fotos del interior de los seres vivos, se podrían usar también para identificar fracturas óseas o la presencia de masas sólidas dentro del cuerpo.

Seguramente la primera fotografía de rayos X con un fin explícitamente diagnóstico la tomó en enero de 1896 A. A. Campbell Swinton (1863-1930), instalador eléctrico que pronto se estableció como asesor de rayos X de la profesión médica y creó en Victoria Street, Londres, el primer laboratorio británico de rayos X. En febrero de 1896, John Cox, profesor de física en la Universidad McGill, Canadá, se valió de los rayos X para ayudar a extraer una bala de la pierna de un hombre herido. En el espacio de pocos años, un equipo de rayos X llegó a ser algo normal en la tecnología hospitalaria como elemento integrante de los departamentos eléctricos ya existentes. Ahí es donde permanecieron los rayos X hasta que, en las décadas de 1920 y 1930, la electricidad empezó a quedar desfasada como forma de terapia (Burrows, 1986). Los rayos X se usaban con fines no sólo diagnósticos sino también terapéuticos. Los médicos pronto comenzaron a utilizarlos para tratar diversas enfermedades, como afecciones cutáneas, cánceres o la tuberculosis. El primer profesional sistemático del trata-

miento con rayos X fue Leopold Freund (1868-1943), de Viena, que en diciembre de 1896 los utilizó por primera vez cuando intervino quirúrgicamente a una niña de cinco años para extirparle un lunar peludo de la espalda. Al principio no se creía que ese tratamiento comportara ninguna clase de riesgo. Sin embargo, no tardaron mucho en producirse lesiones e incluso muertes entre médicos y pacientes, con lo que se evidenció que la tecnología de rayos X era muy peligrosa si se aplicaba sin las debidas precauciones. En todo caso, durante la segunda guerra mundial esa técnica ya estaba definitivamente implantada (fig. 19.5).

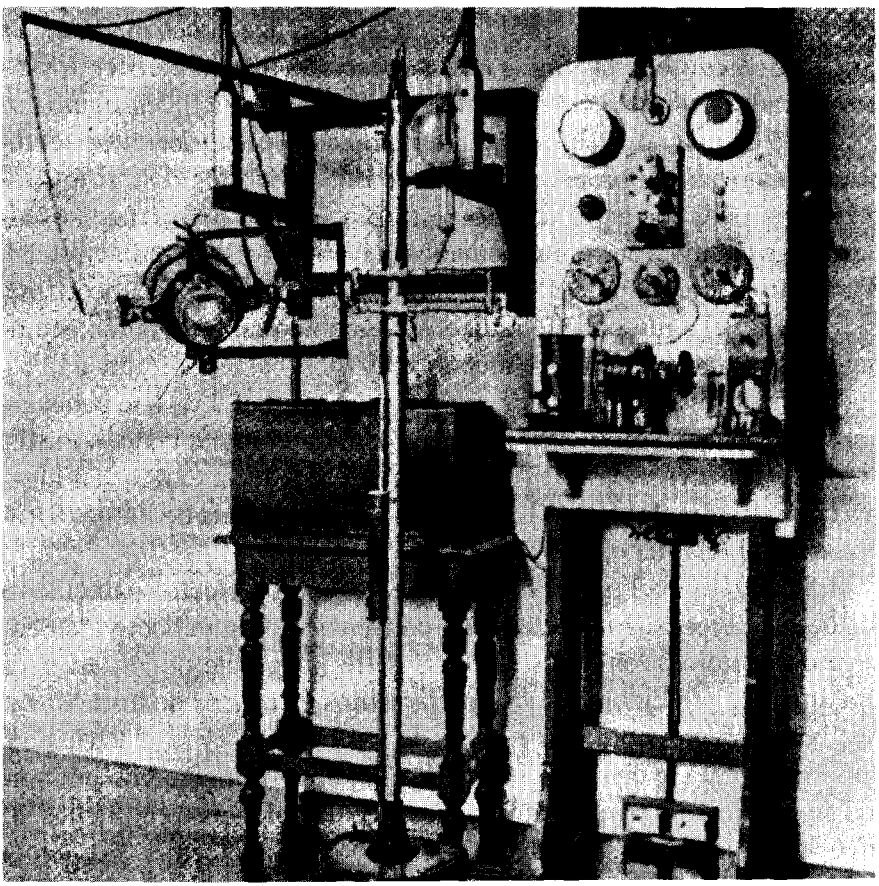


FIGURA 19.5. Aparato de rayos X de principios del siglo XX (Wellcome Medical Library, Londres).

El descubrimiento de la radiactividad a finales del siglo xx fue otro avance de la física rápidamente aprovechado para usos médicos. En 1896, el físico francés Henri Becquerel (1852-1908) observó que el uranio emitía una especie de rayos energéticos. Como consecuencia de ello, Maria Sklodowska (1867-1934) —más adelante conocida como Marie Curie—, polaca que estudiaba en Francia, escogió ese tema para su tesis doctoral. Junto con su esposo y colega físico Pierre Curie (1859-1906), llevó a cabo exhaustivos estudios sobre la nueva radiación y en 1898 anunció el descubrimiento de un nuevo elemento radiactivo: el radio (véase cap. 11, «La física del siglo xx»). Igual que pasó con los rayos X, pronto se hallaron aplicaciones médicas. Ya en 1904, en ciertos ensayos se había observado que, al parecer, los rayos de radio destruían células enfermas. La radioterapia enseguida se convirtió en una novedad. Alexander Graham Bell, el inventor del teléfono, sugirió que un pequeño vial de radio introducido quirúrgicamente en medio de un cáncer, lo destruiría. Profesionales médicos alternativos acogieron entusiasmados el radio y la radiactividad. Alcanzaron gran popularidad las fajas radiactivas, la pasta dentífrica radiactiva y el agua potable radiactiva —comercializada como Sol líquido—. También tuvieron mucho éxito los balnearios radiactivos, pues había cuevas y minas con mucha radiactividad. Los que padecían «artritis, sinusitis, migrañas, eczemas, asma, fiebre del heno, soriasis, alergias, diabetes y otras dolencias» eran invitados a curarse en lugares como la Mina de Salud La Viuda Alegre o la Mina de Salud el Radón del Sol (Caufield, 1989).

La radiactividad parecía producir en el cuerpo efectos parecidos a los de los rayos X. En la medicina convencional, la radiactividad enseguida se unió a los rayos X como parte integrante de los diversos tratamientos ofrecidos en los departamentos eléctricos de los hospitales. Nuevamente, como en el caso de los rayos X (y la electricidad, aproximadamente una década antes), el radio se utilizó como una forma de tratamiento para un amplio abanico de dolencias, entre ellas las afecciones cardíacas, los cánceres, la impotencia, etcétera. Por lo común, los primeros tratamientos consistían en sujetar recipientes planos de radio a la zona corporal afectada, poner inyecciones de cloruro de radio para llegar a lesiones profundas, o insertar pequeñas cápsulas

en cavidades del cuerpo o directamente en tejidos enfermos. A los médicos y otros profesionales les preocupaba cada vez más que la radiactividad pudiera suponer un riesgo para la salud. En 1928, El Comité Internacional sobre Protección contra los Rayos X y el Radio recomendó que el radio estuviera bien protegido, se manipulara con fórceps y se guardara en una caja fuerte de plomo. En 1934, el Comité Asesor de Estados Unidos sobre Protección contra los Rayos X y el Radio aconsejó que se fijaran límites para garantizar una exposición segura a la radiactividad. Durante todo ese período, el radio y otras sustancias radiactivas se utilizaron rutinariamente en medicina. Aunque había una conciencia creciente de los posibles riesgos para la salud, se tenía también la percepción generalizada de que las cantidades usadas eran demasiado pequeñas para provocar ninguna lesión permanente. Durante la segunda mitad del siglo, se crearon tecnologías cada vez más sofisticadas para dirigir la radiación de manera precisa a zonas concretas del cuerpo y regular las dosis.

En las décadas finales del siglo XX, los profesionales médicos aprovecharon los adelantos en física nuclear para disponer de varias maneras de observar el interior del cuerpo humano (Kevles, 1997). En 1972, el ingeniero británico Godfrey Hounsfield (1919) creó la tomografía computerizada (TC) en los Laboratorios EMI. Los escáneres de TC usaban señales de rayos X para construir imágenes del interior del cuerpo en corte transversal. Hacia 1974, entraron en funcionamiento los escáneres clínicos, si bien no fueron habituales hasta la década de 1980. Por lo general, los primeros escáneres sólo captaban imágenes de la cabeza, pero posteriormente se idearon modelos que las tomaban de todo el cuerpo. En 1979, Hounsfield recibió el premio Nobel por su invento. Otra técnica que vio su origen en la década de 1970 fue la RM (resonancia magnética). Al principio, fue desarrollada por Raymond Damadian (1936), del Centro Médico Downstate de Nueva York, que se valió del hecho de que, cuando se exponen a un campo magnético, diferentes núcleos atómicos emiten ondas de radio de frecuencias previsibles. Damadian observó que las células tumorales despedían señales diferentes de las de los tejidos sanos, lo que utilizó como base de una nueva técnica para identificar cánceres. En 1977, Damadian y sus colegas realizaron el primer escáner de RM del cuerpo humano. En

los escáneres de TC y de RM, junto con otras técnicas como TEP (tomografía de emisión de positrones), fue crucial el desarrollo de ordenadores potentes capaces de procesar información de manera rápida y fiable para generar imágenes útiles.

Lo que el estetoscopio de Laennec de principios del siglo XIX y los escáneres de TC de Hounsfield de finales del XX tenían en común era que proporcionaban soluciones tecnológicas al problema de mirar dentro del cuerpo humano de forma no invasiva. Tradicionalmente, los médicos se valían de sus sentidos para imaginar lo que no veían; escuchaban los sonidos del cuerpo; manipulaban los miembros y apretaban la carne con el fin de encontrar huesos rotos o hinchazones o contusiones internas. Sólo después de la muerte podían mirar literalmente dentro para comprobar si sus deducciones habían sido atinadas. Los rayos X y las posteriores tecnologías de exploración controladas por ordenador les permitieron observar la maquinaria interna sin matar primero al enfermo. Asimismo, lo que las terapias de rayos X y radiación ofrecían a médicos y pacientes era un modo de abordar el interior del cuerpo sin recurrir al bisturí del cirujano. Si la revolución de los antibióticos situó a las empresas farmacéuticas en el centro de la investigación médica, los avances en medicina física convirtieron los diagnósticos en una importante área de interés para las compañías electrónicas y de ingeniería eléctrica. A finales del siglo XIX, la curiosidad de los ingenieros eléctricos por la electroterapia iba en aumento. A finales del siglo XX, empresas como IBM, Siemens y Toshiba se hallaban en la vanguardia de la investigación médica.

Conclusiones

Como hemos señalado al principio de este capítulo, actualmente parece muy difícil separar ciencia y medicina. Si en una encuesta se pidiera un ejemplo concreto de cómo la ciencia ha beneficiado a la humanidad de forma perceptible, muchas personas pensarían en la medicina moderna. Como ilustran las páginas anteriores, esta situación aparentemente obvia no se produjo de manera inevitable o sin esfuerzo por parte de grupos e individuos comprometidos con nuevas perspectivas

de cómo debía mejorar la práctica de la medicina. Como elemento de ese proceso, la identidad cultural de los propios médicos experimentó varias transformaciones. Los casos de Pasteur y Koch ponen de manifiesto lo importante que fue la adquisición de bases institucionales seguras. En los siglos XVIII, XIX y XX, los profesionales se formaban, y practicaban la medicina, de maneras muy distintas. A un caballero del siglo XVIII seguramente le costaría reconocer al profesional actual de bata blanca como un colega del mismo oficio. En el transcurso de ese proceso, las interacciones de los médicos con sus pacientes y los diferentes tratamientos ofrecidos experimentaron cambios espectaculares. Durante el siglo XX, la medicina científica acabó ligada al mundo económico y al Estado de una forma que tiempo atrás habría sido inconcebible (Porter, 1999). En la década de 1930, en Gran Bretaña, los primeros investigadores de la penicilina todavía no se animaban a patentar los procedimientos que creaban porque eso habría sido «codicia».

El contexto comercial moderno de la medicina científica sigue siendo objeto de críticas. A las empresas farmacéuticas y de otras clases, y también a sus investigadores, se les acusa a menudo de anteponer los intereses mercantiles a las cuestiones terapéuticas. Por lo general, la industria farmacéutica responde señalando que sin el afán de lucro no habría ningún incentivo para invertir en la creación de nuevos fármacos. Otra crítica dirigida frecuentemente a los médicos actuales es que, al adoptar una perspectiva exclusivamente científica, han «medicalizado» el cuerpo humano. La obra de Michel Foucault sobre el «nacimiento de la clínica» puede, al menos en parte, interpretarse como procedente de esta tradición crítica. La preocupación expresada aquí es que, al tratar el cuerpo como un objeto —igual que un científico trataría un aparato experimental—, de alguna manera los médicos lo están deshumanizando. Desde una óptica histórica, esa clase de debates vienen a ser los equivalentes modernos de las discusiones —de épocas pasadas— relativas a la práctica adecuada de la medicina y al lugar cultural apropiado de sus practicantes. Los viejos debates sobre la relación entre ciencia y medicina se articulaban acerca de cómo el uso de herramientas científicas podía tener un impacto en la imagen cultural del profesional médico así como en torno al grado en que la

ciencia podía procurar ventajas terapéuticas tangibles. Por tanto, el análisis histórico de la relación ofrece la posibilidad de ver las preocupaciones contemporáneas con cierta perspectiva.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Brock, T. D., *Robert Koch: A Life in Medicine and Bacteriology*, University of Wisconsin Press, Madison, 1988.

Brock, William H., *Justus von Liebig: The Chemical Gatekeeper*, Cambridge University Press, Cambridge, 1977.

Burrows, E. H., *Pioneers and Early Years: A History of British Radiology*, Colophon, Alderney, 1986.

Bynum, William, *Science and the Practice of Medicine in the Nineteenth Century*, Cambridge University Press, Cambridge, 1994.

Caufield, C., *Multiple Exposures: Chronicles of the Radiation Age*, Penguin, Harmondsworth, 1989.

Foucault, Michel, *The Birth of the Clinic*, Penguin, Hardmondsworth, 1979 (hay trad. cast.: *El nacimiento de la clínica*, Siglo XXI Editores, Madrid, 1999).

French, Roger D., *Antivivisection and Medical Science in Victorian Society*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 1975.

Geison, Gerald L., *The Private Science of Louis Pasteur*, Princeton University Press, Princeton, NJ, 1995.

Hall, T. S., *History of General Physiology*, University of Chicago Press, Chicago, 1975, 2 vols.

Holmes, F. L., *Claude Bernard and Animal Chemistry: The Emergence of a Scientist*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1974.

Jewson, N., «The Disappearance of the Sick Man from Medical Cosmology», *Sociology*, n.° 10 (1976), pp. 225-244.

Kevles, B., *Naked to the Bone: Medical Imaging in the Twentieth Century*, Rutgers University Press, Brunswick, Nueva Jersey, 1996.

Latour, Bruno, *The Pasteurization of France*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1988.

Lawrence, Christopher, «Incommunicable Knowledge», *Journal of Contemporary History*, n.° 20 (1985), pp. 503-520.

—, *Medicine and the Making of Modern Britain, 1700-1920*, Routledge, Londres, 1994.

MacFarlane, G., *Alexander Fleming: The Man and the Myth*, Chatto & Windus, Londres, 1984.

Peterson, M. J., *The Medical Profession in Mid-Victorian London*, University of California Press, Berkeley, 1978.

Porter, Dorothy, *Health, Civilization and the State: A History of Public Health from Ancient to Modern Times*, Routledge, Londres, 1999.

Porter, Roy, *The Greatest Benefit to Mankind*, Harper Collins, Londres, 1997.

Porter, Roy y D. Porter (eds.), *Patient's Progress: Doctors and Doctoring in Eighteenth-Century England*, Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

Shapin, S., «Descartes the Doctor: Rationalism and its Therapies», *British Journal for the History of Science*, n.º 33 (2000), pp. 131-154.

Spink, Wesley W., *Infectious Diseases: Prevention and Treatment in the Nineteenth and Twentieth Centuries*, University of Minnesota Press, Minneapolis, 1978.

Waddington, I., *The Medical Profession in the Industrial Revolution*, Gill & Macmillan, Dublín, 1984.

Weatherall, M., *In Search of a Cure: A History of the Pharmaceutical Industry*, Oxford University Press, Oxford, 1990.

Wilson, A., *The Making of Man-Midwifery*, UCL Press, Londres, 1995.

20

Ciencia y guerra

Durante la revolución científica del siglo XVII, Francis Bacon y otros abogaban por las ventajas prácticas que resultarían de la aplicación de los nuevos conocimientos sobre la naturaleza. Esas posturas solían centrarse en los beneficios para la industria, la medicina y ciertas aplicaciones especializadas, como las técnicas de navegación. Pero desde el principio fue evidente que la misma regla sería válida para la guerra y al arte de la destrucción, que podrían mejorar igualmente gracias a las nuevas ciencias. Asimismo, se utilizaron las matemáticas con fines prácticos en el diseño de fortificaciones y la artillería sacó especial provecho de un mejor conocimiento teórico del movimiento de proyectiles. En el siglo XIX, la relación entre la ciencia y la industria ya comenzaba a incluir la creación y fabricación de mejores fusiles y explosivos, además de ideas para armas totalmente nuevas como el gas venenoso. Esas tendencias se desarrollaron en los dos bandos enfrentados en la primera guerra mundial, aunque al principio la interacción de la ciencia y los militares no fue del todo satisfactoria por la falta de comunicación directa. Esos obstáculos se superaron en gran parte durante la segunda guerra mundial, cuando inventos nuevos como el sonar (para detectar submarinos) y el radar desempeñaron papeles decisivos. La aplicación de un modo científico de pensar a problemas prácticos complejos desembocó en la investigación sobre operaciones militares. Pero lo más obvio para las generaciones siguientes fue que de esa guerra nació una nueva arma con un poder destructivo

tan grande que amenazaba potencialmente los fundamentos mismos de la civilización: la bomba atómica. El Proyecto Manhattan, del que surgió la bomba, inició su andadura trabajando sobre innovaciones físicas teóricas, pero acabó confeccionando el primer programa real de investigación científica-industrial-militar a gran escala. Siguiendo con el diseño de armas aún mayores basadas en la fusión nuclear (la bomba H) durante la guerra fría, ese ámbito de interacción empezó a determinar el entorno en el que actuaría una parte significativa de la comunidad científica.

Algunos científicos se sienten muy incómodos con la situación actual. Saben que, para mucha gente, la relación entre la ciencia y el complejo militar-industrial revela que la primera constituye como tal una influencia perniciosa para la sociedad. Una vía de escape es el viejo argumento de que la ciencia pura genera un conocimiento imparcial de la naturaleza —es sólo la ciencia aplicada la que puede originar consecuencias perjudiciales, y sólo cuando las emergencias nacionales centran los esfuerzos en los usos militares más que en los pacíficos—. Sin embargo, los historiadores modernos se muestran escépticos con respecto a esa separación entre la ciencia y sus aplicaciones. Sabemos que, durante los últimos siglos, muy pocos científicos han trabajado aislados totalmente del mundo de la ciencia aplicada, sobre todo a medida que hacía falta un equipo técnico cada vez más complejo para verificar las hipótesis derivadas del nivel teórico. Muchos de los físicos más innovadores del siglo XIX, por ejemplo, ya se interesaban por las cuestiones prácticas suscitadas por los nuevos avances industriales (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»). Tan pronto se estableció ese vínculo, se hizo inevitable la implicación de los científicos en el desarrollo de la tecnología militar.

En algunos casos, la división entre tecnologías de paz y de guerra es artificial. A finales del siglo XVIII, las mejores técnicas de navegación beneficiaban a todos los marineros, pero sobre todo a las armadas europeas —además, los pueblos nativos de muchas partes del mundo no consideraban las incursiones de comerciantes y colonialistas como acciones pacíficas—. En el mundo moderno, el radar aporta seguridad a la aviación civil, si bien en un principio se aplicó para detectar aviones militares. Ciertos medicamentos nuevos como la penicilina o el

insecticida DDT se crearon inicialmente bajo la presión de la guerra. Las tecnologías desarrolladas para detectar submarinos nucleares proporcionaron información sobre el lecho marino, que fue decisiva para la formulación de la teoría actual de la tectónica de placas (véase cap. 10, «La deriva continental»). Ha habido períodos en que los científicos han rechazado abiertamente el llamamiento a hacer trabajo aplicado para los militares, pero cuando su país o su sistema de vida parecen amenazados, cumplen con su deber patriótico como todo el mundo. Desde que la guerra fría marcó el comienzo de un estado casi permanente de ansiedad sobre la seguridad de las democracias occidentales, la posibilidad de apearse del tren del desarrollo militar parecía muy poco realista —aparte de que los científicos soviéticos respondían también con prontitud cuando su país estaba amenazado—. Los historiadores han de dar por sentado que, durante la mayor parte del siglo XX, se llevó a cabo una considerable cantidad de actividad científica en colaboración con los militares, por lo que deben analizar sus repercusiones en el funcionamiento de la ciencia.

Para simplificar la cuestión, en este capítulo nos centraremos principalmente en la aplicación directa de la ciencia a las tecnologías militares. Comenzaremos con los primeros pasos vacilantes para que la ciencia mejorase y a la larga diseñase armas totalmente nuevas, lo que culminaría en las relaciones no del todo fluidas con las autoridades militares durante la primera guerra mundial. En el período de entreguerras, se hicieron esfuerzos por intensificar esas conexiones incluso en la fase en que muchos esperaban que se pudiera evitar el enfrentamiento. Durante la segunda guerra mundial, los científicos empezaron a desempeñar un papel importante al aportar los fundamentos de tecnologías nuevas, como el sonar, el radar y los cohetes V-2, que colocaron los cimientos de posteriores programas para fabricar misiles teledirigidos. El proyecto de construcción de la bomba atómica ocupará una buena parte del capítulo, entre otras cosas porque incrementó la intensidad de la cooperación entre el gobierno, los militares, la industria y la comunidad científica. Pero el proyecto de la bomba también ayuda a centrar nuestra atención en los problemas morales afrontados por los científicos cuando se les pide que diseñen armas de destrucción masiva. Los aliados se apresuraron a tener la bomba sólo para

descubrir, una vez acabada la guerra, que sus temores de que la Alemania nazi desarrollara un arma similar eran infundados. Se ha dicho incluso que los científicos alemanes evitaron activamente realizar ciertos trabajos que podrían haber puesto la bomba en manos de Hitler. Después cayeron las bombas americanas sobre Hiroshima y Nagasaki, con lo que todo el mundo se percartó de los horrores que derivarían del uso generalizado de esas armas. Algunos científicos empezaron a manifestar dudas respecto a participar en la carrera armamentística que acompañó a la guerra fría contra la Unión Soviética, aunque otros estaban deseosos de ayudar a crear armas que, a su juicio, eran necesarias para proteger la democracia. Más inquietante aún era la posibilidad de que ahora los científicos estuvieran proponiendo decididamente nuevas armas para poder sacar provecho de los consiguientes fondos para la investigación. Ya estaban plenamente articulados los dilemas políticos y morales a los que siguen enfrentándose muchos científicos del mundo actual.

La guerra de los químicos

Se ha dicho que la primera guerra mundial fue la guerra de los químicos, y la segunda guerra mundial la de los físicos. Aunque es una simplificación excesiva, pone de relieve el hecho de que buena parte del esfuerzo científico realizado en aplicaciones militares entre 1914 y 1918 se dedicó a la producción de mejores explosivos y a la primera arma terrorista realmente nueva: el gas venenoso. De hecho, ningún bando hizo un uso efectivo de sus conocimientos científicos, y ninguna de las armas creadas tuvo un efecto decisivo en el resultado de la guerra. Pero al menos había quedado claro que el potencial de los usos militares de la ciencia era considerable. Los propios científicos habían estado dispuestos a ofrecer sus servicios cuando se producía una emergencia nacional, y algunas figuras señeras habían participado directamente en las investigaciones. No obstante, el *establishment* militar era reacio a seguir consejos de nadie, y durante la guerra se establecieron relaciones entre las dos comunidades sólo de manera gradual e imperfecta. Al final, quizá el legado más importante de la contienda

fue la creación de centros de investigación militar que llegarían a desempeñar un papel decisivo en posteriores conflictos (Hartcup, 1988).

Esos pasos vacilantes se dieron sobre una base que se había estado formando a lo largo del siglo anterior o incluso antes. Desde el siglo XVIII, los ejércitos habían incluido en su seno cuerpos de ingenieros, por lo que estaban habituados a las ciencias aplicadas —para lo que no estaban preparados era para iniciativas nuevas procedentes de la ciencia y la industria—. El gobierno revolucionario francés había ejecutado a Lavoisier porque éste había recaudado impuestos durante el antiguo Régimen, pero Francia pronto descubrió que, después de todo, necesitaba químicos que propusieran nuevos métodos para obtener salitre para la pólvora. A lo largo del siglo XIX se desarrollaron explosivos nuevos y más potentes, y algunos científicos llegaron a sugerir el uso del gas venenoso, que los militares rechazaron por indigno. Sin embargo, a finales de siglo la situación había empezado a cambiar. El inventor de la dinamita, Alfred Nobel, fue especialmente eficaz a la hora de unir la ciencia y la industria. En 1897, fundó un centro de investigación en Berlín, en cuyo consejo de administración incluyó a representantes de la fábrica de armamento Krupps. En Gran Bretaña, la guerra de los bóers en Sudáfrica puso de manifiesto preocupantes puntos débiles en los equipos militares, y en 1900 el Servicio de Material de Guerra creó un comité de explosivos dirigido por el eminente físico lord Raleigh y que contaba entre sus integrantes con el químico William Crookes, quien recomendó el uso del TNT como explosivo de alta potencia, aunque los británicos no lo adoptaron hasta el inicio de la primera guerra mundial. Rayleigh también presidía un comité asesor sobre aeronáutica para estudiar el uso militar del recién inventado avión.

Al margen de cuáles fueran los limitados preparativos realizados, cuando en 1914 estalló la guerra la mayoría de los países europeos tardaron mucho en comprender el potencial de la ciencia para ayudar a la tecnología militar a avanzar. Por ejemplo, sólo al año siguiente el gobierno británico creó un consejo asesor que pronto se transformó en el Departamento de Investigación Científica e Industrial bajo la dirección del físico J. J. Thomson. También se formaron equipos de científicos en el Almirantazgo y en el Ministerio de Municiones. Aun así, escritores populares como H. G. Wells seguían afirmando que se esta-

ban desperdiciando los conocimientos del país. En 1916, un grupo de sabios ilustres se valió de la ineficacia del manejo de la ciencia por los militares para solicitar una mayor preponderancia de la formación científica —con respecto a la ciencia, la mayoría de los políticos y oficiales militares eran, por decirlo así, totalmente ignorantes, de ahí que fueran incapaces de valorar sus posibilidades—. El gobierno francés fue algo más eficiente: creó el Directorio de Inventos de la Defensa, que estaba conectado con las universidades. En Alemania, el renombrado químico Fritz Haber (que había inventado la técnica de «fijación» del nitrógeno para fabricar fertilizantes y explosivos) puso su Instituto de Física y Electroquímica de Dahlem, Berlín, al servicio de los militares. Éstos pronto lo controlaron del todo, y en 1917 se convirtió en la Fundación Káiser Guillermo para la Ciencia y la Tecnología de la Guerra. En América, la fundación, en 1916, del Consejo Nacional de Investigaciones fue impulsada por la creciente posibilidad de que el país entrara en guerra.

¿Qué lograron esos diversos equipos de científicos? En algunos proyectos se hizo mucho, aunque rara vez sin dificultades debidas a las muy dispares actitudes de científicos, empresarios y militares. Los químicos trabajaban no sólo sobre nuevos explosivos sino también para obtener medios alternativos de fabricación por si escaseaba la materia prima. En Gran Bretaña, J. J. Thomson y otros se centraron en mejoras en la radio para ayudar a las comunicaciones militares. Un grupo del Consejo de Inventos e Investigaciones que incluía a Rayleigh, Ernest Rutherford y W. H. Bragg ayudó a desarrollar hidrófonos para detectar submarinos.

La iniciativa más llamativa fue, con mucho, el uso del gas, activamente promovido por Fritz Haber como arma del ejército alemán en cuanto quedó claro que la guerra convencional se había estancado en el frente occidental (Haber [1986] —estudio escrito por el hijo de Haber—). La Convención de La Haya prohibía el uso de proyectiles que contuvieran veneno, pero ahora Haber proponía utilizar cloro de bombonas que sería liberado cuando el viento soplara en la dirección adecuada para ser transportado hacia las trincheras enemigas. Con cierta reticencia, el ejército aceptó probar la idea. El propio instituto de Haber proporcionó los contactos con la industria para poner en marcha el

programa; la misión de transportar y manipular las bombonas corrió a cargo de un regimiento constituido por muchos científicos jóvenes que tras la guerra alcanzaron renombre. El 22 de abril de 1915 se soltaron ciento cincuenta toneladas de cloro en el saliente de Ypres, lo que provocó el pánico entre las tropas enemigas francesas (aunque pocas bajas mortales). Sin embargo, los alemanes ganaron poco terreno porque el ejército no estaba preparado para aprovecharse del avance. Los británicos y los franceses respondieron mucho más rápidamente de lo que se esperaba. En el resto de la guerra se produjeron una serie de episodios que incluyeron el uso de obuses de gas y la introducción de nuevas sustancias químicas como el gas mostaza. Ambos bandos idearon formas para protegerse, entre ellas distintas clases de máscaras creadas por equipos de químicos y fisiólogos.

Al final, fueron los aliados quienes hicieron un uso más coordinado de sus científicos —Haber siempre se quejaba de que, pese a su implicación directa en el ejército, los oficiales casi nunca le tomaron en serio—. Los británicos construyeron en Porton Down, cerca de Salisbury, unas instalaciones dedicadas a trabajar con armas químicas (y más adelante biológicas). Pero fue el Servicio Americano para la Guerra Química el que creó el programa científico más prolongado en esa área: en 1918 albergaba a más científicos con formación universitaria que todos los demás beligerantes juntos (Haber, 1986, p. 107). Los estudios sobre el gas venenoso continuaron, aunque en la siguiente guerra nadie lo utilizó. No obstante, en los años de entreguerras se elaboraron programas de los que surgieron armas que tendrían una influencia mucho mayor en el desenlace de la segunda guerra mundial.

La segunda guerra mundial

Aunque la mayoría de los científicos contratados para ayudar a los militares en la primera guerra mundial pronto regresaron a su trabajo civil, unos cuantos se quedaron de forma permanente para llevar a cabo investigaciones en tareas de defensa, sobre todo para la armada y las fuerzas aéreas. Ahora eran más los que hacían ciencia aplicada en la industria, tanto en la de armamento como en la aeronáutica. Durante

los años de entreguerras, muchos científicos académicos menospreciaban a sus colegas de la industria y se mostraban reacios a trabajar en la investigación militar. En Gran Bretaña aumentó la conciencia social durante la década de 1930, cuando un destacado grupo de científicos de izquierda comenzaron a criticar el grado en que los intereses militares determinaban la ciencia aplicada. De cualquier modo, los radicales eran conscientes de la creciente amenaza de la Alemania nazi, y cuando estalló la guerra también ellos se mostraron dispuestos a colaborar en las investigaciones. La amenaza de los bombardeos aéreos llegó a ser tan clara que el gobierno británico creó en 1934 el Comité para el Estudio Científico de la Defensa Aérea bajo la dirección de Henry Tizard —que iba a desempeñar un papel clave en el desarrollo del radar—. Pero no todo fue coser y cantar. El cristalógrafo marxista J. D. Bernal encabezó un movimiento crítico hacia los planes del gobierno para la defensa civil, y sólo después del inicio de la guerra llegó a tener alguna influencia política (Swann y Aprahamian, 1999).

Cuando los nazis llegaron al poder en Alemania, dedicaron recursos a varios proyectos de creación de armas nuevas, entre ellos el radar y los cohetes de largo alcance. Los aliados fueron advertidos de esos avances en el «informe de Oslo», un documento que, en 1939, H. F. Mayer, científico alemán que no simpatizaba con los nazis, hizo llegar secretamente a la embajada británica de Oslo. Pero, de hecho, los más ambiciosos programas alemanes tuvieron poco efecto: a Hitler le gustaba la nueva tecnología militar pero tenía poca idea sobre cómo utilizarla, y además en su régimen había diversas facciones enfrentadas que bloqueban a menudo las respectivas iniciativas. El año anterior al inicio de la guerra (1939) tuvo lugar en Gran Bretaña una intensificación de los programas científicos que preparó realmente el país para la guerra. En 1940, en América, Vannevar Bush, del Instituto Tecnológico de Massachusetts, convenció al presidente Roosevelt para que creara un comité nacional de investigaciones sobre la defensa que coordinaría planes específicos para la guerra (Zachary, 1999; más en general sobre la ciencia en la segunda guerra mundial, véase Hartcup [2000]; Johnson [1978]; Jones [1978]).

En los últimos años de la primera guerra mundial, varios científicos

franceses habían propuesto una técnica para detectar submarinos basada en la reflexión de ondas sonoras bajo el agua. Los británicos continuaron el programa, y aunque el sistema, conocido como asdic (más adelante, sonar), no entró en funcionamiento durante esa contienda, se desarrolló a lo largo de los años de entreguerras y estuvo a punto para la batalla del Atlántico de la segunda guerra mundial (Hackmann, 1984). F. A. Lindemann tenía tanta confianza en la eficacia del asdic que pronosticó el final del submarino como arma importante (Hartcup, 2000, pp. 64-65). Los acontecimientos demostrarían cuán equivocado estaba, pues incluso con el nuevo sistema de detección los buques de guerra británicos eran incapaces de proteger sus convoyes, y el país estuvo casi al borde del desastre. Para derrotar a los submarinos alemanes hizo falta un conjunto de nuevos avances en la guerra antisubmarina.

Quizá el área más importante de investigación científica aplicada fue el desarrollo del radar (Brown, 1999; Buderi, 1997; Price, 1977). Al principio de la guerra, tanto los británicos como los alemanes habían puesto en marcha sistemas de radar para la detección de aviones, si bien el de los primeros resultó más eficaz. Como hemos señalado antes, en 1934 los británicos habían creado un comité de investigaciones aeronáuticas, una de cuyas tareas principales fue idear un sistema para detectar los bombarderos. Científicos del Centro de Investigaciones de Radio demostraron que era factible captar, a distancias considerables, ondas de radio reflejadas en objetos sólidos como un avión (curiosamente, los primeros cálculos se hicieron para refutar la idea de un «rayo de la muerte» pensado para destruir el aparato). A finales de la década de 1930, se contrató a un gran número de físicos del Laboratorio Cavendish de Cambridge para que desarrollaran las bases de lo que acabó conociéndose como las estaciones de radar Chain Home. Las grandes torres instaladas en la costa meridional del país desempeñaron un papel esencial en la «batalla de Inglaterra», en 1940, cuando los aviones alemanes intentaron tomar el control del espacio aéreo británico como preludio de la invasión (fig. 20.1). El físico de Oxford F. A. Lindemann (más adelante lord Cherwell) alentó el trabajo con otros sistemas, entre ellos la detección de aviones mediante rayos infrarrojos. Más adelante, Lindemann, que llegó a ser asesor científico de Winston Churchill, discutió intensamente con Ti-

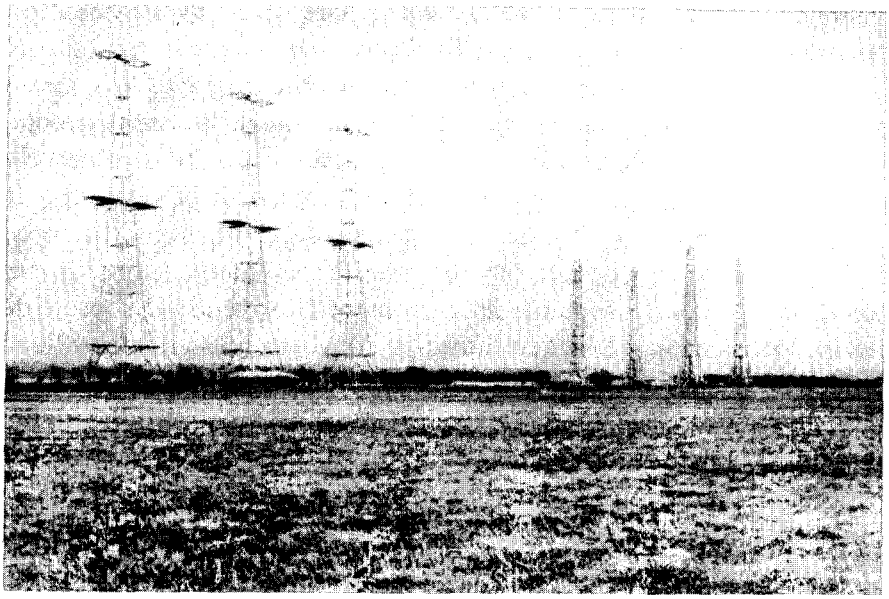


FIGURA 20.1. Estación de radar Chain Home, en la costa sur de Gran Bretaña, en 1940. Estas enormes torres eran capaces de detectar aviones alemanes que se dirigieran a Gran Bretaña desde la Francia ocupada con la suficiente antelación para que los cazas de la Royal Air Force pudieran interceptarlos.

zard sobre la prioridad que había que dar al radar en los primeros años de la guerra.

La armada y las fuerzas aéreas también querían un sistema de radar de alta precisión y corto alcance, lo que requería el uso de radio de longitud de onda corta (microondas). No hubo ningún sistema disponible para generar microondas con capacidad suficiente hasta que, en 1940, unos físicos británicos crearon el magnetrón de cavidad. En agosto de ese año, un equipo encabezado por Tizard hizo llegar a América un primer modelo, y pronto se estuvieron fabricando radares de microondas a ambos lados del Atlántico. Los usaban los cazas nocturnos para cercar a los bombarderos enemigos, pero también —más importante aún— los aviones patrulleros navales que buscaban submarinos (los cuales tenían que pasar parte del tiempo en la superficie

para hacer funcionar sus motores diesel). Así pues, el radar se sumó al sonar como arma clave en la batalla del Atlántico.

La batalla del Atlántico también brindó un ejemplo clásico de las ventajas de un enfoque científico de la gestión, cada vez más conocido como investigación sobre operaciones. El físico P. M. S. Blackett, que trabajó en diversas armas, incluidas las minas magnéticas, creó la Sección de Investigación sobre Operaciones del Mando Costero de la Royal Air Force y llevó a cabo un estudio sistemático sobre los factores que influían en la suerte de un convoy. Desoyendo el consejo de los expertos navales, Blackett introdujo convoyes más grandes y llegó a demostrar que, cuantas más unidades tenían, menor era la proporción de sus pérdidas, aparte de que ese mayor tamaño ayudó en gran medida a resolver los problemas de suministro. La investigación sobre operaciones también se aplicó satisfactoriamente al manejo de la ofensiva aérea contra Alemania. Al final de la guerra, se contrató a científicos de diversas procedencias entre otras cosas para asesorar sobre temas como la eficacia de los bombardeos o el mejor modo de utilizar las fuerzas disponibles en la invasión europea. Tampoco todos eran físicos: uno de los consejeros británicos más influyentes en las últimas etapas de la guerra y después de la misma fue el biólogo Solly Zuckerman (véase Peyton, 2001; Zuckerman, 1978, 1988).

Los alemanes se valieron de sus científicos para crear diversas armas nuevas, pero la confusión en la cadena de mando (junto con el propio temperamento inestable de Hitler) a menudo obstaculizaba su inserción. Los alemanes contaban con una buena red de radares, pero no con un sistema coordinado para transmitir información a sus pilotos. También desarrollaron el motor a reacción, análogamente a lo realizado por Frank Whittle en Gran Bretaña. En las últimas fases de la guerra, se prestó mucha atención a las armas denominadas V («armas de venganza»), de largo alcance. El V-1 era un avión no tripulado accionado por un motor a reacción por pulsaciones. Si nos atenemos a su futuro potencial, fue mucho más imaginativo el V-2, el primer cohete de largo alcance del mundo, creado por un equipo dirigido por el físico Werner von Braun (Neufeld, 1995). Contra Gran Bretaña, en el último año de la guerra, estaba resultando imparable, pero entonces ya era demasiado tarde para que su repercusión inclinara la balanza a fa-

vor de Alemania. Von Braun y su equipo habían resuelto un sinfín de problemas técnicos y deseaban proseguir con su trabajo —como la mayoría de los científicos de cohetes de la época, tenían los ojos puestos en la exploración espacial—. Al final de la guerra, Von Braun se entregó a los americanos y pronto estuvo dirigiendo su programa de producción de cohetes tanto con fines militares como para explorar el espacio. Los rusos también se llevaron a unos cuantos expertos alemanes a trabajar con los mismos objetivos.

La bomba atómica

Durante toda la guerra hubo una cuestión que obsesionó a los aliados: ¿habían empezado los alemanes a desarrollar una bomba basada en la energía liberada por elementos radiactivos (la bomba atómica)? La revolución de la física de principios del siglo XX había revelado la enorme capacidad encerrada en el átomo (véase cap. 11, «La física del siglo XX»). Aunque la mayoría de los científicos se mostraban escépticos al respecto, se oyeron ocasionales predicciones de que esa capacidad podría liberarse para dar origen a una bomba que destruiría una ciudad entera. El primer cálculo de que una bomba así era posible fue realizado en 1940 por físicos judíos que habían huido del régimen nazi de Alemania. Pero en el país aún quedaban físicos ilustres, especialmente Heisenberg, cuya lealtad nacional pudo haberle llevado a desarrollar una bomba en tiempo de guerra pese a estar en contra de Hitler y su política. Fue por el miedo a que Hitler pudiera hacerse con un arma así por lo que los aliados invirtieron recursos en lo que llegó a ser el Proyecto Manhattan; a diferencia de los V-2, la bomba atómica podía haber decantado la balanza en favor de Alemania incluso en los últimos momentos de la guerra. Pero la verdad es que los físicos alemanes no habían creado la bomba ni por asomo, y su único reactor nuclear estaba prácticamente inservible. Cuando Heisenberg y sus colegas fueron detenidos y después interrogados por los aliados, quedó claro que los primeros habían sobreestimado muchísimo la masa crítica necesaria para iniciar en el uranio una reacción en cadena y por tanto habían comunicado a los militares que era imposi-

ble fabricar la bomba. Desde entonces no ha cesado la controversia sobre si ese cálculo excesivo fue un simple error o una acción intencionada para que los nazis no aumentaran su poder destructor (Powers, 1993; Rose, 1998). *Copenhague*, obra teatral de Broadway de gran éxito, se basaba en una famosa confrontación entre Heisenberg y su mentor, el físico atómico danés Niels Bohr, en 1941, en la que el primero planteaba la cuestión de la bomba (Frayn, 1998).

Dado que desconocían la falta de interés de los alemanes en fabricar una bomba atómica y que sufrían a diario las incursiones de los bombarderos convencionales, fueron los británicos quienes dieron los primeros pasos para analizar la posibilidad de construir una bomba nuclear (Gowing, 1965). En 1939, para Bohr y otros había quedado claro que la única manera de obtener cantidades significativas de energía de la fisión (desintegración) de átomos radiactivos era iniciando una «reacción en cadena». Normalmente, los núcleos de esos átomos se fisionan espontáneamente a un ritmo muy lento, de modo que cada uno libera una cantidad pequeña pero significativa de radiación. Pero algunos elementos radiactivos, en especial el uranio-235 y el artificial plutonio, liberan también neutrones, partículas que son capaces de iniciar la fisión si chocan con otro núcleo. En pequeñas cantidades del elemento radiactivo, la mayoría de los neutrones escapan antes de poder chocar contra otro núcleo, pero si la cantidad supera una «masa crítica», los neutrones empiezan a fisionar suficientes átomos adicionales para generar una cascada de nuevas colisiones: la reacción en cadena. En un reactor nuclear, o «pila», la reacción en cadena es *ininterrumpida en un nivel que generará una cantidad constante* de energía. Pero en una reacción incontrolada, se desintegrará toda la masa de átomos en una fracción de segundo, lo que liberará una inmensa cantidad de energía en una explosión. Así pues, la forma más simple de bomba atómica consta de un mecanismo para unir dos masas subcríticas y crear una masa crítica, que explotará inmediatamente. En 1940, varios físicos habían comenzado a pensar en esa situación, cuyo problema fundamental era: ¿cuál es la masa crítica? Heisenberg supuso informalmente que sería muchas toneladas, por lo que la bomba resultaría poco práctica; pero, ¿y si fuera mucho menor, pongamos apenas unos kilos?

De hecho, el cálculo lo hicieron en marzo de 1940 dos científicos alemanes, Otto Frisch y Rudolph Peierls, que habían huido de los nazis y estaban trabajando en la Universidad de Liverpool, Inglaterra. La respuesta era aproximadamente cinco kilos, es decir, cifra lo bastante pequeña para que la bomba fuera manejable, aunque todavía se estaba muy lejos de saber cómo extraer esa cantidad de material fisible de fuentes naturales. La mayor parte del uranio natural consta de U-238, que no puede generar una reacción en cadena; el esencial U-235 sólo está presente en un 0,7 por 100, con lo que para fabricar una bomba había que idear algún medio para obtener el U-235 en grandes cantidades. Pero el memorándum de Frisch y Peierls fue enviado a Tizard, y enseguida se creó un comité para investigar la posibilidad de separar los isótopos. Recibió el nombre de comité MAUD —Bohr había escrito «Maud» en un telegrama desde Dinamarca, y se creyó que era una contraseña, aunque en realidad era el nombre de una mujer que él conocía en Gran Bretaña—. Entre sus miembros se contaban físicos destacados: G. P. Thomson, James Chadwick, Mark Oliphant y P. M. S. Blackett. El comité empezó a diseñar en Oxford un proceso de separación de isótopos mediante difusión gaseosa, que con el tiempo fue conocido con el nombre tapadera de Aleaciones de Tubo.

Blackett y otros integrantes del comité tenían la impresión de que, con la amenaza inminente de la invasión, sería mejor hacer la verdadera producción en Estados Unidos. En agosto de 1941, Oliphant fue a América a hablar de las investigaciones sobre el radar, pero también tenía instrucciones de transmitir a sus aliados la importancia que los británicos concedían al proyecto de la bomba. Hasta la fecha, los americanos se habían mostrado poco interesados, aunque en 1939 Einstein, inducido por el físico húngaro Leo Szilard, había escrito al presidente Roosevelt para advertirle de los peligros. Oliphant atrajo la atención de Ernest Lawrence, quien convenció a los asesores científicos clave de la administración, Vannevar Bush y J. B. Conant, de que el proyecto tenía posibilidades de éxito. El 6 de diciembre de 1941 (el día antes del ataque japonés sobre Pearl Harbour), Roosevelt aprobó la asignación de fondos para las investigaciones, y en el verano del año siguiente ya se estaban planificando plantas piloto para la produc-

ción. También se iniciaron los trabajos sobre el diseño de la bomba propiamente dicha (Hoddeson *et al.*, 1993).

En realidad, aún no se había observado ninguna reacción en cadena, y la teoría no se confirmó hasta diciembre de 1942, cuando Enrico Fermi construyó un reactor en el sótano de un campo de fútbol de la Universidad de Chicago e inició una reacción en cadena controlada. Una función del reactor era convertir el uranio-238 en plutonio, otra fuente potencial de material fisible para una bomba. De hecho, la construcción de reactores para obtener plutonio ofrecía un modo mejor para disponer de material fisible, pues éste se podía extraer fácilmente por medios químicos, mientras que la separación de U-235 y U-238 conllevaba procesos físicos muy delicados en los que intervenía la difusión de gases o técnicas electromagnéticas. Fueron progresando diversos planes en ambos frentes con la finalidad de fabricar bombas tanto con U-235 como con plutonio. El general de brigada Leslie Groves fue nombrado responsable de lo que llegó a conocerse como el Proyecto Manhattan. Groves tenía una larga experiencia en la dirección de proyectos importantes, y sus habilidades organizativas eran fundamentales, pero no era científico, por lo que no les era simpático a muchos de los contratados para el proyecto, para quienes el estilo militar de su jefe resultaba desagradable. También era antibritánico, y durante un tiempo los científicos británicos fueron excluidos del proyecto, si bien esa situación cambió más adelante, e incluso Bohr se incorporó al grupo tras huir de la Dinamarca ocupada.

Las proporciones del proyecto llegaron a ser realmente enormes: las plantas construidas en Oak Ridge, Tennessee, para extraer U-235, y en Hanford, Washington, para obtener plutonio utilizaban más energía hidroeléctrica que una ciudad grande (fig. 20.2; Hughes, 2002). Las destrezas técnicas exigidas a los científicos e ingenieros encargados del equipo se exacerbaron. Entretanto, empezó a diseñarse la bomba en Los Álamos, Nuevo México, bajo la dirección de J. Robert Oppenheimer, figura destacada de la comunidad física americana, la cual se había desarrollado hasta encontrarse al mismo nivel que la arraigada tradición europea (Goodchild, 1980; Kevles, 1995). Ahora Oppenheimer afrontaba un nuevo desafío en el que sus capacidades como líder genial se pondrían al servicio de fines más prácticos. Es significativo que,

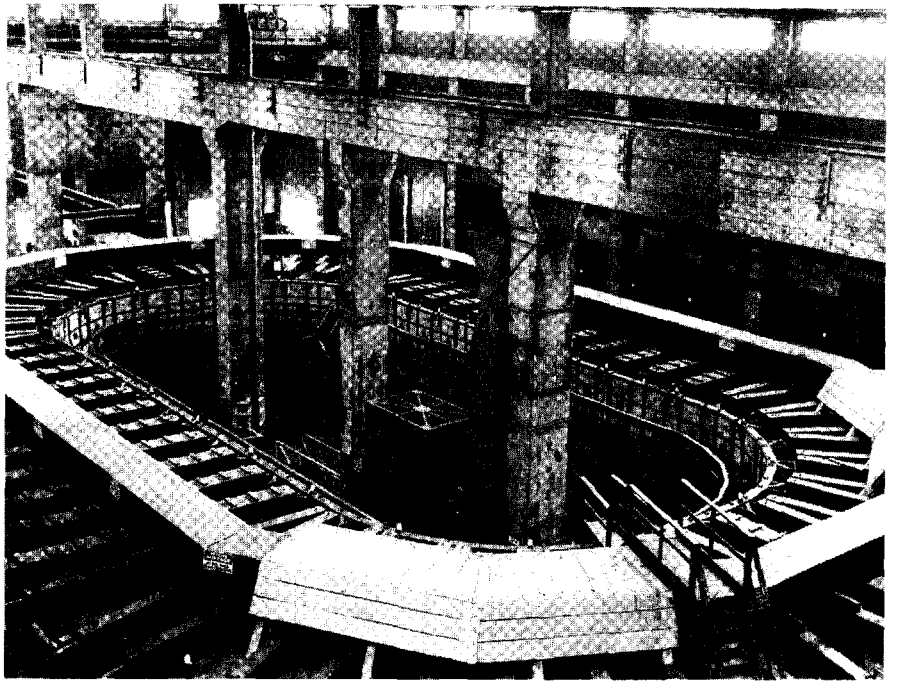


FIGURA 20.2. La pista Alfa-1, planta Y-12, en 1944 (Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, Distrito de Ingeniería de Manhattan, Oak Ridge, Tennessee. Fotografía de James E. Westcott). La pista Alfa-1 se usó en la separación de isótopos de uranio. Este dispositivo da una idea de la escala en que la macrociencia empezó a funcionar cuando se invirtieron en ella recursos procedentes del complejo militar-industrial. Para el cableado se utilizaron seis mil toneladas de plata procedente del erario.

aunque el conjunto del Proyecto Manhattan estaba organizado por Groves y los militares, los equipos que trabajaban en problemas técnicos eran todos civiles y estaban dirigidos por científicos. Eso significaba que no se limitaban a obedecer órdenes de los militares y eran libres de calibrar las consecuencias de lo que estaban haciendo. Con el tiempo, esa libertad permitiría que se produjeran importantes debates sobre la moralidad de trabajar en la bomba, si bien, a corto plazo, la amenaza que suponía la Alemania nazi animaba a la mayoría a meterse de lleno en su tarea.

Aun siendo un físico brillante, Oppenheimer sabía que, en ese nuevo entorno en que lo único que importaba eran los resultados, el tradicional individualismo de los científicos no funcionaría. Así que consideró necesario implantar un estilo casi militar de gestión en virtud del cual todo el grupo debía centrarse en el objetivo inmediato, aunque en la solución de los problemas todavía quedaba margen para la creatividad individual. Oppenheimer también mostró mucha habilidad en su relación con el gobierno y las autoridades militares, dando la medida de un nuevo tipo de responsable científico que se encontraba a gusto tanto en las altas esferas como en el laboratorio. En cierto sentido, el Proyecto Manhattan estaba cambiando el modo de hacer ciencia al reclamar a científicos importantes que se implicaran en una colaboración mucho más estrecha con los intereses militares e industriales. Oppenheimer se dio cuenta de que los científicos debían aprender a trabajar de esa forma nueva si querían tener alguna influencia en lo que se hacía con su trabajo.

Entretanto, fueron surgiendo dificultades técnicas que requerían una cooperación aún mayor entre los físicos teóricos y los ingenieros. Esos problemas exigían nuevos conceptos teóricos para su solución, y no se podían verificar las teorías sin construir el soporte físico de la bomba. Lejos de considerar la ciencia aplicada como una tarea hecha a regañadientes bajo la presión de la guerra, a menudo los físicos se sentían fascinados por las innovaciones teóricas que se veían obligados a realizar para resolver contratiempos derivados de las aplicaciones prácticas. El diseño original de una bomba se basaba en un «arma» que disparaba una bala de U-235 por un cañón para que se estrellara contra una diana del mismo material (fig. 20.3). La masa combinada estaba por encima del punto crítico e inmediatamente experimentaba una reacción incontrolada en cadena. Pero en la primavera de 1944, los ensayos con plutonio pusieron de manifiesto que el método del arma no funcionaría con dicho elemento porque éste tenía un ritmo de fisión espontánea tan elevado que cada masa subcrítica empezaría a fragmentarse antes incluso de que las dos partes se hubieran encontrado. Esto deterioraría el material fisible antes de que pudiera combinarse en una región lo bastante pequeña para que tuviera lugar una efectiva reacción en cadena. Había que diseñar un nuevo tipo de

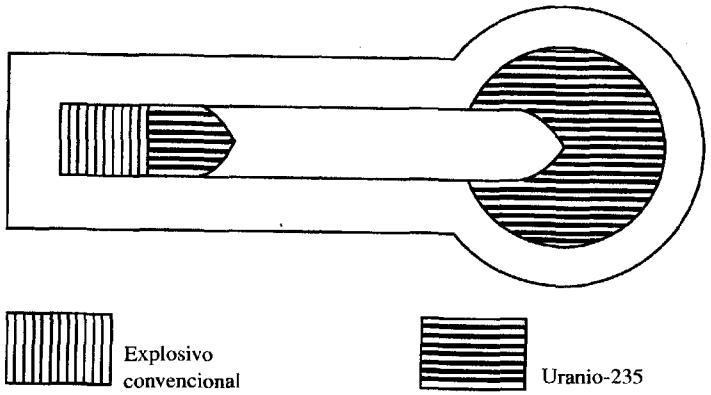


FIGURA 20.3. Diagrama en que se aprecia el método «arma» de explosión de una bomba de uranio-235. Una carga de explosivo convencional dispara la pequeña bala de uranio por el cañón del arma para que choque con un cuerpo mayor situado a la derecha, con lo que se sobrepasa la masa crítica y se inicia la reacción en cadena.

bomba que usara un método de «implosión», en el que una masa ligeramente subcrítica es comprimida por una esfera cuidadosamente formada de explosivo convencional para alcanzar un estado crítico. Diversos físicos británicos (y también el refugiado alemán Peierls), ahora nuevamente en el proyecto, llevaron a cabo buena parte del nuevo diseño. No obstante, la propuesta era tan radical que ciertos asesores científicos, como J. B. Conant, dudaban de su eficacia. Es por eso por lo que el 16 de julio de 1945 se probó la bomba de plutonio en el desierto de Alamogordo, Nuevo México: provocó una explosión equivalente a 20.000 toneladas de TNT, aún más de lo previsto por los científicos (figs. 20.4 y 20.5). Tras presenciar la prueba, Oppenheimer citó memorablemente un verso del *Bhagavad-Gita*, poema épico hindú: «Me he convertido en la muerte, el destructor de los mundos». Otro físico, Kenneth Bainbridge, hizo una observación más prosaica: «Bueno, ahora somos unos hijos de perra» (citado en Schweber, 2000, p. 3).

Las bombas sirvieron enseguida para poner fin a la guerra con Japón (Alemania ya se había rendido). El 6 de agosto, el bombardero B-29 *Enola Gay* arrasó la ciudad de Hiroshima con la bomba «Little

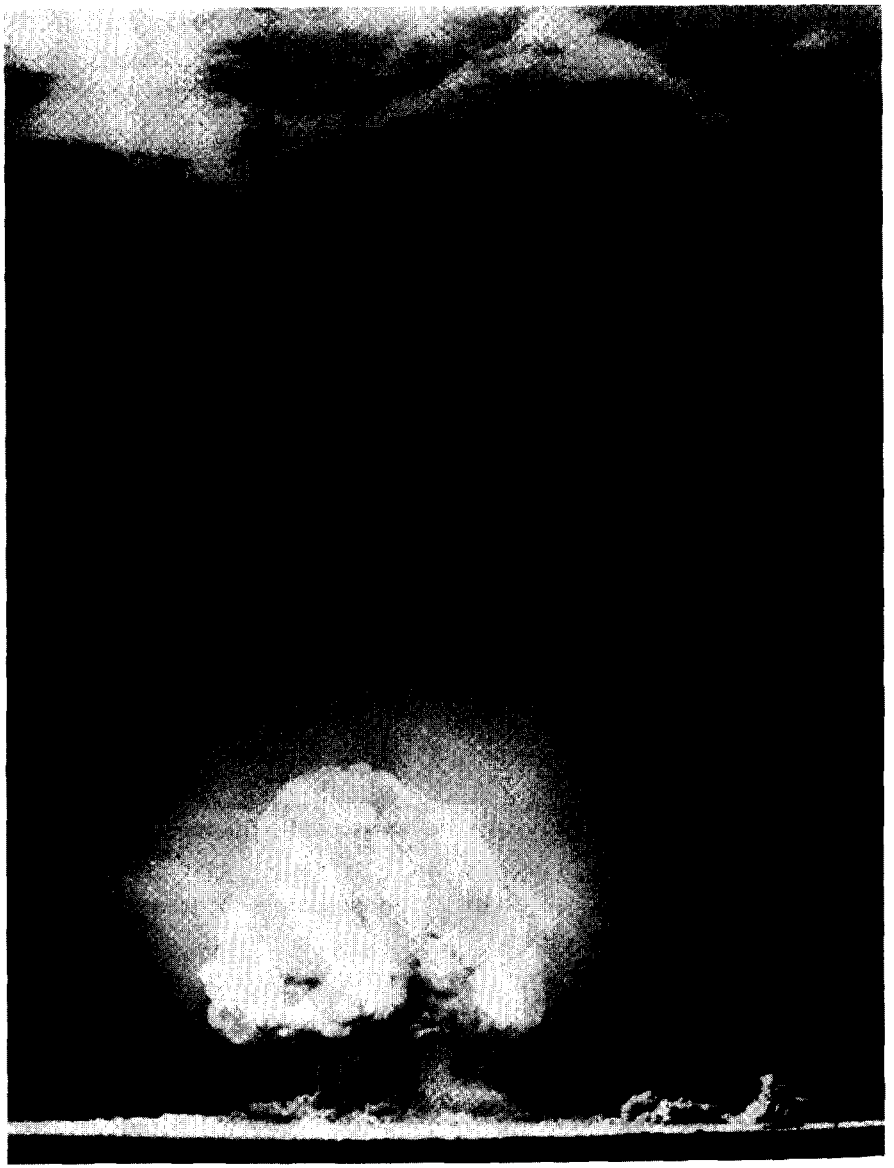


FIGURA 20.4. Explosión de la primera bomba atómica.

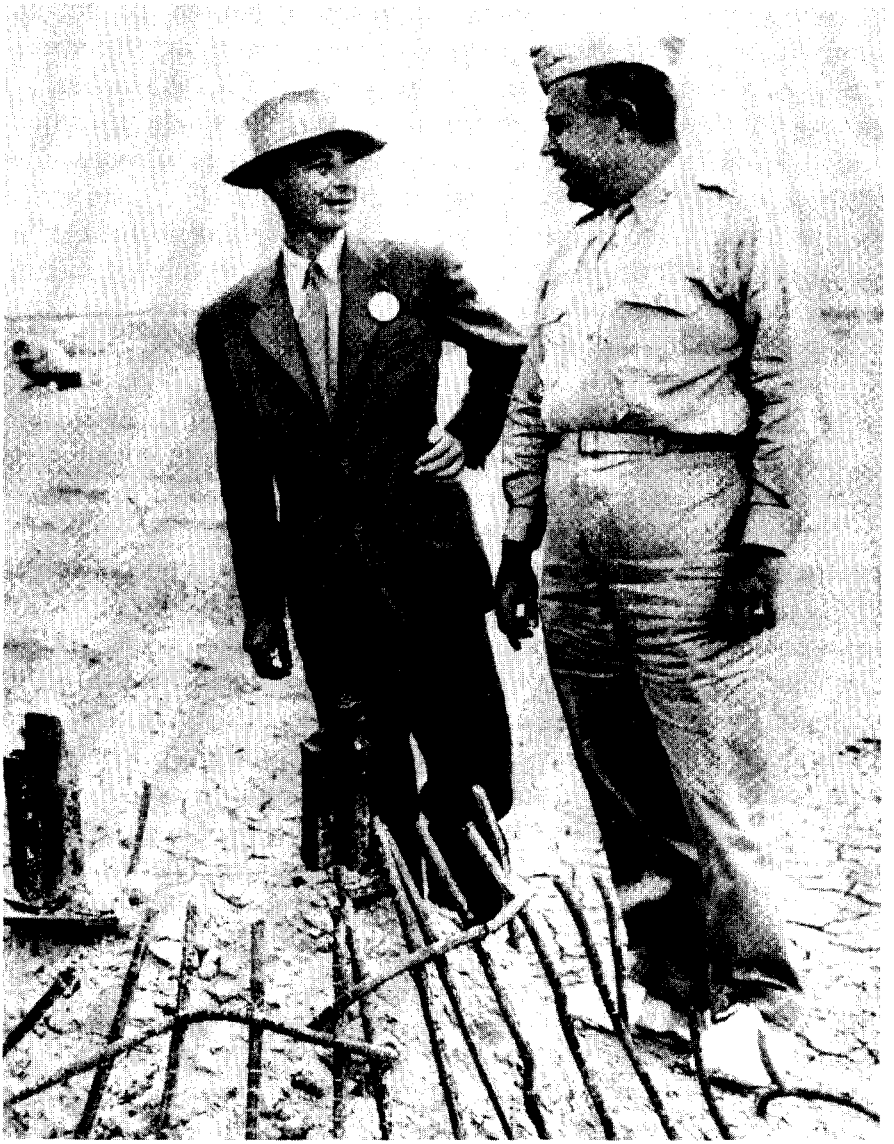


FIGURA 20.5. J. Robert Oppenheimer y el general Groves en el emplazamiento de Trinity, tras la explosión de la primera bomba atómica (Popperfoto/Retrofile.com). Oppenheimer era un físico brillante, pero en el nuevo mundo de la macrociencia tuvo que aprender a cooperar con personajes poderosos de la esfera militar y el gran capital.

Boy» de uranio. Tres días después se lanzó la «Fat Man» de plutonio sobre Nagasaki. Todavía sigue vigente la encarnizada controversia sobre las verdaderas motivaciones de la utilización de las bombas. La postura oficial es que éstas forzaron la rápida rendición de los japoneses, por lo cual se salvaron cientos de miles de vidas de soldados americanos que habrían podido morir en una invasión. Pero esto desde luego era un cálculo exagerado, y persiste la sospecha de que el nuevo presidente americano, Harry Truman, lanzó las bombas para conseguir ventaja sobre los rusos en las negociaciones de posguerra (Alperowitz, 1996; Giovannitti y Freud, 1965; Walker, 1996).

Para el tema que nos ocupa, es más pertinente la cuestión de cómo se sentían los propios científicos respecto a su implicación en la creación de un arma tan destructora. Está muy claro que la iniciativa de crear la bomba procedió de los científicos que vieron la posibilidad de aprovechar así la fisión nuclear. Si ellos no hubieran hecho la propuesta, el proyecto no se habría puesto en marcha —de hecho, esto es lo que pasó en Alemania—. Sin embargo, debido al miedo de que los nazis contemplaran la misma opción, parece que hubo pocas reticencias entre los científicos británicos, y luego los americanos, a seguir adelante. En cualquier caso era una guerra cruel, y había ciudades que ya estaban siendo arrasadas por los bombardeos convencionales. La hora de la verdad llegó cuando Alemania se desmoronó, y quedó Japón (que tenía un programa nuclear muy limitado) como único objetivo. En ese momento, algunos científicos empezaron a decir efectivamente que no había que usar la bomba o que como mínimo primero había que lanzarla en un lugar remoto de Japón a modo de advertencia. Leo Szilard, que había animado a Einstein a escribir a Roosevelt sobre la posibilidad de fabricar un arma nuclear, surgió de pronto como un destacado crítico de la política militar respecto al uso de las bombas. Así pues, presionó al Comité de Repercusiones Sociales y Políticas, dirigido por el físico James Franck, para que hiciera público un informe en el que se abogara por una demostración previa (reimpreso en Giovannitti y Freud, pp. 111-115). Sin embargo, muchos científicos se negaron a respaldar las sugerencias de Szilard, unos porque hacían suyo el argumento de salvar vidas americanas, otros porque aún estaban tan involucrados en problemas técnicos de última hora que

no tenían tiempo de dar un paso atrás y replantearse su postura. El propio Oppenheimer aceptó la idea de que se salvarían vidas americanas y no parece que hiciera mucho por alentar el debate en Los Álamos, si bien después de la guerra llegó a ser muy crítico con la decisión de construir la aún más potente bomba de hidrógeno.

La ciencia y la guerra fría

En la época de la posguerra, siguieron las tensiones internacionales, con los soviéticos en lugar de los nazis vistos como amenaza para las democracias occidentales. En cuanto empezaron a aflorar las hostilidades latentes, para diversos científicos de ambos bandos fue fácil resucitar el viejo argumento de que la participación en las investigaciones militares estaba justificada. Sólo unas cuantas figuras influyentes se opusieron firmemente a esta tendencia, con lo que afrontaron el riesgo de ser condenados al ostracismo por deslealtad. No obstante, había otras razones para mantener la implicación con lo que ya se estaba conociendo como el complejo militar-industrial. Sólo bajo la amenaza de potencias exteriores era probable que los gobiernos invirtieran las grandes sumas de dinero necesarias para investigar en áreas de la «macrociencia», donde la verificación de teorías requería la fabricación de equipos carísimos. Por tanto, la tentación de los científicos a involucrarse en proyectos con aplicaciones militares, quizá incluso a alentarlos, era inmensa —a menudo parecía la única manera de conseguir fondos para trabajar a ese nivel—. El proyecto de la bomba atómica también había requerido una interpenetración de ciencia pura y aplicada que dificultaba la distinción entre innovación teórica y aplicación práctica. En consecuencia, muchos ámbitos de la ciencia seguían muy unidos al complejo militar-industrial, y a veces los científicos llevaban a cabo proyectos que tendrían repercusiones militares a fin de conseguir financiación para hacer lo que en cualquier caso querían llevar a cabo (Mendelsohn, Smith y Weingart, 1988).

Los soviéticos respondieron enseguida a la amenaza de la bomba atómica americana (Holloway, 1975). Antes de la guerra, sus físicos ya habían emprendido interesantes investigaciones en ese ámbito pese

a la indiferencia del gobierno. El científico medioambiental V. I. Vernadskii había estimulado la búsqueda de uranio como materia prima con la esperanza de utilizarlo con fines pacíficos. Durante la guerra, funcionarios soviéticos obtuvieron del espionaje cierta información sobre proyectos nucleares británicos y americanos, pero cuando quedó claro que los alemanes no estaban implicados, Stalin perdió interés. Beria, su hombre de confianza, sospechaba incluso que se habían propiciado los rumores sobre el Proyecto Manhattan para animar a los soviéticos a invertir dinero infructuosamente en esa área. Pero cuando no hubo dudas de que los americanos tenían la bomba, Stalin pronto decidió que era un peligro importante para la influencia soviética en el mundo, si no una verdadera amenaza utilizable en una guerra, por lo que se puso en marcha un programa de emergencia para fabricar una bomba. Los científicos soviéticos cooperaron porque compartían la opinión de Stalin de que se debía impedir que los americanos tuvieran ese poder ellos solos. En parte gracias a información transmitida por espías, se hicieron rápidos progresos, y, con gran consternación por parte de los americanos, en octubre de 1949 los soviéticos hicieron explotar su primera bomba. A lo largo de la década de 1950, el mundo fue entrando en un estado de punto muerto nuclear a medida que ambos bandos adquirían suficientes armas para eliminarse uno a otro completamente.

Los británicos también tuvieron la impresión de que se les excluía del club nuclear, pues habían puesto en marcha esa área de investigación y desempeñado un papel importante en el Proyecto Manhattan. Dado que en la posguerra habían perdido buena parte de su influencia internacional, entendían que el desarrollo de una disuasión nuclear independiente sería un modo de preservar al menos la apariencia de su vieja posición en el mundo. Así que se pusieron a fabricar bombas por su cuenta, amén del avión para lanzarlas. Pero cuando las superpotencias pasaron a la fase de los misiles intercontinentales y los submarinos nucleares, se evidenció el estatus de potencia de segunda fila de Gran Bretaña. Aun así, la guerra fría permitió a los científicos británicos beneficiarse más que ningún otro país europeo de los fondos disponibles para las investigaciones militares (Bud y Gummett, 1999). El hecho de que los científicos promovían activamente nuevos proyectos

militares fue confirmado posteriormente por Solly Zuckerman, asesor científico del gobierno: «Después, nuestros "expertos" informaban y convencían a sus colegas de la administración pública y a los militares —una tarea nada difícil—, y a continuación la idea se abría camino hacia arriba hasta llegar con frecuencia a los ministros» (Zuckermanm 1988, p. 390). Muy a menudo, los recursos necesarios para poner en marcha el proyecto eran inalcanzables para una potencia de segunda —aunque resultaban evidentes las investigaciones llevadas a cabo antes de las limitaciones operativas.

En América, la explosión de la primera bomba atómica soviética sirvió para sacar a la luz otro debate. Para los físicos era obvio que se podía fabricar otra bomba, aún más potente, fusionando átomos de hidrógeno, lo que realmente duplicaba la fuente de energía del Sol mismo. Y eso sólo sería posible utilizando las inmensas temperaturas y presiones alcanzadas en la explosión de una bomba atómica, de modo que la bomba de hidrógeno precisaría la primera como detonador. El artífice del programa para construir esa «superbomba» fue el físico Edward Teller (York, 1976). Húngaro de origen judío, Teller tenía en Europa parientes que vivían bajo la ocupación soviética, por lo que era sumamente consciente de la amenaza que representaba la voluntad de la Unión Soviética de imponer su sistema al mundo y consideraba que era fundamental conservar la superioridad americana en la carrera armamentística. Había comenzado a trabajar en la física de la bomba de fusión en Los Álamos y presionó sin cesar para conseguir apoyo de los militares y del gobierno. La noticia de la primera bomba atómica soviética añadió más urgencia a su campaña. En octubre de 1949, el Comité Asesor General de la Comisión de la Energía atómica, presidido por Oppenheimer, recomendó el desarrollo de bombas atómicas mejoradas, pero rechazó los argumentos de Teller a favor de la superbomba. Teller entendió que eso equivalía a una rendición y empezó a utilizar todos sus contactos con el gobierno para debilitar la postura de Oppenheimer. Éste era vulnerable porque de joven había tenido contactos con organizaciones de izquierda, teniendo en cuenta que se hallaban en la época de la anticomunista caza de brujas dirigida por el senador Joseph McCarthy. Tras una larga investigación, en 1954 fue suspendida su acreditación en materia de seguridad, y quedó apartado del programa de

energía atómica. También se marginó a J. B. Conant, que compartía las reservas de Oppenheimer hacia el proyecto de la bomba H.

En 1949, la Comisión de la Energía Atómica apoyó a Teller y sus colegas «halcones» y rechazó el consejo del comité de Oppenheimer. Al año siguiente, el presidente Truman, a instancias del Consejo de Seguridad Nacional, autorizó el desarrollo de la bomba de hidrógeno. El problema técnico clave fue superado gracias al invento del dispositivo Teller-Ulam en Los Álamos. La primera bomba se hizo explotar a finales de 1952 en el atolón de Eniwetok, en el Pacífico, con un impacto equivalente a diez millones de toneladas de TNT —mil veces más que la que había destruido Hiroshima—. No obstante, la supremacía americana fue efímera: los soviéticos resolvieron los problemas técnicos de una manera distinta e hicieron estallar su primera bomba de hidrógeno a finales de 1955. La posibilidad de que las armas nucleares pudieran destruir la civilización, o incluso toda la vida en la tierra, era ahora totalmente real y tuvo un fuerte efecto en la opinión pública (Boyer, 1994). Muchos científicos se sentían incómodos con la estrategia de línea dura de Teller, que había dado a América una superioridad sólo temporal e incrementado el peligro de la carrera armamentística. Oppenheimer había sido una figura un tanto aislada, incluso dentro de la comunidad científica, aunque a muchos aún les zumbaba en los oídos su afirmación de que la libertad necesaria para la investigación requería un grado equivalente de libertad en el conjunto de la sociedad. Quien protagonizó la resistencia más eficaz al uso incontrolado de la ciencia para crear nuevas armas fue el exiliado alemán Hans Bethe, de la Universidad de Cornell, que acabaría recibiendo el premio Nobel por haber desarrollado la teoría de la fusión nuclear en las estrellas (Schweber, 2000). Aunque había trabajado en el proyecto de las armas nucleares, Bethe se mostró cada vez más preocupado por las consecuencias de una guerra nuclear y desempeñó un importante papel como asesor del grupo americano que negoció el tratado de 1963 de prohibición de las pruebas nucleares.

La creación de armas nucleares más potentes no fue, naturalmente, la única contribución científica a la carrera de armamentos. Von Braun y sus equipos se basaron en los logros del V-2 para poner en marcha un programa de cohetes que posibilitó un nuevo sistema de

lanzamiento, los misiles balísticos intercontinentales, pero también sentó las bases del programa espacial americano. En realidad, este último se vio potenciado por la rivalidad de la guerra fría y los primeros éxitos rusos en ese ámbito, especialmente el lanzamiento del satélite *Sputnik* en octubre de 1957. Pronto los misiles pudieron dispararse desde submarinos de propulsión nuclear capaces de permanecer sumergidos durante meses con la esperanza de no ser detectados. Las armadas querían nuevos métodos para localizar esos submarinos y reclamaban un mejor conocimiento del fondo del mar, donde aquéllos seguramente se ocultaban —un resultado indirecto de esto fue más información sobre el lecho marino, que reveló datos de importancia crucial para la teoría de la tectónica de placas—. Los biólogos contaron con importantes fuentes de financiación para realizar estudios sobre cómo la radiación de las bombas atómicas podía incrementar el índice de mutaciones en los seres humanos y otras especies (Beatty, 1991). Así pues, la interacción de la ciencia y los militares empezó a crecer en muchos aspectos diferentes. Por otro lado, el flujo de información no siempre ha ido en una sola dirección. Lo que comienza como ciencia aplicada en un área proporciona a veces indicios para nuevas ideas en un área totalmente distinta.

Conclusiones

En el siglo XX se reforzó muchísimo la relación entre la ciencia y los militares. Las primeras fases tuvieron un carácter provisional: bajo la presión de la emergencia nacional, los científicos patriotas proponían modos de mejorar las armas (o crear otras nuevas), que a menudo las autoridades militares acogían con hostilidad o desdén. En la primera guerra mundial se produjeron los primeros intentos de racionalizar esta relación, aunque ninguna de las armas nuevas resultó decisiva. En los años de entreguerras, varios países se basaron en esos primeros esfuerzos para poner en marcha programas integrados que, conectando a científicos, industria y militares, generaron sistemas verdaderamente nuevos, como el radar, capaces de transformar el modo de combatir de la armada y (especialmente) las fuerzas aéreas. La segunda guerra

mundial puso los cimientos de la implicación de los científicos en el complejo militar-industrial. Como consecuencia de esos avances, la ciencia teórica llegó a un nuevo grado de compromiso con la industria, los militares y el gobierno. La frontera entre ciencia pura y aplicada se hizo cada vez más borrosa, especialmente en áreas en que hacían falta enormes cantidades de dinero para material y equipos. Los científicos también se dieron cuenta de que ciertos problemas técnicos a veces podían suscitar cuestiones teóricas fascinantes. Destacados científicos dirigían proyectos importantes para los que precisaban ingentes recursos industriales y gubernamentales y las destrezas gestoras necesarias para relacionarse con quienes suministraban dichos fondos.

La aparición de una relación estrecha entre la ciencia y los militares se había demorado debido a las inevitables sospechas recíprocas entre dos profesiones de orígenes tan diferentes. Pero en cuanto esa relación estuvo consolidada, no es de extrañar que los científicos se vieran atraídos por los fondos disponibles —sobre todo si así podían trabajar en proyectos que realmente les interesaran—. En la década de 1950, en las universidades americanas, el 90 por 100 de la financiación para la investigación en el campo de la física procedía de la Comisión de la Energía Atómica, gran parte de la cual se destinaba a proyectos militares (Hoch, 1988, p. 95; véase también Forman, 1987). Es muy lógico que muchos científicos estuvieran dispuestos a modificar la dirección de sus investigaciones y adquirir las habilidades gestoras necesarias para relacionarse con políticos e industriales. Para quienes les preocupaban las consecuencias morales de la relación era más grave ceder a la tentación de fomentar el desarrollo de nuevos sistemas armamentísticos porque así se abrirían las arcas del Estado para financiar nuevas áreas de investigación. Desde luego, Teller quería la bomba H porque temía la amenaza de la Unión Soviética —si bien la más reciente propuesta del sistema defensivo de misiles conocido como «guerra de las galaxias» ha suscitado sospechas de que los diseñadores de armas han tomado las riendas—. Los científicos que realmente trabajan en industrias de defensa están controlados por ingenieros y gerentes cuyas prioridades son comerciales.

Tras la segunda guerra mundial, en Occidente se hicieron diversos esfuerzos por restablecer el ideal de ciencia pura llevada a cabo única-

mente para adquirir conocimientos, en parte porque el sistema soviético alentaba la visión contraria de que los científicos, como todo el mundo, debían trabajar para el bien común (invariablemente identificado con el Estado). En 1945, el destacado asesor científico americano Vannevar Bush escribió un informe titulado «Ciencia: la frontera interminable» en un intento de recuperar la imagen de la búsqueda desinteresada del conocimiento. Hacía falta una base sólida de investigación pura para garantizar que posteriormente se obtendrían resultados tecnológicos. Ésta es aún la idea ortodoxa de la ciencia promovida por muchos científicos académicos, que por otro lado no reconocen el grado en que mucha investigación aparentemente pura se lleva a cabo en la actualidad gracias a recursos procedentes de la industria y los militares. Los científicos que más eficazmente se enfrentaron a los dilemas morales planteados por la nueva situación no fueron los que se refugiaron en el aislacionismo sino los que aceptaron el compromiso con el mundo real y entendieron que debían utilizar su influencia para controlar el modo como se explotaba su trabajo. Eso podía conllevar campañas activas contra la tentación de fomentar una nueva tecnología militar sólo porque ésta ofreciera oportunidades de investigación, pero acaso también un compromiso constructivo con los militares y la realidad política, como en el caso de la contribución de Bethe a la firma del tratado que, como mínimo, limitaría los peligros ligados a las pruebas nucleares.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Alperowitz, Gar, *The Decision to Use the Atomic Bomb*, Fontana, Londres, 1996.

Beatty, John, «Genetics in the Atomic Age: The Atomic Bomb Casualty Commission, 1947-1956», en *The Expansion of American Biology*, Keith R. Benson, Jane Maienschein y Ronald Rainger, eds., Rutgers University Press, New Brunswick, Nueva Jersey, 1991, pp. 284-324.

Boyer, Paul, *By the Bomb's Early Light: American Thought and Culture at the Dawn of the Atomic Age*, nueva ed., University of North Carolina Press, Chapel Hill, 1994.

Brown, L., *A Radar History of World War II*, Instituto de Física, Filadelfia, 1999.

Bud, Robert y Phillip Gummett (eds.), *Cold War, Hot Science: Applied Research in Britain's Defence Laboratories, 1945-1990*, Harwood Academic Publishers, Amsterdam, 1999.

Buderi, Robert, *The Invention That Changed the World: The Story of Radar from War to Peace*, Little, Brown, Boston, 1997.

Forman, Paul, «Behind Quantum Electronics: National Security as a Basis for Physical Research in the United States, 1940-1969», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, n.º 18 (1987), pp. 149-229.

Frayn, Michael, *Copenhagen*, Methuen Drama, Londres, 1998 (hay trad. cast.: *Copenhague: texto de Copenhague en versión de Charo Solanas*, Centro Cultural de la Villa, Madrid, 2003).

Goodchild, Peter, *J. Robert Oppenheimer, «Shatterer of Worlds»*, BBC, Londres, 1980 (hay trad. cast.: *Oppenheimer*, Salvat Editores, Barcelona, 1989).

Gowing, Margaret, *Britain and Atomic Energy, 1939-1945*, Methuen, Londres; St. Martin's Press, Nueva York; 1965.

Haber, L. F., *The Poisonous Cloud: Chemical Warfare in the First World War*, Clarendon Press, Oxford, 1986.

Hackmann, Willem, *Seek and Strike: Sonar Anti-Submarine Warfare and the Royal Navy, 1914-1954*, HMSO, Londres, 1984.

Hartcup, Guy, *The War of Invention: Scientific Developments, 1914-1918*, Brassey's Defence Publishers, Londres, 1988.

—, *The Effects of Science on the Second World War*, Palgrave, Londres, 2000.

Hoch, Paul K., «The Crystallization of a Strategic Aliance: The American Physics Elite and the Military in the 1940s», en *Science, Technology and the Military*, Everett Mendelsohn, Merrit Roe Smith y Peter Weingart, eds., Kluwer, Dordrecht, vol. 1, pp. 87-116.

Hoddeson, Lillian, Paul W. Henrickson, Roger A. Meade y Catherine Westfall, *Critical Assembly: A Technical History of Los Alamos during the Oppenheimer Years, 1943-1945*, Cambridge University Press, Cambridge, 1993.

Hogan, Michael J. (ed.), *Hiroshima in History and Memory*, Cambridge University Press, Cambridge, 1996.

Holloway, David, *Stalin and the Bomb: The Soviet Union and the Atomic Energy, 1939-1956*, Yale University press, New Haven, CT, 1975.

Hughes, Jeff, *Manhattan Project: Big Science and the Atom Bomb*, Icon Books, Cambridge, 2002.

Johnson, Brian, *The Secret War*, BBC, Londres, 1978.

Jones, R. V., *Most Secret War*, Hamish Hamilton, Londres, 1978.
Kevles, Daniel, *The Physicists: The History of a Scientific Community in American*, nueva ed., Harvard University Press, Cambridge, MA, 1995.
Mendelsohn, Everett, Merritt Roe Smith y Peter Weingart (eds.), *Science, Technology and the Military*, Kluwer, Dordrecht, 1988, 2 vols.
Neufeld, Michael J., *The Rocket and the Reich: Peenemünde and the Coming of the Ballistic Era*, Free Press, Nueva York, 1995.
Peyton, John, *Solly Zuckerman: A Scientist out of the Ordinary*, John Murray, Londres, 2001.
Powers, Thomas, *Heisenberg's War: The Secret History of the German Bomb*, Jonanthan Cape, Londres, 1993.
Price, Alfred, *Instruments of Darkness: The History of Electronic Warfare*, nueva ed., Macdonalds & Jane's, Londres, 1977.
Rose, Paul Lawrence, *Heisenberg and the Nazi Atomic Bomb Project: A Study in German Culture*, University of California Press, Berkeley, 1998.
Schweber, Sylvan S., *In the Shadow of the Bomb: Bethe, Oppenheimer, and the Moral Responsibility of the Scientist*, Princeton University Press, Princeton, Nueva Jersey, 2000.
Swann, Brenda y Francis Aprahamian (eds.), *J.D. Bernal: A Life in Science and Politics*, Verso, Londres, 1999.
Walker, J. Samuel, «The Decision to Use the Bomb: A Historiographical Update», en *Hiroshima in History and Memory*, Michael J. Hogan, ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1996, pp. 11-37.
York, Herbert F., *The Advisers: Oppenheimer, Teller, and the Superbomb*, W. H. Freeman, San Francisco, 1976.
Zachary, G. Pascal, *Endless Frontier: Vannevar Bush, Engineer of the American Century*, MIT Press, Cambridge, MA, 1999.
Zuckerman, Solly, *From Apes to Warlords: The Autobiography (1904-1946)*, Hamish Hamilton, Londres, 1978.
—, *Monkeys, Men and Missiles: An Autobiography, 1946-1988*, reimpr., Norton, Nueva York, 1988.

21

Ciencia y género

La relación entre la ciencia y el género ha sido objeto de continua controversia durante al menos los últimos cincuenta años. A menudo se considera que la ciencia es el ideal de la investigación objetiva, no contaminada por la clase social, las convicciones políticas y religiosas, la raza o el género de sus practicantes. Como ya hemos visto, debido a numerosos avances de la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia de las últimas décadas, esa imagen de la ciencia como el no va más del conocimiento libre de valores cada vez es más difícil de mantener. Pocas críticas de la objetividad científica han resultado más polémicas que las de las estudiosas feministas, las cuales han puesto de relieve diversos problemas en la imagen tradicional de la investigación científica objetiva. Por ejemplo, varios textos esenciales publicados durante las décadas de 1960 y 1970 han acusado a la ciencia de ser esencialmente una actividad masculina: algunos de ellos han llegado a sugerir que hay diferencias fundamentales en el modo en que los hombres y las mujeres interaccionan con el mundo natural. Otros han subrayado el hecho de que la ciencia ha sido a lo largo de la historia una actividad abrumadoramente masculina en lo que se refiere a sus practicantes. También se ha acusado a los historiadores de la ciencia, a quienes se ha culpado —igual que a los científicos— de simplemente no tener en cuenta la contribución de las mujeres a los esfuerzos realizados en ese campo. En este capítulo, repasaremos algunas de las cuestiones clave planteadas por las estudiosas feministas y los argu-

mentos presentados respecto a la naturaleza básicamente de género de la actividad científica.

Comentaristas como Evelyn Fox-Keller y Carolyn Merchant sugieren que la denominada revolución científica de los siglos XVI y XVII ocasionó una transformación de los distintos modos en que los europeos se relacionaban con el mundo natural (véase cap. 2, «La revolución científica»). Concretamente, asocian dicha revolución al creciente predominio de una forma característicamente masculina de observar la naturaleza. En términos generales, sostienen que, antes del Renacimiento, los filósofos naturales remarcaban la importancia de vivir en armonía con el mundo que les rodeaba. La imagen preponderante de la naturaleza era la Madre Tierra. No obstante, con la llegada de la Nueva Ciencia, cada vez se contempló más la naturaleza como un recurso que había que explotar. Los filósofos naturales describieron de forma gradual sus actividades en función de la exposición y la penetración en una naturaleza femenina y pasiva. Las mujeres fueron cada vez más marginadas de la búsqueda del conocimiento. Los filósofos naturales y los científicos eran (y siguen siendo) hombres en su mayoría. Algunas estudiosas feministas sugieren que las aportaciones de las mujeres al estudio de la ciencia han sido sistemáticamente silenciadas. A su juicio, es importante estudiar modos de comprensión de la naturaleza típicamente femeninos mediante la recuperación de las carreras y vidas de mujeres científicas por lo demás olvidadas. Al reevaluar la contribución de las mujeres a las ciencias y alentarlas a que desempeñen una actividad científica, esperan cambiar de manera concluyente la práctica de la ciencia y su relación con la naturaleza.

Según diversos historiadores del feminismo, a raíz de la revolución científica el propio cuerpo de las mujeres fue cada vez más objeto de investigación. Por ejemplo, el historiador Thomas Laqueur sostiene que durante ese período se pasó de considerar los cuerpos masculino y femenino en esencia como similares a verlos como fundamentalmente distintos (Laqueur, 1990). Mientras el cuerpo masculino se tenía por normal, el femenino se fue viendo de forma paulatina como algo patológico y, por tanto, cada vez más susceptible de intervención médica y científica. Otros historiadores han registrado de manera gráfica los diversos modos en que los anatomistas del siglo

XVIII representaban el esqueleto femenino, con el cráneo más pequeño (y, por tanto también el cerebro) que el de los hombres. En el siglo XIX, los médicos y científicos empezaron a considerar que el cuerpo de la mujer necesitaba una regulación médica meticulosa. Mientras que el del hombre estaba bien controlado por la mente, por lo visto la mente de la mujer estaba bajo el control de su cuerpo, sobre todo de sus órganos reproductores. Por consiguiente, se entendía que las mujeres eran intrínsecamente inferiores a los hombres desde el punto de vista mental e intelectual. En décadas posteriores del siglo se utilizaron afirmaciones como ésas para argumentar en contra de la educación de las mujeres y su participación en el proceso político. Según los contrarios a su emancipación (igual que los defensores de la superioridad racial blanca europea), la ciencia ponía de manifiesto que las mujeres (como los no europeos) eran física y mentalmente no aptas para la educación universitaria ni para nada que no fuera una existencia doméstica y servil.

¿Es la ciencia sexista de manera intrínseca? Algunas estudiosas feministas sostienen que, según se ha desarrollado desde las primeras etapas de la época moderna, la ciencia representa una perspectiva fundamentalmente masculina de la naturaleza. La ciencia, según ellas, tiene una función importante (si no clave) en el mantenimiento de una relación esencialmente explotadora entre los seres humanos y el resto del mundo natural. Además, la ciencia y los científicos son culpables de haber denigrado de un modo sistemático otros medios, básicamente femeninos, de conocimiento que estimularían una relación más nutricia y ecológicamente amistosa con la naturaleza. Hay también otros aspectos en los que la ciencia podría ser considerada como algo sexista. Desde luego, la práctica de la filosofía natural y de la ciencia en los siglos anteriores fue un coto casi en exclusiva masculino. Las escasas mujeres que fueron capaces de participar en iniciativas científicas quedaron por lo común relegadas a los márgenes de la disciplina. Esto podría aceptarse como prueba de la discriminación sistemática ejercida por los hombres de ciencia sobre las mujeres. También podríamos considerarlo una prueba de que la ciencia es el resultado de modos de pensar en esencia masculinos y que, como consecuencia de ello, pocas mujeres la contemplan como una actividad atractiva. Hay varias

formas de analizar esas cuestiones; en este capítulo sólo podremos plantear una breve visión general.

El dominio de la naturaleza

Algunas historiadoras feministas de la ciencia han examinado la revolución científica de los siglos XVI y XVII bajo una luz muy distinta de la convencional. Tradicionalmente, al menos, la revolución científica se ha considerado en general como el despertar de una nueva era ilustrada. Según esa idea, la aparición de la Nueva Ciencia anunciaba la victoria de la experiencia sobre la autoridad. Se entendía que el ascenso del método experimental y la aplicación sistemática de la razón humana a la comprensión de las leyes de la naturaleza habían supuesto una ruptura concluyente con la vieja filosofía escolástica aristotélica. Desde este punto de vista, la revolución científica era indiscutiblemente progresiva y esencialmente benévola. Básicamente, algo bueno. Como hemos visto, una nueva generación de historiadores de la ciencia ha arrojado algunas dudas sobre esa halagüeña imagen tradicional del progreso científico sin escollos (véase cap. 2, «La revolución científica»). En la actualidad, los historiadores y los filósofos de la ciencia están mucho menos convencidos de que exista algo como un método científico único. Los primeros se muestran ahora inclinados a examinar la aparición de la Nueva Ciencia en el contexto concreto de la cultura europea de principios de la época moderna más que verla como el resultado inevitable de la aplicación de una razón humana universal. Algunas historiadoras feministas de la ciencia han sugerido, además, que la revolución científica fue, en la teoría y en la práctica, un fenómeno abrumadoramente masculino y sexista.

En una influyente descripción de la aparición de la ciencia moderna, publicada en 1980, la historiadora feminista medioambiental Carolyn Merchant indicaba que la revolución científica invalidó las ideas tradicionales sobre vivir en armonía con la naturaleza y favoreció la explotación de los recursos naturales, que a su vez ratificó el sometimiento de la mujer (Merchant, 1980). Señalaba también la «asociación antiquísima» entre las mujeres y la naturaleza y sostenía que la

revolución científica había traído consigo una nueva cosmovisión mecanicista directamente responsable de la explotación tanto de la naturaleza como de las mujeres. Las filosofías tradicionales de la naturaleza han considerado que ésta es en esencia femenina. La tierra era una madre nutricia que atendía las necesidades de la humanidad. Esta imagen de la tierra como madre llevaba incorporadas fuertes restricciones éticas a la explotación de los recursos naturales. Para la humanidad, saquear los recursos de la tierra sería el equivalente moral de un niño que ataca a su madre. Con arreglo a esta perspectiva, las filosofías tradicionales de la naturaleza defendían la vida en armonía con ésta en vez de su explotación. Junto a la imagen de la naturaleza como madre llegó la idea de que el cosmos debía ser considerado como una unidad orgánica. La metáfora predominante del universo era la de un cuerpo vivo (fig. 21.1).

Merchant y otras, como Evelyn Fox-Keller, han afirmado que una consecuencia clave de la revolución científica fue acabar con esa metáfora tradicional del universo como un ser vivo femenino y reemplazarla por la imagen de una máquina (Merchant, 1980; Fox-Keller, 1985). Si los europeos premodernos habían considerado el cosmos como algo vivo, los instigadores de la revolución científica decían que lo mejor era verlo como un conjunto inanimado de partes mecánicas. Su alegoría favorita para el funcionamiento de la naturaleza era el reloj. Por ejemplo, el filósofo griego Platón, en su *Timeo*, describió explícitamente el universo como un ser vivo con un alma femenina. Sus sucesores neoplatónicos del Renacimiento, como el inglés Robert Fludd, representaron asimismo el mundo como una mujer. Ese tipo de imágenes respaldaban de forma expresa la idea de que el propio universo era un ser vivo (femenino). Al contrario, los promotores de la Nueva Ciencia, entre ellos René Descartes, contemplaban la naturaleza en términos explícitamente mecánicos. Aquélla era una máquina sin alma puesta en marcha por Dios. Según Descartes, tampoco los animales tenían alma. Otros filósofos naturales del siglo XVII, como el inglés Francis Bacon o el anglo-irlandés Robert Boyle, observaban la naturaleza prácticamente bajo el mismo prisma. Las historiadoras feministas de la ciencia han sugerido que el predominio de la metáfora de la máquina ocasionó un cambio radical en el modo como los euro-

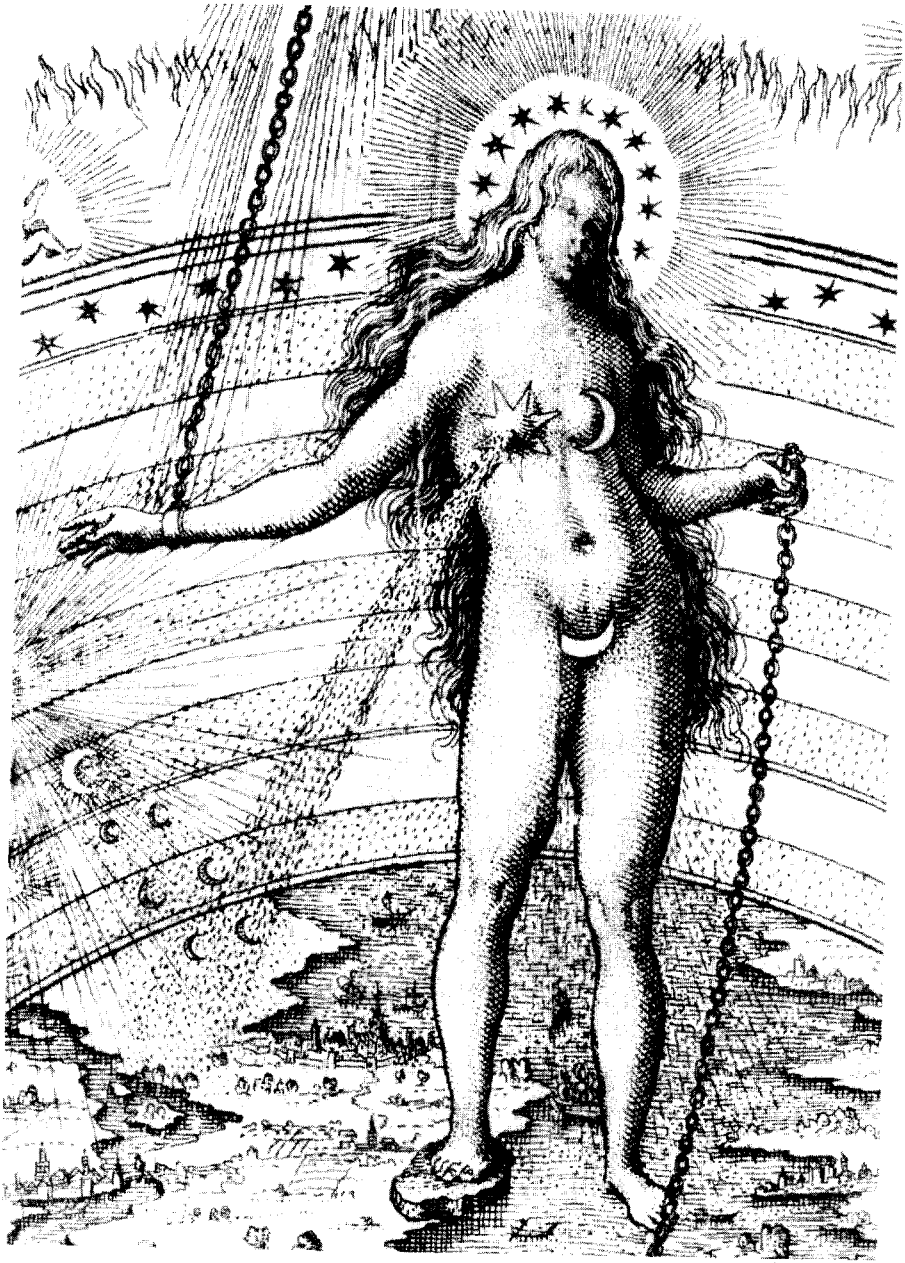


FIGURA 21.1. Alma femenina del mundo, ilustrada en *Utriusque cosmi maioris scilicet et minoris metaphysica* (1617), de Robert Fludd.

peos se veían a sí mismos en relación con la naturaleza. Ésta ya no era una madre nutricia sino un recurso que había que explotar.

De hecho, ciertas historiadoras feministas han señalado que la metáfora cada vez más omnipresente de la relación de la Nueva Ciencia con la naturaleza es la de una violación. En la medida en que los impulsores de la revolución científica todavía consideraban que la naturaleza era femenina, describían su relación con ella en términos de dominación y penetración. Francis Bacon se refería al proceso de experimentación como «la inquisición de la naturaleza» y señalaba que «en el útero de la naturaleza aún hay guardados muchos secretos de excelente utilidad». El objetivo de la Nueva Ciencia era desnudar la naturaleza, poner sus secretos al descubierto y penetrar en sus misterios (Merchant, 1980). Fox-Keller llama asimismo la atención sobre el lenguaje de Bacon en ese contexto y el modo como representaba el método experimental: una naturaleza femenina que se ve forzada a someterse a la autoridad y el poder masculinos (Fox-Keller, 1985). La utopía científica de Bacon de la Casa de Salomón, en la *Nueva Atlántida*, deja poco margen para el conocimiento de las mujeres. La filosofía natural se especificaba cada vez más como una actividad intrínsecamente masculina en la que las mujeres pintaban muy poco, si es que pintaban algo. Las historiadoras feministas de la ciencia trazan paralelismos entre, por un lado, la creciente masculinización de la ciencia y, por otro, el ascenso de la filosofía mecanicista y la cada vez mayor marginación económica de las mujeres y los ataques contra su espacio cultural mediante instituciones como los juicios por brujería.

Partiendo de esa perspectiva, se considera que la revolución científica está íntimamente ligada al ascenso del capitalismo y los inicios de la industrialización (véase cap. 17, «Ciencia y tecnología»). La ciencia moderna se define como una filosofía que, cuando menos, justifica la destrucción generalizada del entorno y la sobreexplotación sistemática de los recursos naturales. Merchant afirma que las ideas orgánicas de la naturaleza como madre nutricia como mínimo sirven de freno a los abusos medioambientales. Señala asimismo que diversos autores antiguos, como el romano Plinio, recurrían de forma explícita a la metáfora de la Madre Tierra para prevenir contra la excesiva extracción minera y la deforestación, y sugerían, por ejemplo, que los terremotos

eran manifestaciones de disgusto de la tierra ante el saqueo de sus tesoros. Arruinar la inviolabilidad del cuerpo del planeta mediante la explotación excesivamente entusiasta de sus recursos era una expresión de avaricia, codicia y egoísmo. Al liquidar los relatos tradicionales del cosmos como unidad orgánica y describirlo como una máquina sin alma, la filosofía mecanicista avalaba los ataques generalizados sobre el entorno. Los filósofos naturales, como Bacon, eran muy claros cuando afirmaban que «el conocimiento es poder» y que la finalidad de la filosofía natural era que el hombre pudiera sacar un provecho económico de los recursos de la naturaleza. De este modo, la filosofía natural en general —y la mecanicista en particular— podían entenderse como la justificación ideológica y filosófica de una expansión industrial y comercial ilimitada.

Esos razonamientos sobre la relación entre la ciencia como expresión de poder masculino, por un lado, y como herramienta y justificación de la explotación ambiental, por otro, son un indicio de los crecientes vínculos entre los movimientos feminista y ecologista de la segunda mitad del siglo XX. Carolyn Merchant, por ejemplo, mediante sus escritos intentaba de manera rotunda fomentar el crecimiento del ecofeminismo radical. Ella y otras consideraban que sus interpretaciones de la ciencia eran esfuerzos para colocar en un contexto histórico lo que percibían como perspectiva masculina de la ciencia moderna, amén de intentos de reactivar una visión más holística y feminista de la relación de la humanidad con el mundo natural. Es difícil cuestionar buena parte de lo que decían sobre la actividad fundamentalmente masculina y antifemenina de la filosofía natural de las primeras etapas de la época moderna; la cosmovisión de los filósofos naturales del siglo XVII tenía una indiscutible y abrumadora orientación masculina. Aun así, sí es bastante más discutible que, durante esa primera fase de la época moderna, la filosofía natural fuera una actividad más marcada por el género que ninguna otra. Sus afirmaciones sobre las filosofías más orgánicas y con orientación más femenina de ciertos escritores antiguos y medievales son algo más difíciles de aceptar a pies juntillas. A lo largo de la historia, distintos pensadores han propuesto ideas más o menos orgánicas o mecanicistas por igual sobre la naturaleza. Parece haber pocas pruebas de que filósofos con inclinación orgánica

—por ejemplo, Platón— fueran particularmente más amigos de las mujeres que sus homólogos mecanicistas.

Heroínas científicas

Mientras algunas historiadoras feministas de la ciencia pretenden poner de manifiesto el carácter esencialmente masculino de la actividad científica, otras tratan de demostrar que, en el pasado, las mujeres realizaron diversas contribuciones importantes y prestigiosas al conocimiento científico. El principal objetivo de esos estudios a menudo es doble. Por un lado, ciertas historiadoras feministas intentan mostrar cómo los hombres (científicos e historiadores de la ciencia) han discriminado de manera sistemática a las mujeres, menospreciando o pasando por alto sus logros. Por otro, muchos esfuerzos por recuperar historias perdidas de mujeres con aportaciones valiosas a la ciencia tienen un carácter francamente festivo. Su propósito es simplemente celebrar las contribuciones de las mujeres y ofrecer modelos de rol femenino a las aspirantes a científicas (Alic, 1986). Algunas historiadoras también intentan presentar los casos de científicas del pasado como ejemplos de que las mujeres y los hombres enfocan el estudio de la naturaleza de manera distinta (Fox-Keller, 1983). De esta forma, esperan demostrar que la participación de las mujeres en las ciencias podría cambiar el carácter del propio conocimiento científico. Al menos, examinar las aportaciones de las mujeres al desarrollo de las ciencias ayuda a alejar el centro de atención tradicional de la ciencia como resultado de sucesivos descubrimientos heroicos de grandes hombres. Ayuda también a revelar hasta qué punto existe un abanico de ideas alternativas sobre lo que es la ciencia, y cómo debería practicarse ésta por quienes han estado siempre con nosotros (Abir-Am y Outram, 1987).

Una mujer citada por Carolyn Merchant, entre otras, como ejemplo destacado del modo como el enfoque femenino del estudio del mundo natural puede diferir del espíritu masculino dominante es Anne Conway, filósofa natural de las primeras etapas de la época moderna (Merchant, 1980). Nacida en el seno de una familia acaudalada

y políticamente influyente (su padre había sido presidente de la Cámara de los Comunes), Conway mantuvo una abundante correspondencia con el platónico de Cambridge Henry More, que había sido uno de los tutores de sus hermanos. En las cartas, ella emprendió una crítica filosófica del dualismo cartesiano. También se carteó con el filósofo de la casa de Hannover Gottfried Wilhelm von Leibniz, quien más adelante fue un crítico especialmente ruidoso de la filosofía natural newtoniana. Leibniz seguramente sacó de las cartas de Conway el término «mónada», utilizado en sus ataques filosóficos contra el dualismo. En años posteriores, Conway se convirtió en una cuáquera, movimiento peligrosamente independiente de la Inglaterra del siglo XVII (véase cap. 15, «Ciencia y religión»). Murió joven, y su único trabajo filosófico completo, *The Principles of the Most Ancient and Modern Philosophy* [Principios de la filosofía más antigua y moderna], fue publicado póstumamente en 1690. La perspicacia filosófica de Conway fue muy admirada. More decía que «apenas había conocido a ninguna Persona, Hombre o Mujer, de más Talento natural que Lady Conway». Las estudiosas feministas citan con frecuencia el platonismo y la oposición de Conway al materialismo y al dualismo filosófico de Descartes como indicio de una oposición particularmente femenina a la predominante tendencia a la filosofía mecanicista en los círculos intelectuales de principios de la época moderna.

Igual que Conway, la filósofa inglesa Margaret Cavendish se mostró también contraria al materialismo. Procedente de una familia de monárquicos, Margaret fue una de las damas de honor de la reina durante el reinado de Carlos I y la guerra civil inglesa y, tras la derrota de los suyos, huyó con su señora a París. Allí se casó con William Cavendish, destacado monárquico e ilustre filósofo natural. Durante su exilio en Francia y tras regresar a Inglaterra, Cavendish publicó mucho sobre diversas cuestiones, incluida la filosofía natural, lo que, tratándose de una mujer del siglo XVIII, era bastante inusual. En 1667, recibió autorización para asistir a una reunión de la Royal Society y presenciar experimentos realizados por Robert Boyle. Lógicamente, sólo los hombres podían ser miembros de la sociedad, y se produjo un acre debate sobre si una mujer, por eminente que fuera, podía ser admitida siquiera en una reunión (véase cap. 2, «La revolución científi-

ca»). En un opúsculo utópico publicado en 1666, *The Description of a New World Called the Blazing World* [Descripción de un nuevo mundo denominado el mundo resplandeciente], Cavendish describía una academia científica ideal dirigida por una mujer (ella misma) en la que el conocimiento de la naturaleza se adquiría gracias a colaboradores animales antropomórficos. En escritos como *Observations upon Experimental Philosophy* [Observaciones sobre filosofía experimental] (1666) y *Grounds of Natural Philosophy* (1668) [Temas de filosofía natural], defendía la idea de que la naturaleza se conocía a sí misma y ponía en entredicho algunas afirmaciones de Robert Boyle relativas a la función del experimento en la filosofía natural.

La mujer del siglo XIX sobre la que se han hecho las afirmaciones más grandilocuentes por sus contribuciones científicas es sin duda Ada Lovelace (Stein, 1985), que a menudo ha sido aclamada como la «primera programadora informática». Era hija del poeta romántico inglés Lord Byron y su esposa, Anne Isabella, que se separaron poco después de nacer ella. Jamás conoció a su padre. Ada recibió una educación privada a cargo, entre otros, del matemático de Cambridge William Frend y de Augustus de Morgan, el primer catedrático de matemáticas de la Universidad de Londres. Se movió socialmente en círculos filosóficos y trató a diversos científicos ilustres, como Michael Faraday y Charles Babbage. En 1843, tradujo para Babbage una descripción de la máquina analítica del ingeniero italiano L. F. Menebrea, donde incluyó sus propias notas en las que especificaba, entre otras cosas, un posible método de programación de dicha máquina para tabular los números de Bernouilli. Gracias a eso fue considerada la primera programadora informática o, como se dice ahora, «la primera *hacker* (pirata) informática». Pese al absoluto anacronismo de la calificación cuando aún faltaba más de un siglo para la invención del primer ordenador electrónico, Lovelace supone un buen ejemplo del papel que desempeñaron algunas mujeres en la comunidad científica de principios del siglo XIX (Toole, 1992). Tenía un estatus social que le permitía moverse fácilmente en círculos filosóficos; y también el tiempo libre y la inclinación a estar bien informada en filosofía natural, de modo que sus ideas y opiniones eran tomadas en serio por sus interlocutores científicos masculinos. Lo que no tuvo como mujer fue

una educación científica sistemática ni la oportunidad de formar parte de sociedades y llegar a ser una colaboradora reconocida de pleno derecho.

Sólo a finales del siglo XIX empezaron las mujeres a tener acceso a educación científica universitaria en gran número, aunque es justo señalar que, hasta mediados de siglo, tampoco eran muchos los hombres que recibían una formación científica de ese nivel. Una de las primeras mujeres en ejercer una influencia significativa en el mundo cada vez más profesional de finales del siglo XIX fue Marie Curie, nacida en Polonia como Maria Skodlowska. Tras estudiar en la Sorbona de París, tuvo interés en investigar la misteriosa nueva forma de radiación observada por el físico francés Henri Becquerel en muestras de sales de uranio. Junto con su esposo Pierre Curie, Marie aisló dos nuevas sustancias radiactivas: el polonio y el radio. En 1903, se les concedió el premio Nobel por sus investigaciones; Marie Curie fue la primera mujer en recibirlo. Tras la muerte de su esposo, ella prosiguió sus estudios como autoridad destacada en el nuevo ámbito de la radiactividad en cuya creación desempeñó un papel crucial. Acabó siendo realmente influyente en el mundo de la física, no sólo porque siguió haciendo importantes aportaciones sino también porque llegó a dirigir su propio laboratorio y estableció vínculos entre la ciencia y la industria (fig. 21.2). No obstante, pese a su categoría, en su camino al éxito encontró más obstáculos de los que se habría encontrado un hombre. Por ejemplo, casi arruinó su carrera cuando corrió el rumor de que estaba teniendo una aventura con su colega Paul Langevin (Curie, 1938; Quinn, 1995).

Se utiliza con frecuencia el ejemplo de Rosalind Franklin para ilustrar gráficamente las dificultades y los prejuicios afrontados por las mujeres científicas para ver reconocido su trabajo (Maddox, 2000). Franklin estudió ciencias naturales en el Newham College, Cambridge, donde se licenció en 1941. Se doctoró en química física en 1945, antes de ir a trabajar al Laboratorio Central de Servicios Químicos del Estado, en París, donde se familiarizó con las últimas técnicas de cristalografía por rayos X. Mientras desarrollaba su labor en el King's College de Londres, a principios de la década de 1950, fue la primera persona en conseguir imágenes del ADN mediante rayos X, lo que fue

FIGURA 21.2. Marie Curie trabajando en su laboratorio (imagen por cortesía del Instituto Americano de Física, College Park, MD).

decisivo para ayudar a Francis Crick y James Watson a establecer la estructura de esa molécula. Su contribución al descubrimiento fue sistemáticamente subestimada por sus colegas masculinos, quienes a menudo excluían a Franklin de sus reuniones informales de trabajo. Las innovadoras fotografías del ADN por rayos X fueron mostradas a Crick y Watson sin el permiso de su autora (véase cap. 8, «Genética»). Franklin murió de cáncer de ovarios en 1958, a los treinta y siete años, cuatro antes de que Watson y Crick, junto con Maurice Wilkins, colega de ella del King's College, recibieran el premio Nobel por el hallazgo. James Watson, en su best-séller *La doble hélice*, donde describió el descubrimiento de la estructura del ADN, calificaba a Franklin de marisabidilla frustrada y obstruccionista, rebajando en gran parte la importancia que tuvieron las fotografías para precisar la estructura del ADN (Watson, 1968).

El caso de Franklin es un buen ejemplo de las dificultadas arrostradas por las mujeres científicas en un mundo profesional dominado por los hombres. La historia de su colega cristalógrafa de rayos X, Dorothy Crowfoot Hodgkin, ha servido para ilustrar las diversas maneras en que una científica puede llegar a labrarse su propia carrera en un mundo de la ciencia en manos de los hombres. Dorothy Crowfoot estudió química en Oxford antes de trasladarse a Cambridge para trabajar con el cristalógrafo de rayos X y marxista irlandés J. D. Bernal. Al igual que su mentor, era socialista y pacifista y participaba activamente en grupos como la Asociación de Trabajadores Científicos y el Grupo de Científicos de Cambridge contrarios a la Guerra. En 1937, se casó con Thomas Hodgkin, profesor de la Asociación por la Educación de los Trabajadores. Crowfoot llevó a cabo estudios mediante cristalografía de rayos X para ayudar a descifrar la estructura de moléculas medicinalmente valiosas, como la insulina, la vitamina B_{12} o la penicilina. En ese trabajo, su objetivo explícito era hacer un uso humanitario de sus conocimientos científicos. En 1964 recibió el premio Nobel de química. En conformidad con sus ideales socialistas, Crowfoot también entendía la ciencia como una actividad cooperativa más que individualista. Como directora de laboratorio, alentaba la transparencia y el intercambio de ideas más que la competencia. Se ha considerado que rasgos como

ésos son indicios de un enfoque de la ciencia particularmente femenino (Hudson, 1991).

Como podemos ver, los historiadores de la ciencia han utilizado las carreras de ciertas mujeres de diversas maneras. En unos casos para poner de manifiesto que, en efecto, las mujeres han hecho aportaciones importantes a la investigación científica. En otros, para mostrar el grado en que han sido marginadas y menospreciadas en sus esfuerzos. Y aún en otros para revelar cómo algunas han practicado una ciencia característicamente femenina. Los historiadores también han empezado a analizar de manera más general las diversas formas en que las mujeres han respaldado y mantenido la actividad científica. Durante los siglos XVIII y XIX, las esposas y las hermanas a menudo realizaban una función importante como ayudantes y colaboradoras. La esposa del químico francés Lavoisier tomó parte activa en los estudios experimentales de éste, y el astrónomo anglo-alemán William Herschel recibía con frecuencia la ayuda de su hermana Caroline. En el siglo XIX, mujeres como Jane Marcet o Mary Somerville desarrollaron una labor importante como divulgadoras científicas escribiendo libros para auditorios no especializados (Neeley, 2001). Además, durante los siglos XVIII y XIX las mujeres fueron un componente destacado del público de la ciencia (véase cap. 16, «Ciencia popular»). Participaron asimismo regularmente en el fomento de ciencias alternativas, como el mesmerismo y la frenología (Winter, 1998). Éste es el método que se va imponiendo entre los historiadores que examinan el papel de las mujeres en la ciencia. En vez de intentar encajarlas en la imagen tradicional de una serie de grandes hombres autores de grandes descubrimientos, analizan el cambiante lugar de la mujer en la cultura científica.

Definición del cuerpo

Buena parte de la atención reciente de los historiadores de la ciencia se ha centrado en los diversos modos en que, en el pasado, se utilizó la ciencia para definir características de género. Las historiadoras feministas a menudo sostienen no sólo que la ciencia misma es predominante-

mente (o incluso esencialmente) una actividad masculina sino que la manera en que ha solido mostrar y definir a las mujeres y sus cuerpos es también sexista de manera intrínseca. Según esa perspectiva, el cuerpo de la mujer ha sido descrito como consustancialmente inferior al del hombre, dándose por sentado que esa inferioridad repercutía en las capacidades mentales de ellas y su lugar en la sociedad. Se ha considerado que el cuerpo de las mujeres —en especial sus órganos reproductores— las hace muy susceptibles de sufrir trastornos mentales o nerviosos. También se ha definido a la mujer como menos capaz que el hombre en las tareas de razonamiento abstracto (y, por tanto, menos capaces de ser buenas científicas). Durante el siglo XIX, esos argumentos solían tener el propósito de impedir la educación de las mujeres. Por ejemplo, se utilizaron ciertas teorías nuevas en física —como la conservación de la energía— y en las ciencias de la vida —como la selección natural de Darwin— para explicar la inferioridad intrínseca femenina, tanto mental como física. Casi del mismo modo que el racismo sirvió para justificar la subyugación de los no europeos, esas teorías científicas se usaron para avalar el sometimiento social de las mujeres a los hombres.

El historiador y antropólogo Thomas Laqueur ha sugerido que la idea moderna de que los cuerpos masculino y femenino son intrínseca y esencialmente distintos tiene un origen bastante reciente (Laqueur, 1990). Desde la época de los antiguos griegos hasta las primeras etapas del período moderno, la diferencia física entre los hombres y las mujeres se describió a menudo como de grado, no de tipo. Se entendía que el cuerpo femenino era simplemente una versión menos perfecta del masculino. Se consideraba que los órganos reproductores de las mujeres eran órganos reproductores masculinos invertidos. Por ejemplo, se pensaba que los ovarios equivalían a los testículos; el útero era un escroto al revés, y lo mismo la vagina con respecto al pene. Según el filósofo griego Aristóteles, la principal diferencia entre los cuerpos masculino y femenino radicaba en la cantidad de calor respectiva. El cuerpo del hombre era más caliente que el de la mujer, lo que daba lugar a que los genitales masculinos estuvieran fuera y los femeninos dentro. Hasta los siglos XVI o XVII circularon muchas historias populares sobre mujeres jóvenes convertidas en hombres por una conmo-

ción repentina debida a que se les habían salido los órganos reproductores —historias que los filósofos naturales y los médicos creían a pies juntillas—. No obstante, a partir del siglo XVII se fue estimando de manera progresiva que el cuerpo de la mujer era anatómicamente distinto. El modelo «de un sexo» para el género fue sustituido por el «de dos sexos».

Según la historiadora de la ciencia Londa Schiebinger, a finales del siglo XVIII los anatomistas iban haciendo suya gradualmente la opinión de que la diferencia física entre hombres y mujeres suponía mucho más que una disparidad en la ubicación y la función de los órganos reproductores: abarcaba a todo el cuerpo. Schiebinger cita a un comentarista de principios del siglo XIX, para quien «la vida entera adopta un carácter femenino o masculino» (Schiebinger, 1989). A mediados del siglo XVIII, una nueva generación de anatomistas estaba dibujando ilustraciones de los detalles del cuerpo humano —concretamente el esqueleto— en las que se apreciaba que los hombres y las mujeres eran anatómicamente distintos a todos los niveles. Por lo general, el esqueleto masculino aparecía con las piernas más largas que el de su equivalente femenino. El esqueleto femenino se representaba con un cinturón pélvico más fuerte y más ancho acorde con su función materna. El cráneo femenino también se solía dibujar más pequeño con respecto al resto del cuerpo que el cráneo de los hombres, como señal de la superior capacidad intelectual de éstos. En su *Anatomy of the Bones of the Human Body* [Anatomía de los huesos del cuerpo humano], de 1829, el anatomista de Edimburgo John Barclay dibujó el esqueleto humano al lado del de un caballo, lo que hacía resaltar la fuerza y la robustez del primero. Por contraste, el esqueleto femenino se comparaba con el de un avestruz, con lo que se ponía de relieve la pelvis grande, el cuello elegante y el cráneo comparativamente pequeño (figs. 21.3 y 21.4).

En el siglo XIX, las mujeres aparecían cada vez más representadas como especialmente propensas a trastornos nerviosos y mentales derivados de su constitución física. Como han señalado varios historiadores, en general se consideraba que el cuerpo masculino era normal y el femenino patológico, por lo que este último precisaba una continua intervención médica y científica (Moscucci, 1991). Se entendía

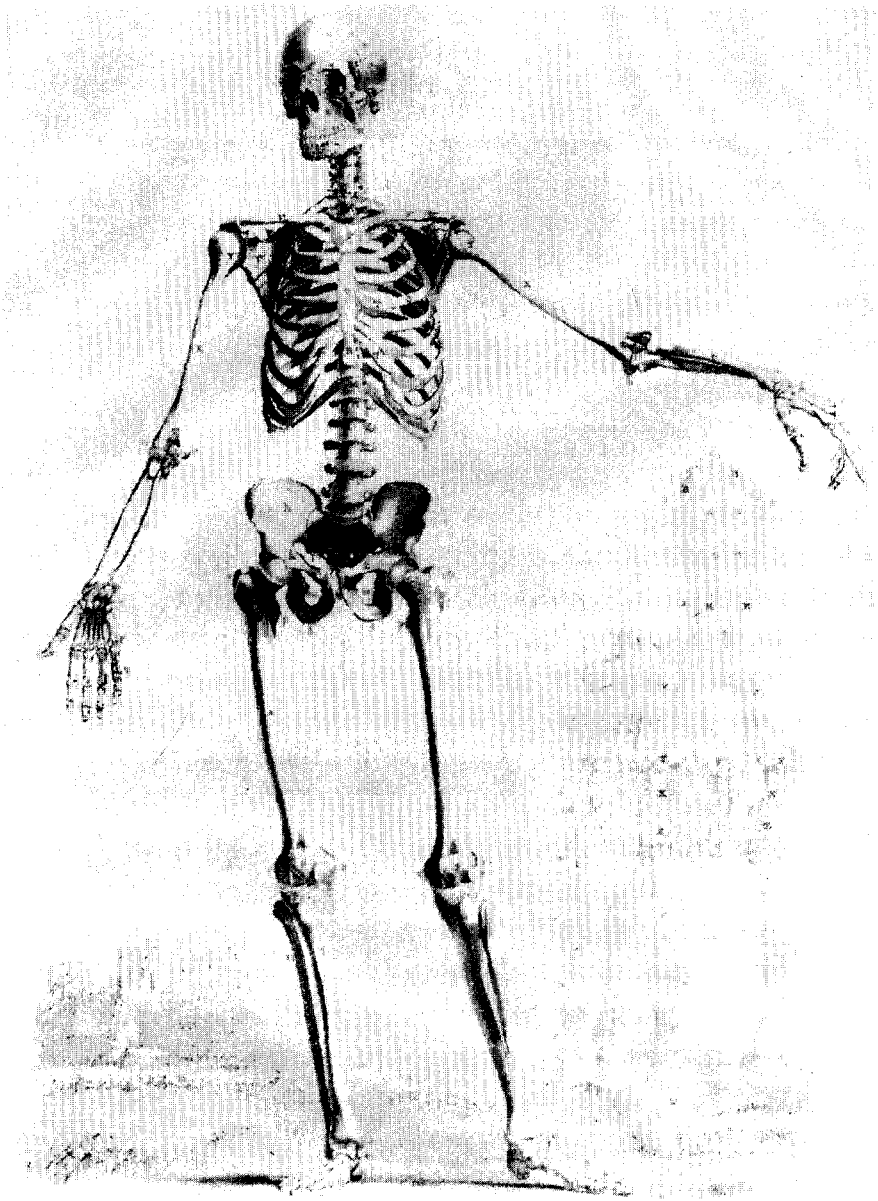


FIGURA 21.3. Cualidades masculinas y robustas del esqueleto del hombre puestas de manifiesto en una comparación con el esqueleto del caballo, en *The Anatomy of the Bones of the Human Body* (18929), de John Barclay.

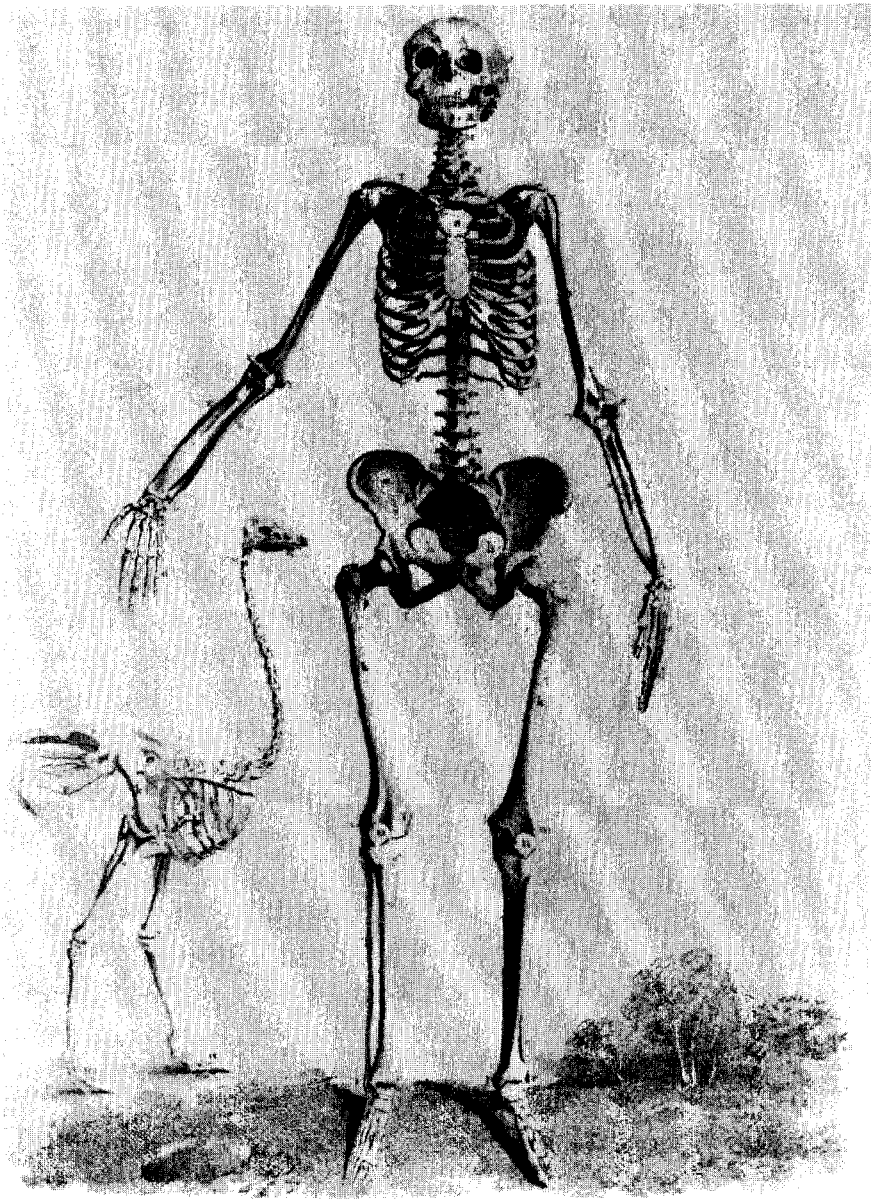


FIGURA 21.4. La frágil feminidad del esqueleto femenino puesta de relieve en la comparación con el esqueleto de un avestruz, en *The Anatomy of the Bones of the Human Body* (18929), de John Barclay.

que las mujeres eran particularmente proclives a la histeria debido a la acción perturbadora de sus órganos reproductores en el cerebro. De hecho, el término «histeria» proviene de la palabra griega para «útero». A mediados del siglo XIX, ciertos expertos en enfermedades nerviosas de las mujeres, como el profesor de Edimburgo Thomas Laycock, afirmaban que diversos trastornos de los órganos reproductores femeninos estimulaban un acto reflejo en el cerebro, lo que provocaba inestabilidad mental. Como consecuencia de esas afecciones, la «mujer amable, sincera y abnegada» se volvía «maliciosa, pendenciera, egoísta; la piedad ha degenerado en hipocresía, incluso en vicio, y no hay consideración hacia el aspecto o los sentimientos de los demás». El ideal victoriano de feminidad se simbolizaba como normas científicamente establecidas de conducta femenina (Showalter, 1987). Por tanto, las desviaciones de ese ideal a menudo se consideraban indicios de enfermedad mental. Se daba por sentado que expertos como Laycock o Henry Maudsley a mediados de siglo, o Jean-Martin Charcot o Sigmund Freud en años posteriores, tenían el suficiente conocimiento científico sobre el funcionamiento de la mente y el cuerpo femeninos para mantener bajo control la tendencia natural de las mujeres a la desviación mental (Masson, 1986).

A medida que aparecían teorías científicas nuevas, se solían adoptar rápidamente para procurar una explicación de la inferioridad intelectual y física de las mujeres. La teoría de la conservación de la energía del siglo XIX es un buen ejemplo. Muchos médicos y científicos de esa época suscribían, en líneas generales, la idea de que el cuerpo humano contenía sólo una cantidad finita de fuerza nerviosa, y que utilizar demasiado de la misma para un fin redundaba en incapacidad para otras funciones. La teoría de la conservación de la energía proporcionaba al extendido supuesto una base lógica. Ponía de manifiesto, entre otras cosas, los peligros de la educación de las mujeres. Si éstas llegaban a estar demasiado educadas, el cerebro consumiría demasiados recursos finitos de energía nerviosa del cuerpo, por lo que no quedaría suficiente para otros usos, como, por ejemplo, la reproducción. Por tanto, se podía utilizar la conservación de la energía como argumento contra la concesión a las mujeres del acceso a la educación universitaria, pues ésta ocasionaría esterilidad. La teoría también aclaraba por

qué la mayoría de las mujeres eran incapaces de sacar provecho de una educación así. De hecho, se consumía tanta provisión de energía nerviosa para mantener los órganos reproductores que quedaba comparativamente poca para la actividad intelectual. La misma física del cuerpo de las mujeres parecía sugerir que éstas eran más aptas para la vida doméstica que para la actividad pública o profesional (Russett, 1989).

Prácticamente del mismo modo, se utilizaron las teorías de Darwin de la evolución mediante la selección natural para demostrar cómo el lugar de la mujer en la sociedad estaba determinado por la naturaleza y no por ninguna restricción social. Según esa idea, las características físicas y mentales que los victorianos consideraban típicamente masculinas o femeninas eran simplemente fruto de la selección natural. Darwin afirmaba en concreto que las diferencias entre hombres y mujeres se debían en buena parte al proceso de selección sexual. Los hombres competían entre sí para conseguir las mujeres sexualmente más seductoras. El resultado era que sólo los más fuertes e ingeniosos se reproducían de manera satisfactoria. En esas circunstancias, las mujeres eran escogidas por su atractivo sexual más que por ninguna otra cualidad, como la fuerza física o la capacidad intelectual. Según Darwin, el resultado final de las selecciones natural y sexual era que «el hombre alcanza más prestigio que las mujeres, con independencia de la tarea en cuestión —requiera ésta pensamiento profundo, razonamiento o imaginación, o únicamente el uso de los sentidos y las manos—». Opiniones como ésas sobre la adaptación evolutiva de los hombres y las mujeres a roles particulares en la sociedad fueron también desarrolladas por otros, como el amigo y aliado de Darwin T. H. Huxley (véase cap. 6, «La revolución darwiniana», y cap. 18, «Biología e ideología». Los antropólogos de finales del siglo XIX y principios del XX hablaban de modo similar de las diversas formas en que las mujeres y los hombres se adaptaban a papeles sociales concretos en las distintas culturas (Richards, 1989).

De acuerdo con diversas historiadoras feministas, los ejemplos anteriores ponen de manifiesto cómo se ha utilizado la ciencia para procurar un sólido respaldo a la subordinación social de las mujeres. Partiendo de esa perspectiva, se puede considerar que ha reforzado, si no creado directamente, actitudes sociales perjudiciales para el lugar de

las mujeres en la sociedad. A menudo se han propuesto argumentos de esta índole para ilustrar el modo como los científicos misóginos han dejado que los prejuicios desvirtuaran su objetividad. Según ese parecer, son los científicos tomados de uno en uno —no tanto la ciencia propiamente dicha— los responsables de divulgar imágenes estereotipadas de la inferioridad femenina. Se han ofrecido razonamientos parecidos con respecto al racismo científico. Esa idea da por sentado que la ciencia es esencialmente objetiva y no está contaminada por la cultura en la que se halla inmersa. Presupone asimismo que hay maneras «buenas» y «malas» de hacer ciencia, y que la ciencia sexista —como la racista— es mala sin más. Otros afirman que la ciencia es intrínsecamente sexista, y que, por tanto, es lógico que genere ideas sobre las mujeres que reafirmen los prejuicios masculinos. Desde esa óptica, no existe «ciencia buena». No obstante, si asumimos la tesis de que la ciencia es siempre producto de circunstancias culturales determinadas, quizá nos sorprenderá menos observar las diversas maneras en que aquélla suele reflejar los valores de las culturas concretas en las que se ha llevado a cabo.

¿Es sexista la ciencia?

El enfoque feminista más radical señala que la ciencia, o al menos la que se practica en la actualidad, es una actividad intrínsecamente sexista. Por lo común, este argumento se expresa de dos maneras posibles. Ciertos comentaristas apuntan a un sustancial desequilibrio de género en la composición de la comunidad científica tanto históricamente como en la actualidad; sostienen también que eso es un indicio de sexismo institucional en el seno de la comunidad científica, que disuade a la mujeres de participar en la actividad científica. Algunos abogan por la necesidad de implantar medidas concretas para que la ciencia atraiga más a las mujeres. Esto explica en parte el interés, analizado antes, por intentar recuperar el papel que ellas tuvieron en el pasado como colaboradoras importantes en nuevos descubrimientos e ideas. Algunos historiadores esperan que se puedan proponer esas figuras como modelos de rol para potenciales mujeres científicas. Sin

embargo, las críticas feministas más radicales entienden que el desequilibrio de género evidencia un problema más profundo. Para ellas, las mujeres suelen estar poco representadas en la comunidad científica porque la ciencia es el resultado de formas de pensamiento e interacción con el mundo manifiestamente masculinas y esencialmente sexistas. Desde esa perspectiva, el desequilibrio de género es mucho más que una simple tendencia histórica: está incrustado en la estructura misma de la ciencia (Harding, 1986).

En gran medida, ese razonamiento se basa en la afirmación, analizada al principio del capítulo, de que la ciencia moderna surgió de una visión de la naturaleza como cuerpo femenino a la espera de ser violado. Esas críticas feministas radicales señalan el predominio de las metáforas de la penetración, saqueo y violación en las primeras descripciones modernas del método científico —en concreto, el método experimental— y llegan a la conclusión de que aquéllas son un índice de algo fundamental relativo al modo como la ciencia, entonces y ahora, contempla el mundo. Opinan asimismo que metáforas como ésas son esenciales a la cosmovisión científica —están en el núcleo mismo de las investigaciones—. Además, las críticas feministas radicales sostienen que el tipo de pensamiento que, según ellas, radica en el centro de la ciencia es básicamente masculino. Partiendo de esta perspectiva, es lógico que las mujeres no quieran ser científicas. Para ello, deberían ponerse a pensar como los hombres.

En el núcleo de muchas de esas críticas feministas está la idea de que la ciencia moderna mantiene una relación básicamente explotadora y destructiva con el mundo natural. Esto es lo que Harding tiene presente, por ejemplo, cuando dice que la ciencia «concibe la naturaleza como algo separado y que hay que controlar». De nuevo, las críticas feministas mantienen que ésta es una forma de pensar típicamente masculina. Normalmente, los hombres se ven a sí mismos separados de la naturaleza y, por tanto, con la necesidad de controlarla, mientras que las mujeres suelen entender que forman parte de la naturaleza y que, por tanto, viven en armonía con ella. En su influyente libro *Science and Sexual Oppression* [Ciencia y opresión sexual], el crítico científico Brian Easlea afirma no sólo que la ciencia está inextricablemente vinculada a la opresión de las mujeres por los

hombres, sino también que está muy ligada a la opresión occidental (masculina) sobre las culturas no europeas y a la destrucción medioambiental. Easlea sugiere que «cuando las posibilidades que la ciencia ofrece y sigue ofreciendo para mejorar la vida de toda la humanidad se miden con respecto a la realidad opresora y destructiva que tan a menudo ha caracterizado a la ciencia posterior al siglo XVI, quedan pocas dudas de que la práctica científica ha sido abrumadoramente irracional» (Easlea, 1981). Señala también que la única manera de redimir a la ciencia es eliminando de raíz la dominante perspectiva masculina de la naturaleza y las relaciones sociales.

Como alternativa a la ciencia masculina, muchas críticas feministas plantean la posibilidad de una ciencia basada en formas de conocimiento esencialmente femeninas. Según ellas, en vez de conformarse con el enfoque masculino preponderante, las mujeres han de desarrollar su propia ciencia feminista. Las comentaristas más radicales sostienen que, lejos de animar a las mujeres a iniciar carreras científicas, las feministas deben intentar disuadirlas activamente de participar en una iniciativa básicamente misógina. La ciencia feminista se basaría en características en esencial femeninas favorecedoras de la armonía con la naturaleza. De acuerdo con esta idea, igual que la ciencia masculina se basa en modos de pensar fundamentalmente masculinos, una ciencia femenina se inspiraría en modos de pensar propios de las mujeres. Una ciencia así sería, por ejemplo, más intuitiva que racional, más práctica que abstracta, más cooperativa que competitiva o más nutricia que explotadora. Quizá de forma irónica, algunas de esas críticas feministas parecen coincidir con sus antepasados victorianos misóginos en que los hombres y las mujeres piensan, en efecto, de manera radicalmente distinta. De hecho, a menudo parecen estar de acuerdo en cuáles son con exactitud esas diferencias. Es obvio que la diferencia estriba en que las críticas feministas alaban esas maneras de pensar esencialmente femeninas calificándolas de superiores a las perspectivas masculinas del mundo, mientras que los pensadores victorianos las menospreciaban.

No obstante, algunas críticas feministas de la ciencia han recurrido al posmodernismo para proponer una solución a los problemas de la ciencia masculina. En vez de intentar sustituir la objetividad científ-

fica masculina por una objetividad femenina opuesta y supuestamente más inclusiva y global, feministas como Donna Haraway aceptan el hecho de que existe un número indefinido de maneras de relacionarse con el mundo natural y de entenderlo. Según ella, hay que admitir que todas esas diferentes formas de conocimiento son válidas por igual (Haraway, 1991). El modelo que plantea es «de conversación». Haraway sostiene que, más que ver el mundo como algo pasivo que hay que planificar y manipular, los científicos deben considerar que la naturaleza tiene su propio organismo y relacionarse con ella en esas condiciones. En lugar de adoptar la perspectiva tradicionalmente masculina de la objetividad científica como la «visión desde ninguna parte», sugiere que los científicos, entre otros, reconozcan y celebren el hecho de que todos los conocimientos están «situados». Haraway señala que «los conocimientos situados requieren que el objeto que hay que conocer se represente como un actor o un agente, no como una pantalla, un terreno o un recurso, y desde luego jamás como el esclavo de un amo que clausura la dialéctica en su única agencia y autoría del conocimiento "objetivo"» (1991, p. 188). Lo que da a entender con esto es que podemos adoptar enfoques posmodernos para sugerir que los científicos se imaginen en el mismo nivel que el resto del mundo natural (y no por encima o al margen del mismo) mientras tratan de comprenderlo.

Conclusiones

Como hemos visto, las descripciones feministas de la ciencia operan en varios niveles. Algunas historiadoras feministas dicen que, desde el principio mismo, la ciencia estuvo imbuida de implicaciones masculinas, si no directamente misóginas. Sostienen también que la ciencia adoptó un enfoque de la naturaleza en virtud del cual ésta era femenina, pasiva y susceptible de ser dominada y controlada. Otras intentan recuperar las aportaciones que, en el pasado, hicieron las mujeres al desarrollo científico. Afirman que la contribución de las mujeres a las ciencias ha sido injustamente menospreciada y tratan de encontrar heroínas científicas equiparables a héroes como Newton o Einstein.

También se pretende reinvindicar el importante papel que han cumplido las mujeres en el mundo de la ciencia como público, ayudantes o divulgadoras. Tal vez lo más satisfactorio es que algunas historiadoras feministas de la ciencia han mostrado cómo, en el pasado, se utilizaron determinadas teorías y prácticas científicas para avalar ciertas creencias dominantes sobre el oportuno lugar subordinado de la mujer en la sociedad. Se recurría a la ciencia para poner de manifiesto que la subordinación de las mujeres era fruto más de la naturaleza que de la cultura. Algunas historiadoras feministas han expresado esta opinión en función de la deliberada tergiversación, por parte de los científicos, de las pruebas que respaldan sus creencias misóginas, lo que de paso crea «ciencia mala». Otras han reconocido que esas «tergiversaciones» derivan de circunstancias históricas concretas y no de una conspiración deliberada.

Como ya hemos dado a entender, ciertas interpretaciones feministas de la ciencia tienden al esencialismo. En otras palabras, dan por sentado que la ciencia tiene una «esencia» —un núcleo invariable de rasgos definitorios que han permanecido constantes a lo largo de su historia—. A medida que los historiadores, filósofos y sociólogos de la ciencia se acercan cada vez más a la idea de que es mejor considerar aquélla como un mosaico de actividades, actitudes, conceptos, prácticas, teorías y cosmovisiones —a menudo enfrentadas— en un continuo proceso de cambio, se hace más difícil aceptar que la ciencia es una institución intrínsecamente masculina o que hay formas de conocimiento típicamente masculinas o femeninas. No todas las perspectivas feministas de la ciencia aquí perfiladas concuerdan unas con otras. Por ejemplo, es difícil conciliar la idea de algunas de que la ciencia es sexista por sí misma con los esfuerzos de otras por poner de manifiesto los logros científicos de las mujeres a fin de procurar modelos de rol para científicas en ciernes. Según el primer criterio, al fin y al cabo, probablemente en ciencia no debería haber buenos modelos de rol femeninos. De cualquier modo, las historiadoras feministas han tenido mucho que ver en esa explicación más ponderada y matizada de la actividad científica y sus relaciones sociales. En la actualidad, muy pocos historiadores negarían que, en el pasado, la ciencia desempeñó realmente un papel fundamental, y perjudicial, en el manteni-

miento de la desigualdad social. También está claro que, con frecuencia, las instituciones científicas han sido, en términos modernos, institucionalmente sexistas: han disuadido e impedido que las mujeres participaran en la actividad científica en condiciones de igualdad. Desde luego, las feministas han conseguido demostrar que si en una sociedad existe la discriminación de género, habida cuenta de que la ciencia es una actividad cultural, la generada por esa sociedad reflejará también dicha discriminación.

Referencias bibliográficas y lecturas adicionales

Abir-Am, Pnina y Dorinda Outram (eds.), *Uneasy Careers and Intimate Lives: Women in Science, 1787-1979*, Rutgers University Press, New Brunswick, Nueva Jersey, 1987.

Alic, M., *Hypatia's Heritage: A History of Women in Science from Antiquity to the Late Nineteenth Century*, Virago, Londres, 1986.

Curie, E., *Madame Curie*, Heinemann, Londres, 1938.

Easlea, Brian, *Science and Sexual Oppression: Patriarchy's Confrontation with Women and Nature*, Weindenfeld & Nicolson, Londres, 1981.

Fox-Keller, E., *A Feeling for the Organism: The Life and Times of Barbara McClintock*, W. H. Freeman, San Francisco, 1983.

—, *Reflections on Gender and Science*, Yale University Press, New Haven, CT, 1985.

Haraway, Donna, *Simians, Cybogs, and Women: The Reinvention of Nature*, Routledge, Londres, 1991 (hay trad. cast.: *Ciencia, cyborgs y mujeres*, Cátedra, Madrid, 1995).

Harding, S., *The Science Question in Feminism*, Cornell University Press, Ithaca, NY, 1986.

—, *Whose Science? Whose Knowledge?*, Cornell University Press, Ithaca, NY, 1991.

Hudson, G., «Unfathering the Thinkable: Gender and Pacifism in the 1930s», en *Science and Sensibility: Gender and Scientific Enquiry, 1780-1945*, M. Benjamin, ed., Blackwell, Oxford, 1991.

Laqueur, Thomas, *Making Sex: Body and Gender from the Greeks to Freud*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1990 (hay trad. cast.: *La construcción del sexo*, Cátedra, Madrid, 1990).

Maddox, Brenda, *Rosalind Franklin*, HaperCollins, Londres, 2002.

Masson, J. M., *A Dark Science: Women, Sexuality and Psychiatry in the Nineteenth Century*, Farrar, Straus and Giroux, Nueva York, 1986.

Merchant, Carolyn, *The Death of Nature: Women, Ecology and the Scientific Revolution*, W. H. Freeman, San Francisco, 1982.

Moscucci, O., *The Science of Woman: Gynaecology and Gender in England, 1800-1929*, Oxford University Press, Oxford, 1991.

Neeley, K. A., *Mary Somerville*, Cambridge University Press, Cambridge, 2001.

Quinn, Susan, *Marie Curie: A Life*, Simon & Schuster, Nueva York, 1995.

Richards, Evelleen, «Huxley and Women's Place in Science: The "Woman Question" and the Control of Victorian Anthropology», en *History, Humanity and Evolution*, James R. Moore, ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1989, pp. 253-284.

Russett, Cynthia E. *Sexual Science: The Victorian Construction of Womanhood*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1989.

Schiebinger, L., *The Mind Has No Sex? Women in the Origins of Modern Science*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1989.

Showalter, Elaine, *The Female Malady: Women, Madness and English Culture, 1830-1980*, Pantheon, Nueva York, 1986.

Stein, D., *Ada: A Life and a Legacy*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1985.

Toole, B. A., *Ada, Enchantress of Numbers*, Strawberry Press, San Francisco, 1992.

Watson, James D., *The Double Helix*, Atheneum, Nueva York, 1968 (hay trad. cast.: *La doble hélice: relato personal del descubrimiento de la estructura del ADN*, Alianza Editorial, Madrid, 2005.

Winter, Alison, *Mesmerized: Powers of Mind in Victorian Britain*, University of Chicago Press, Chicago, 1998.

Epílogo

Si alguien ha leído los capítulos de este libro de manera consecutiva, a estas alturas ya debería saber que hay pocas posibilidades de sacar del conjunto una conclusión clara. No es nuestra intención presentar el ascenso de la ciencia moderna como el triunfo de una cosmovisión y una metodología coherentes con consecuencias bien definidas para el modo como pensamos y vivimos nuestra existencia. Por el contrario, al terminar con los temas de «la ciencia y la guerra» y la «ciencia y el género» hemos revelado la diversidad de intereses y efectos con los que ha de trabajar el historiador actual al tratar de evaluar el carácter de la ciencia y sus interacciones con la sociedad. La primera parte de nuestro estudio puso de manifiesto las numerosas y diferentes direcciones en las que se ha desarrollado la ciencia amén de la variedad de metodologías y teorías que han surgido en las distintas áreas. No hay un único método científico porque un físico nuclear simplemente no formula la misma clase de preguntas que un biólogo evolutivo, y no digamos ya si nos referimos a las técnicas para obtener las respuestas. Tampoco el marco teórico del físico se cruza con el del biólogo, salvo a través de un conjunto de disciplinas intermedias, cada una de las cuales, desde la bioquímica a la geología, tiene sus propios problemas y técnicas.

La ideología de la ciencia moderna ve una unidad globalizadora en el compromiso con el uso de argumentaciones racionales y pruebas objetivas para decidir entre hipótesis en competencia. Según esa inter-

pretación, la objetividad del conocimiento científico está garantizada por el hecho de que funciona realmente cuando se lleva a la práctica. Si podemos predecir cómo se comporta la naturaleza lo suficientemente bien para controlarla mediante la tecnología, es que seguramente estamos cada vez más cerca de la verdadera imagen de cómo funciona. Este argumento sin duda está bien, pero no lo bastante para respaldar la idea de que la ciencia puede construir un modelo del mundo que sea único, unificado y válido de manera permanente. La exigencia de verificaciones objetivas desde luego impone límites que impiden a los científicos elaborar teorías a partir de la nada, pero no garantiza que haya un modelo único que proporcione las predicciones adecuadas. Esto se confirma mediante el hecho de que las teorías científicas cambian con el tiempo, siendo las más recientes las que procuran pronósticos mejores y de más alcance partiendo de fundamentos muy distintos de los aceptados anteriormente. La historia sugiere que muy a menudo el compromiso de los científicos con la objetividad está condicionado por limitaciones a su libertad para conceptualizar el modo de funcionar de la naturaleza, algunas evidentes, otras tan imperceptibles que pasan inadvertidas salvo en retrospectiva.

La segunda parte de nuestro estudio ha explorado esas limitaciones e influencias para transmitir el mensaje de que la ciencia sólo puede recurrir a las pruebas objetivas en un marco definido por su entorno social. La conexión de los científicos con el complejo militar-industrial es la ilustración más evidente del hecho de que la dirección de las investigaciones está, en cierta medida, determinada por quien paga. Tal vez aún haya margen para la curiosidad intelectual pura, pero ese incentivo obtendrá resultados mucho mejores si se aplica en un área donde se disponga de fondos. En algunas esferas de alta tecnología, el progreso es prácticamente imposible a menos que se convenza a la industria y los gobiernos de que corran con los gastos. Pero incluso cuando los científicos socialmente privilegiados eran libres de investigar movidos por la pura curiosidad, la visión de la naturaleza en la que desarrollaban sus teorías estaba determinada por influencias derivadas de la religión, la filosofía o la ideología política. La omnipresencia de esas influencias externas ha persuadido a casi todos los historiadores modernos de que es imposible identificar líneas de investigación pura

y objetiva que permanezcan incontaminadas por los factores subjetivos. Los seguidores incluso de las teorías más exitosas tenían prioridades más amplias, explícitas o implícitas, según el caso. Al poner de manifiesto que la «buena» ciencia (esto es, la que acabó incorporada al conjunto de conocimientos ortodoxos) a menudo estaba influida por las opiniones políticas y religiosas de los científicos, hacemos que sea imposible rechazar todo lo demás como ciencia «mala» tergiversada por opiniones y valores.

Al terminar con el tema del género, hemos planteado quizá el problema más difícil para los que defenderían el ideal tradicional de la objetividad científica. Algunos eruditos sostienen que la exclusión gradual de las mujeres de la ciencia ha desembocado en la aparición de actitudes hacia la naturaleza que reflejan un punto de vista más duro y masculino, con lo que han quedado marginadas las teorías que buscaban un enfoque más holístico e interactivo. Si esto es así, los científicos han de hacer frente a la posibilidad de que ciertas ideas que dan por sentadas, y por tanto toman como moralmente neutras, sean en realidad el reflejo de valores tan profundamente ocultos que es casi imposible identificarlos y ponerlos en entredicho. Partiendo de esta perspectiva, parece mucho más verosímil que los valores sociales y políticos que reflejan la raza y la clase social hayan influido —quizá de forma por completo inconsciente— en el tipo de teorías que los científicos exploraron en el pasado. El darwinismo y el darwinismo social no pueden dividirse en ciencia válida y retórica no válida, ni tampoco la genética o la eugenesia. Esto no significa que la teoría de la selección natural y el concepto de gen deban ser abandonados como producto de la imaginación de los ideólogos. Pero sí que la inspiración para albergar ideas que funcionaban sobre el terreno y en el laboratorio puede haber derivado de fuentes que —cuando se analizan desde una época posterior— no llegaban a ser estrictamente objetivas. Las metodologías en virtud de las cuales se verificaron esas ideas también estuvieron expuestas a la manipulación de tal manera que entonces era menos obvia la posibilidad de falsificación. Si ésta es la lección de la historia, la deberíamos aprender todos los implicados en los debates actuales sobre la ciencia y sus repercusiones, científicos y no científicos por igual.

Índice analítico

Acadëmie Royale des Sciences, París, 56, 85-86, 229, 407-408, 409, 413, 466, 485, 498, 562
adaptación, 165, 169, 180-184, 232, 278-280, 289
Adler, Alfred, 382-383
ADN, 240-241, 259-263, 621-623
aficionados a la ciencia, 401, 417-418
Agassiz, Louis, 176, 446
agnosticismo, 429
agricultura, 183, 254, 274, 277, 283
agujeros negros, 369
Airy, George Bidell, 501
Alemania, 8, 14-15, 413, 585-586; biología en, 173-176, 221-222, 229-230, 257-258; física en, relaciones sociales de la ciencia en, 276, 540, 545-546; psicología en, 379; química y geología en, 139, 305
Allee, Warder Clyde, 285-287
alma. *Véase* naturaleza humana
Alpher, Ralph, 364
alquimia, 44-45, 62-63, 73, 75, 77
Al-Razi, 73
América, 24, 414, 421-422; biología en, 230, 254-256, 276; ciencias humanas en, 379-380, 385-386, 390-391; darwinismo social en, 537-538, 544-545; ecología en, 281-283, 283-284; física en, 594-602, 606; geología en, 305, 308
Ampère, André-Marie, 84
anatomía, 208, 229, 526. *Véase también* morfología
anatomía comparada. *Véase* morfología
antibióticos, 568-570
antivivisección, 565. *Véase también* vivisección
antropología, 193-197, 383-412, 528-532
Archaeopteryx, 189
Aristóteles, 66, 403
armas nucleares. *Véanse* bomba atómica, bomba de hidrógeno
arqueología, 383, 532
arquetipo, 173-174, 446
asdic. *Véase* sonar
Asimov, Isaac, 483
Asociación Americana para el Avance de la Ciencia, 393, 422
Asociación Británica para el Avance de la Ciencia, 114, 188, 420-422, 448, 469, 483
asociación de ideas, 376
astrología, 44-45
astronomía, 33, 42-43; y navegación, 407; y religión, 433-436, 442-444

Atkinson, Robert, 364
aviones, 590

Babbage, Charles, 415-416, 418, 495, 500-501, 507, 515-416, 518, 620
Bache, A. D., 422
Bacon, Francis, 31-32, 43-44, 405, 465, 614, 616-617; y ciencia aplicada, 139, 270, 495, 497-498, 518, 580
Baer, K. E., 215
Bagehot, Walter, 540
Bain, Alexander, 516
Bainbridge, Kenneth, 597
Baldwin, James Mark, 534
Balmer, Johann, 325-326
Banks, Joseph, 271, 410-411
Barnum, P. T., 472
Barzun, Jacques, 162
baterías eléctricas, 91, 105, 120-122
Bateson, William, 198, 252-253, 544
Beadle, George, 260
Beagle, viaje del, 180-182, 271
Beaumont, Elie de. *Véase* Elie de Beaumont, Léonce
Becher, Johann, 77, 96
Becker, Herbert, 338
Becquerel, Henri, 322, 574, 621
Beddoes, Thomas, 82-83
Beer, Gavin de, 161, 162
Bell, Alexander Graham, 476, 574
Bell, Charles, 224
Bell, Jocelyn, 368-369
Beneden, Edouard van, 251-252
Bentham, Jeremy, 376, 387
Bergson, Henri, 451
Bernal, J. D., 7, 495, 501-504, 519, 587, 623
Bernard, Claude, 226-227, 229, 561, 565
Berthollet, Claude-Louis, 87-88
Berzelius, Jöns Jacob, 90-95
Bethe, Hans, 364, 604, 607
Biblia, 430, 432-433. *Véase también* Génesis
Bichat, Marie François Xavier, 219, 220-221, 224-226
biogeografía, 180-182, 189, 278-280
biología, origen del término, 207-208, 229-230. *Véanse también* disciplinas biológicas por separado
biología molecular, 259-263
bioquímica, 220-221, 227, 259. *Véase también* química, y biología
Biringuccio, Vannoccio, 73, 76-77
Black, Joseph, 80-81, 88, 96, 101, 504-505
Blackett, P. M. S., 308, 590, 593
Blake, William, 274
Blumenbach, J. F., 528
Boas, Franz, 385-386
Boerhaave, Hermann, 50, 555
Bohr, Niels, 319, 324-326, 333, 335-336, 339-340, 343-344, 592-593
Boltzmann, Ludwig, 124
bomba atómica, 290-291, 591-601
bomba de hidrógeno, 601-604
Bond, William Cranch, 475
Bondi, Hermann, 365
Borelli, G. A., 50, 404
Born, Max, 334-335
Bose, George Mathias, 467
botánica, 231, 271-274, 280, 403. *Véase también* plantas
Bothe, Walter, 338
Boulton, Matthew, 411, 505
Boyle, Robert, 48, 54-55, 58, 72, 76, 91-92, 96, 403-404, 444-445, 513-514, 620; y bomba de aire, 48, 405, 406, 614
Bragg, W. H., 585
Brahe, Tycho, 34, 40, 42, 404
Braun, Werner von, 590-591, 604-605
Bridgewater Treatises, 173-174, 446
Broca, Paul, 526, 529
Broglie, Louis de, 334-335
Brongniart, Alexandre, 141

Brown, John, 82
Brownrigg, William, 80
Buckland, William, 142, 145-148, 173, 414, 440, 446
Buffon, conde de, 135-138, 169, 409, 439, 444
Bulwer Lytton, Edward, 483
Burnet, Thomas, 133-134, 438
Bush, Vannevar, 423, 587, 593, 607
Butler, Samuel, 451
Butterfield, Herbert, 32, 496, 518
Byron, Anne Isabella, 620
Byron, Lord, 620

cadena del ser, 167, 170, 245
cafés, 466-467
calor, 89-90, 96, 100-106, 110, 112-113, 115, 119-122. *Véase también* calórico
calor animal, 220-221
calórico, 89-90, 101, 103-104, 107-108, 114-115, 124. *Véase también* calor
Calvino, Juan, 435
Camper, Petrus, 528
cantos rodados erráticos, 145
capitalismo, 376, 387; y darwinismo, 162, 377-378, 537. *Véase también* industria y ciencia
Cardwell, Donald, 497, 504
Carlos II, 405-407, 437
Carnegie, Andrew, 423
Carnot, Lazare, 102, 498
Carnot, Sadi, 100, 102, 107-108, 114-115, 122-123, 505-506
Carson, Rachel, 277
cartesianismo, y cosmología, 133
Casa de Salomón, 56, 616
catástrofe ultravioleta, 333
catastrofismo, 130, 143-146, 155, 172-173, 180, 298-299, 315; y religión, 439-440
Cavendish, Henry, 87-90
Cavendish, Margaret, 619-620
Cavendish, William, 619
células, vivas, 207-208, 215-218, 230
cerebro, y mente, 177, 194-195, 377, 454-455, 524-544. *Véase también* frenología
CERN, 342, 344
Chadwick, James, 338-339, 340-342, 593
Chain, Ernst, 567, 570
Chambers, Robert, 177, 351, 446, 455, 478, 481, 527
Chandos, duque de, 467
Charcot, Jean-Martin, 629
Chargaff, Erwin, 260
Châtelet, Emilie du, 63
Cherwell, lord. *Véase* Lindemann, Frederick
cibernética, 290
ciencia antigua, 22-24
ciencia aplicada, 7-8, 10, 17, 493, 497, 515-517; en astronomía, 407; en biología, 254, 270-274, 291-292; en ciencias humanas, 373, 378, 380-381, 387, 390-391; en geología, 139. *Véanse también* ciencia, guerra, e industria
ciencia china, 23
ciencia cognitiva, 393
ciencia islámica, 22-23
ciencia popular, ecología y, 268-269, 287; evolución y, 177, 187-188, 448-450
científico, origen del término, 5-6, 417
circulación de la sangre, 50, 208, 209, 218
Clapeyron, Emile, 114, 122
Clarke, Samuel, 63
clasificación, de especies, 166-167, 211-212; de funciones animales, 220; de rocas, 139
Clausius, Rudolph, 122-126
Clements, Frederick E., 232-233, 281, 283
club X, 421, 422
Cobbe, Frances Power, 225
cohetes. *Véase* misiles

Colbert, J. B., 407
Combe, George, 489, 524-526
combustión, y respiración, 220-221
Comisión Allison, 416
Comte, Auguste, 387-388
comunidad científica, 16-19, 24, 379-380, 399-402. *Véase también* sociedades científicas
Conant, J. B., 593, 597, 604
Condillac, Étienne Bonnot de, 89
conductismo, 380-381
conservación de la energía, 99-101, 113, 115-116, 125-126, 340, 625, 629
conservación de la fuerza, 111-112, 120-122
conservación, de recursos, 275-277. *Véase también* ecologismo
constante de Planck, 324-325, 333
Conway, Anne, 618-619
Cooke, James, 271
Cooke, William Fothergill, 508-509
Cooter, Roger, 526
Cope, Edward Drinker, 193, 451, 534
copernicanismo, y religión, 432-436, 442-444. *Véase también* universo heliocéntrico
Copérnico, Nicolás, 34, 36-39, 42-43, 403
correlación de fuerzas, 112, 125-126
Correns, Carl, 253
cosmología, y origen de los planetas, 133, 137-138; y religión, 432-436, 442
cosmología del big bang, 349, 364-367, 458
cosmología del estado estacionario, 349, 365, 366
Cowles, Henry C., 281
Cox, Alan, 309
Cox, John, 572
creación de la tierra. *Véase* tierra, origen de la
creación de la vida, 172-173. *Véase también* generación espontánea
creacionismo, 161-162, 452-453
Crick, Francis, 239, 240, 260-261, 623
cromosomas, 251-252, 254-257
Crookes, William, 319-320, 584
Crystal Palace. *Véase* Exposición Universal
cualidades ocultas, 44-47, 50, 63
cuantificación, 89, 96
cuantos, 324-326, 333
cuásares, 367-368
Cuénot, Lucien, 257
cuestionarios de inteligencia, 530
Cullen, William, 101, 503, 558
Curie, Marie, 322, 342, 574, 621
Curie, Pierre, 157, 342, 574, 621
Curtis, Heber D., 354
Cuvier, Georges, 211-213, 229, 413; y fósiles, 141, 143-146, 146-148, 172

d'Alembert, Jean, 89, 558
Dalrymple, G. Brent, 309
Dalton, John, 90-95
Daly, R. A., 306
Damadian, Raymond, 575
Darrow, Clarence, 453
Darwin, Charles, 161-164, 212-213, 401, 625, 630; desarrollo de ideas, 179-185, 536; y exploración, 180, 271; sobre geología, 130, 155, 418; y herencia, 246; y *El origen de las especies*, 6-7, 187, 190-192; sobre orígenes humanos, 193-197, 455, 530, 533-534; perspectivas religiosas de, 447-448
Darwin, Erasmus, 80-81, 170, 411, 445-446, 505
darwinismo, 161-162; aceptación del, 187-193, 213, 232-233; y herencia, 246; moderno, 197-202, 287; orígenes del, 179-185; y orígenes humanos, 193-197, 378, 530, 535-541. *Véanse también* evolución, lucha por la supervivencia, selección natural, darwinismo social

darwinismo social, 162-163, 187-188, 285-286, 389, 522, 535-541. *Véanse también* eugenesia, determinismo genético, teoría de las razas
Davenport, C. B., 544
Davies, P. C. W., 370
Davy, Edward, 474
Davy, Humphry, 82, 88, 91-94, 105-106, 418, 469
Dee, John, 45
deísmo, 152
De la Beche, Henry, 416, 418, 470
Delbrück, Max, 260
Deluc, Jean-André, 140, 439
de Maillet, B., 136-137, 138
deriva continental, 157, 298, 301-314
Derrida, Jacques, 15
Desaguliers, J. T., 64, 467-468, 498
Descartes, René, 45-50, 552, 614; sobre animales como máquinas, 46-47, 218, 454, 524; sobre cosmología, 45-46, 133; sobre la mente, 376
descubrimiento simultáneo, 99-100, 125-126
Desmond, Adrian, 162
determinismo genético, 239, 251, 258, 264, 451-456. *Véase también* eugenesia
De Vries, Hugo, 198-200, 252-253
Dewar, James, 419
Dickens, Charles, 483
Diderot, Denis, 89, 168-169, 480, 524, 558
Dietz, Robert, 310
diluvianismo. *Véase* Diluvio universal
Diluvio de Noé. *Véase* Diluvio universal
Diluvio universal, 133-135, 140, 143-146, 438-439
dinosaurios, 142-143, 145
Dirac, Paul, 334, 340
Dobzhansky, Theodosius, 201
doctrina del hombre máquina, 454. *Véase también* materialismo, en biología
Doell, Richard, 309
Dohrn, Anton, 214
Domagk, Gerhard, 566
Draper, J. W., 7, 429
Driesch, Hans, 228, 232, 456
Drosophila, 18, 255
Drude, Oscar, 280
dualidad onda-partícula, 334-335
du Bois Raymond, Emil, 119, 222
Dubos, René, 568-570
Duggar, Benjamin M., 568-569
Duhem, Pierre, 119
Durkheim, Émile, 390
Du Toit, Alexander, 306
Dutton, Clarence, 300

Easlea, Brian, 633
École Polytechnique, 498, 505
ecología, 212-213, 232-233, 268-270, 277-292
ecologismo, 268-270, 274-277
Edad de Piedra. *Véase* arqueología
edad del hielo, 147, 148, 301-302
Eddington, Arthur S., 330-331, 359-362, 481; sobre religión, 458-459
Edison, Thomas Alva, 512
educación, en biología, 229-230; en geología, 139. *Veáse también* universidades
Edum, Howard, 291
efecto Doppler, 357
efecto fotoeléctrico, 332
Ehrlich, Paul, 566
Einstein, Albert, 318, 324, 327-332, 337, 339, 343, 634; y la bomba atómica, 593; y cosmología, 359-362, 369-371
Einstein, Elsa, 362
Electric Telegraph Company, 508
electricidad, 104-105, 116, 120-122, 476-477; y vida, 122, 136
electromagnetismo, 105, 108, 116-117

electrones, 318, 320-325, 332
electroterapia, 571
Elie de Beaumont, Léonce, 149
Eliot, George (Mary Ann Evans), 479, 483
Ellegard, Alvar, 188
Elliotson, John, 487
El origen de las especies (Darwin), 6, 163, 185, 187, 448
Elton, Charles, 287
embriología, 177, 189, 213-217, 231, 242-246
empirismo, 55-59; en las ciencias humanas, 376; en geología, 139. *Véanse también* experimento, objetividad de la ciencia, método científico
energía, en ecología, 290
entropía, 123-124
epigénesis, 214-215, 244-245
equilibrio de la naturaleza, 278-279
equivalente mecánico del calor, 110, 120, 125-126
erosión, 133, 151-152
escuela de sociología de la ciencia de Edimburgo, 19, 22, 522
especie humana, antigüedad de la, 195; origen de la, 193-197. *Véase también* teoría de las razas
especies, 166-167, 169, 180-185
espiritualismo, 457
estratigrafía, 17-18, 137-143, 153
éter, 116-119, 125, 317, 320, 326, 328-329; repercusiones religiosas del, 456-458
eugenesia, 250-253, 258, 378-379, 541-546. *Véase también* determinismo genético
evolución, primeras ideas de, 167-178; y religión, 446-453; y sociedad, 530-541. *Véanse también* evolución creativa, darwinismo, evolución emergente, naturaleza humana, lamarckismo, progreso, evolucionismo teísta
evolución creativa, 451
evolución emergente, 451, 456
evolucionismo teísta, 190-192, 449-500
expansión del lecho marino, 309-312
experimento, 57-58, 61, 270-271, 405-406, 513-514; en biología, 209, 218-228, 233-235; en las ciencias humanas, 374-375, 380-382
experimento de la rueda hidráulica de paletas, 110-111
experimento de Michelson-Morley, 326-327, 330-332
experimentos con la bomba de aire, 17, 48, 56-57, 513
exploraciones, 156, 180-182, 270-274, 277-278, 384, 409-411
explosivos, 584. *Véanse también* bomba atómica, bomba de hidrógeno
Exposición Colombina, 477
Exposición Universal, 416, 475-477, 500
extinción, 143-146, 172-173, 289

falsabilidad, 11-12
Faraday, Michael, 105, 110-112, 117, 125, 418, 469-470, 487, 507, 620
Federico II (rey), 404
Fermi, Enrico, 340-341, 594
Ferrier, David, 526
filosofía de la ciencia, 6-7, 11-12. *Véase también* método científico
filosofía mecanicista, 33, 44-51, 58, 63, 616; en biología, 210; en química, 76; y religión, 444-445, 453-454
financiación de la ciencia, 18, 404-405, 407-409, 417; biología, 234; ciencias humanas, 390-391; ecología, 290-291; geología, 139, 416
Fisher, Osmond, 300
Fisher, Ronald Aylmer, 201, 545
física, 71, 101, 317; clásica, 317, 333-334, 342-343; teórica, 124, 328, 337, 339, 331-332, 359. *Véase también* termodinámica

física de las partículas, 318, 341-342
fisiología, 209, 218-228; de las plantas, 280
FitzGerald, George Francis, 117, 320, 328
Flamsteed, John, 407
Fleming, Alexander, 565-568
flogisto, 72, 77, 81, 82, 86, 89-90, 96
Florey, Howard, 567-570
Fludd, Robert, 614
Forbes, Stephen A., 281
fordismo, 517
fósiles, 133-135, 135-137, 140-143, 172; y evolución, 189, 193-195
Foster, Michael, 230
Foucault, Michel, 15, 219, 373, 554-560
Foucroy, Antoine, 87-88
Fowler, L. N., 489
Fox-Keller, Evelyn, 611, 614, 616
Francia, 407-409, 412-413, 436; biología en, 219-220, 226, 229-230, 257-258; física en, relaciones sociales de la ciencia en, 390; química y geología en, 141
Franck, James, 600
Franklin, Benjamin, 80, 468-469, 485
Franklin, Rosalind, 260, 262, 621-623
Fraunhofer, Josef von, 353
Frazer, J. G., 384
Frend, William, 620
frenología, 177, 377, 454-455, 465, 485, 488-489, 524-529
Freud, Sigmund, 197, 383-383, 535, 629
Freund, Leopold, 573
Friedman, Alexander, 363
Frisch, Otto, 593
fundamentalismo, 452

Gale, Leonard, 509-511
Galeno, 75
Galería de Adelaide. *Veáse* Galería Nacional de Ciencia Práctica
Galería Nacional de Ciencia Práctica, 472-474, 478, 482
Galileo, Galilei, 34, 37-40, 44, 52, 54, 403-404, 479; e Iglesia, 5-6, 433-435; y platonismo, 10
Gall, Franz Joseph, 488, 524
Galton, Francis, 251, 530, 542-543
Gamow, George, 339, 364-365
gas venenoso, 585-586
Gassiot, John Peter, 319
gato de Schrödinger, 336-337
Gause, G. F., 288
Gay-Lussac, Joseph Louis, 95
Geiger, Hans, 338
Gell-Mann, Murray, 341
gen, conceptos de, 200-201, 239-240, 253-258, 260-263. *Véase también* genética
generación espontánea, 169, 217, 562
género y ciencia, en ecología, 271. *Véase también* mujeres en la ciencia
Génesis, 132, 137, 140, 146-148, 173, 437-440, 452-453
genética, 17-18, 197-201, 230, 238-241, 246-258; y eugenesia, 543-456. *Véase también* genética de poblaciones
genética de poblaciones, 201
Geoffroy Saint-Hilaire, Étienne, 176, 211, 213, 413
geofísica, 296-297, 298-304, 305-314
geología, 17, 129-159, 290, 296-314; organización de la, 409, 416, 418; y religión, 437-440
germoplasma, 198, 252
Ghiselin, Michael, 162
Gibbs, Josiah Willard, 126
Giddings, Franklin H., 391
Gilbert, William, 46
Gillispie, Charles, 10, 130
Gilman, Daniel Coit, 391
Gleason, Henry Allan, 284
gobierno y ciencia, 401-402, 405-409, 412-416; y ciencias humanas, 373; y geología, 139. *Véase también* guerra

Goethe, J. W. von, 104
Gold, Thomas, 365, 369
Gould, Stephen Jay, 131, 150, 528-529
Graham, James, 467-468
Gran Bretaña, 405-407, 411-412, 413-414, 418-421, 429-438, 584-586 ; biología en, 173, 230, 252-253; cosmología en, 367-369; ecología en, 283-284; física en, 593, 602-603; geología en, 143, 152-153; relaciones sociales de la ciencia en, 542-545
Grant, Robert E., 177, 179
gravitación universal, ley de la, 60, 63, 77, 350
Gray, Asa, 185, 189, 450
Gresham College, 403, 409
Gribbin, John, 370
Grossman, Marcel, 329
Grove, William Robert, 106, 112, 125, 319, 481, 500-501
Groves, Leslie, 594, 599
guerra, ciencia y, 307-308, 310, 416, 423-424, 580-607. *Véanse también* guerra fría, primera guerra mundial, segunda guerra mundial
guerra fría, 9, 290-291, 601-605
guerras de la ciencia, 3, 15-16

Haber, Fritz, 585-586
Haeckel, Ernst, 189-192, 213-216, 245-246, 276, 534; sobre ecología, 279; sobre evolución social, 540; filosofía de, 455
Haldane, J. B. S., 201, 545
Haldane, J. S., 210, 228
Hales, Stephen, 79
Hall, G. Stanley, 378, 386, 534
Haller, Albrecht von, 219, 555
Halley, Edmund, 60
Haraway, Donna, 634
Harding, Sandra, 632
Harper, William, 391
Harrison, Peter, 440-441
Hartsoeker, Nicolas, 243
Harvey, William, 49-50, 209, 218-219
Hauksbee, Francis, 64
Hawking, Stephen, 367, 369-370
Hayyan, Jabir ibn, 73
Heatley, Norman, 570
Heaviside, Oliver, 117, 511
Heinlein, Robert, 483
Heisenberg, Werner, 334-336, 339, 343, 591-592
Helmholtz, Hermann von, 102, 107, 118-124, 222, 471
Helmont, J. -B. van, 73, 75-78
Henry, Joseph, 422, 501, 509-511
Henslow, J. S., 179-180
Hérelle, Felix d', 567
herencia, 192, 198-200, 238-244, 244-263; y naturaleza humana, 541-546. *Véanse también* eugenesia, genética
herencia de rasgos adquiridos. *Véase* lamarckismo
Herschel, Caroline, 624
Herschel, J. F. W., 116, 448-449, 500, 514-517
Herschel, William, 100, 351, 624
Hershey, Alfred, 260
Hertwig, Oscar, 251
Hertz, Heinrich, 118, 332, 511
Hess, Harry, 310
Hessen, Boris, 8, 496, 501, 519
Hewish, Anthony, 369
hibridación, 248-249
Hideki, Ukawa, 340
Himmelfarb, Gertrude, 162
hipótesis de Gaia, 269, 289, 291-292, 399-400
hipótesis de los universos insulares, 357
hipótesis nebular, 351-352, 444
histeria, 626-629
historia de la ciencia, como disciplina académica, 5-12

historia natural, 166, 201, 207, 211, 232-233; financiación de, 409-411; y religión, 444-446
historia whig, 2, 9
Hjort, Sören, 475
Hodgkin, Dorothy Crowfoot, 623
Hodgkin, Thomas, 514
Hogben, Lancelot, 482
holismo, 211, 227-228, 268-270; en ecología, 275, 278, 284, 291. *Véase también* organicismo
Holmes, Arthur, 158, 307, 309-310
Holmes, Frederick L., 228
Hooke, Robert, 49, 59, 61, 405, 407, 514; sobre geología, 133-135, 136; y microscopio, 49, 215
Hooker, Jospeh Dalton, 185, 189, 274
hospitales, 557-559
Hounsfield, Godfrey, 575
Houtermans, Fritz, 364
Hoyle, Fred, 349, 365-367
Hubble, Edwin, 355-357, 362, 367-370
Hughes, Thomas, 512
Humboldt, Alexander von, 140-141, 277-279, 481
Hunt, James, 529-530
Hutchinson, G. Evelyn, 289-290
Hutton, James, 130, 150-151, 439
Huxley, Aldous, 381
Huxley, Julian S.,192, 201, 287, 289
Huxley, Thomas Henry, 401, 421, 469-470, 630; y biología, 209, 218, 223, 230, 231-232; y darwinismo, 164, 178, 188, 448-450; y educación, 414; sobre los orígenes humanos, 193-195; y religión, 429, 455, 527
Huygens, Christian, 407

idealismo, 6-7, 174, 176, 376-377
ideología y ciencia, 8, 18-22, 405-409, 412; en biología, 162, 171, 177, 188, 535-546; en las ciencias humanas, 373-376, 378, 383-391, 524-535; en ecología, 271-274, 285; en geología, 140, 153. *Véanse también* capitalismo, eugenesia, imperialismo, darwinismo social
Iglesia Católica, 39, 62, 365, 433-436
Ilustración, 5-6, 137, 168; oposición a la religión durante la, 438-439, 445-446
imperialismo, 271, 271-274, 539-540, 581. *Véase también* exploraciones
industria y ciencia, 401-402, 416-417. *Véase también* ciencia aplicada, tecnología
instintos, 195, 377-378, 526-527
Instituto de Tecnología de California, 341
Instituto Neumático, 82
Institutos de Mecánica, 469
instrumentos astronómicos, 39-42
instrumentos científicos, 17-18, 20, 531. *Véanse también* experimentos con la bomba de aire, instrumentos astronómicos, baterías eléctricas, linternas mágicas, instrumentos matemáticos, microscopios, telescopios
instrumentos matemáticos, 51-54
interpretación de Copenhaghe, 336
investigación psíquica. *Véase* espiritualismo
investigación sobre operaciones, 590
islas Galápagos, 180-181, 289
isostasia, 300

Jacob, François, 260-261
Jaki, Stanley, 431
James, William, 379, 391
Jeans, James, 333, 481-482
Jeffreys, Harold, 305-306
Jenkin, Fleeming, 192
jesuitas, 403, 436
Jewson, Nicholas, 554
Johannsen, Wilhelm, 254
Joliot-Curie, Frederic, 338

Joliot-Curie, Irene, 338
Joule, James Prescott, 100-101, 108-115, 119, 122-126
Jung, Carl, 382-383
Jurin, James, 468

Kalchar, Fritz, 339
Kant, Immanuel, 6, 348, 350, 376, 444
Kellogg, Vernon, 540
Kelvin, lord. *Véase* Thomson, William
Kepler, Johannes, 33-34, 42-43, 54, 350, 404; creencias religiosas de, 431, 442
Kircher, Athanasius, 43-45
Kirwan, Richard, 140, 439
Knox, Robert, 529
Koch, Robert, 553, 561, 563-566
Koyré, Alexandre, 10, 32, 496, 518
Krebbs, Hans, 228
Kroeber, Hans, 386
Kuhn, Thomas S., 13-16, 85, 90, 99-101, 125, 296-297, 348

Laboratorio Cavendish, 320, 323-326, 337, 340-342, 414
laboratorios, 17, 20; de biología, 209, 220-221; de psicología, 379-380
Lack, David, 289
Laennec, R. T. H., 571
Lamarck, J. B., 170-171, 413
lamarckismo, 170-171, 176-177, 188, 192-193, 245-246; y orígenes humanos, 34-35, 377-378, 533, 538, 545; y religión, 450-451
La Mettrie, J. O., 454, 524
Landriani, Marsilia, 84
Langevin, Paul, 621
Laplace, Pierre-Simon, 89, 220, 229, 351, 444, 498-500
Laqueur, Thomas, 611-612, 625
Larmor, Joseph, 320, 328
Latour, Bruno, 494
Lavoisier, Antoine-Laurent, 72, 82, 85-90, 92, 96-97, 624; sobre fisiología, 209-210, 220
Lawrence, Ernest, 593
Laycock, Thomas, 629
Leavitt, Henrietta Swan, 356
Leibniz, G. W. von, 63, 619
Leithead, William, 474
Lemaître, Georges, 363-365
Lenoir, Timothy, 221
Leopold, Aldo, 276
ley de Hubble, 362
Liebig, Justus von, 121, 221-222, 413, 561
Lindberg, David, 23
Lindemann, Frederick (lord Cherwell), 588
Lindermann, Raymond, 290
Linneo (Carl von Linné), 166-167, 248, 277, 409, 558
linternas mágicas, 45
localización cerebral de funciones mentales. *Véanse* cerebro, frenología
Locke, John, 375-376
Lodge, Oliver, 117, 329, 482, 511; sobre espiritualismo, 457
Loeb, Jacques, 228
Lombroso, Cesare, 534-535
London Institution, 106, 112, 468
Lorenz, H. A., 328
Lotka, Alfred J., 287-288
Louis XIV, 407, 408
Lovelace, Ada, 620
Lovelock, James, 269, 288-289, 291-292, 399-400
Lubbock, John, 384
lucha por la existencia, 162, 183, 281, 285, 289-290; en la sociedad, 537-541. *Véase también* selección natural
Ludwig, Carl, 119, 222
Luria, Salvador, 260
Lutero, Martín, 435
Lyell, Charles, 130-131, 146-148, 152-

156, 156-157, 298-299, 471, 481; y Darwin, 155-156, 180, 185; sobre antigüedad humana, 194, 532
Lysenko, T. D., 545

Maanen, Adriaan van, 354-357
MacArthur, Robert, 289-290
MacBride, E. W., 543
Maestlin, Michael, 42
Magendie, François, 220, 222, 224-226, 229-230
magia, 44-45, 50-51, 444
magnetismo, 44, 46-47, 104-105, 117, 120; de la tierra, 307-314
Magnus, Gustav, 122
Maillet, B., de. *Véase* de Maillet, B.
Malin, James C., 284
Malinowski, Bronislaw, 386
Malpigi, Marcello, 219
Malthus, T. R., 183, 376, 387, 536
máquinas de calor, 100, 102-104, 505
máquinas de vapor, 101-104, 108, 116, 118, 502-505
Marcet, Jane, 481, 624
Marsh, George Perkins, 274-275
Martin, Benjamin, 468
Martineau, Harriet, 487
Marx, Karl, 388
marxismo, 389
matemáticas, 33, 51-56, 58, 114, 125; en biología, 198-201, 248-249, 288-289; en las ciencias humanas, 388
materialismo, 6-7, 119-122, 434-435; en biología, 161- 162, 169, 177-178, 182-185, 187-188, 210-211, 218, 222-223, 226-228; en las ciencias humanas, 195-197, 453-459, 524-528; en ecología, 284-285; en geología, 133, 136-137
Matthews, Drummond, 310
Maudsley, Henry, 629
Maupertuis, P. L. de, 244
Maxwell, James Clerck, 117-119, 124, 511
Mayer, H. M., 587
Mayer, Julius Robert, 100-101, 112-113, 126
Mayr, Ernst, 162
McKenzie, Dan, 312
Mead, Margaret, 386
mecánica cuántica, 317-318, 334-339, 342-343, 364; repercusiones religiosas de la, 457-458
mecanismo de relojería, 45
mecenazgo en la ciencia, 39-40, 404-405
Mechanics' Magazine, 482, 514-416
medicina, y biología, 209-210, 219, 229-230, 233-234; y educación, 403; y guerra, 581-582
medicina científica, 552-553, 560, 566
medicina de laboratorio, 561
medición, en biología, 221-222, 281-284, 288-292; en física, 110-111; en geología, 309-314
Médicis, Cosme de, 34, 37-39
Meister, Joseph, 563
Mendel, Gregor, 192, 198, 239, 246-250, 543
Menebrea, L. F., 620
mente. *Véanse* naturaleza humana, psicología
Merchant, Carolyn, 271, 611, 613-614, 617-618
Merriam, C. Hart, 274, 280
Mersenne, Marin, 49
Merton, Robert K., 14, 436-437
Mesmer, Franz Anton, 485
mesmerismo, 465, 485-489
mesozoico. *Véase* reptiles, época de
metáfora de la guerra (entre ciencia y religión), 7, 429
meteorología, 302
método. *Véase* método científico
método científico, 6, 11-12, 31-32; en biología, 220-228, 229-230; en geología,

149-155; en psicología, 379-382. *Véanse también* empirismo, experimento, medición
método hipotético-deductivo, 11
Michelson, Albert, 326-328
microscopios, 49; en biología, 133, 212-217, 218-219, 242, 256
milagros, 146-148. *Véase también* creacionismo
Milne, Edward Arthur, 364
minas, 139, 409
Minkowski, Hermann, 329
misiles, 590-591, 604-605
mitos, en la historia de la ciencia, 2, 130-131, 223, 247
Mivart, St. George Jackson, 190, 192, 449
modelo cíclico de la historia de la tierra, 131-132, 150-151
Moigno, Frédéric, 482
Molière, Jean-Baptiste, 50
Mond, Ludwig, 419
Monge, Gaspard, 498
Monod, Jacques, 260-261
monstruosidades. *Véase* saltos
montañas, 133, 140-141, 152-153, 299, 312-314
Monty Python, 347
Moore, James R., 162, 429
moralidad. *Véanse* natualeza humana, eugenesia, darwinismo social
More, Henry, 619
morfología, en biología, 141, 164, 172, 190-192, 207, 211-215, 231
Morgan, Augustus de, 620
Morgan, C. Lloyd, 451, 456
Morgan, Jason, 312
Morgan, Lewis Henry, 384, 532
Morgan, Thomas Hunt, 198-200, 232, 239, 254-256
Morley, Edward, 326-328
Morse, Samuel Finley Breese, 509-511
Morton, Samuel George, 528
Morveau, Guyton de, 84, 87-89
motores electromagnéticos, 105-109
movimiento perpetuo, 102, 107
Muir, John, 275
mujeres en la ciencia, 270-271, 641. *Véase también* género y ciencia
Müller, Johannes, 120, 222, 224, 231
Murchison, R. I., 143
museos de historia natural, 170, 211-213, 229, 233, 412-413
Musschenbroek, Petrus van, 409
mutaciones, 197-201, 252-263, 605

nacionalismo, 540
Nägeli, Carl von, 250
Napoleón, 413
NASA, 370
naturaleza humana, 372-388, 524-535, 541-546; evolución y, 177, 193-197, 474-375, 389-390, 447-448, 451-456, 532-533
naturphilosophie, 104, 119, 124, 221
nebulosas, 348-349, 351-357, 362
Needham, Joseph, 23
neptunismo, 135, 140, 439
nervios, estudio de, 222, 224, 377, 382, 527
Neumann, Carl, 122
neutrones, 338-340
Newcomen, Thomas, 502
Newton, Isaac, 10, 33, 59-66, 74, 77, 403, 496, 634; y cosmología, 133, 137, 348, 350; opiniones religiosas de, 442-443
newtonianismo, en cosmología, 137; y religión, 437
Nichol, John Pringle, 351
Nicholson, William, 91
Nobel, Alfred, 584
Nollet, Jean-Antoine, 467
nomenclatura binómica, 166
nomenclatura de especies biológicas, 166
nosología, 554, 558

objetividad de la ciencia, 3-4, 10-12, 18-22, 610-612; y biología, 161, 521-522, 526; y geología, 132, 146, 149
observatorio del monte Wilson, 354-356, 362
oceanografía, 309-314, 581-582
Odum, Eugene, 290
Oersted, Hans Christian, 104-105
O'Key, Elizabeth, 487
Oldenburg, Henry, 405
Oliphant, Mark, 593
ondas electromagnéticas, 117-118, 332
Oppenheimer, J. Robert, 594-599, 603-604
Óptica (Newton), 59-62, 64
organicismo, 210-211, 228, 389
organización de la ciencia. *Véanse* comunidad científica, publicaciones científicas, sociedades científicas
Osiander, Andreas, 37
óvulo, mamífero, 214-215
Owen, Richard, 173-174, 190, 194, 211-212, 476
oxígeno, 85-88, 90-92

paleontología. *Véase* fósiles
Paley, William, 165, 173, 180, 447
pangénesis, 246
Papin, Denis, 513
Paracelso, 71-78, 96
paranormal. *Véase* espiritualismo
Pascal, Blaise, 49
Pasteur, Louis, 471, 553, 561-566
Pauli, Wolfgang, 335
Pauly, Philip, 228
Paxton, Joseph, 474
Peale, Charles Willson, 472
Pearson, Karl, 198, 199, 200, 253; opiniones sociales de, 539, 542-543, 544
Peierls, Rudolph, 593, 597
penicilina, 565-568, 569-570
Perkins, Jacob, 472
Petri, Richard Julius, 563, 567
Phillips, John, 143
Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 122, 338
Pichon, Xavier Le, 312
Pinker, Stephen, 393
Pío XII (papa), 365
Pitágoras, 54, 62
Planck, Max, 324-325, 329, 332-333
planetas, origen de, 133, 138
plantas, valor económico de, 271-272; herencia en, 198, 248-249, 252-280. *Véase también* botánica
Platón, 10, 54, 62, 614, 618
platonismo, 42, 54
Playfair, John, 152
Playfair, Lyon, 500
Plinio, 616
Plücker, Julius, 319
población, expansión de, 183-184, 287-288, 376, 536
Poggendorff, J. C., 122
política y ciencia. *Véase* ideología y ciencia
Pope, Alexander, 59, 167
Popper, Karl, 11-12, 22
positivismo, 387
posmodernismo, 15, 21-22
Pouchet, Felix, 562
Powell, John Wesley, 384, 416
Preece, William, 118, 511
Prevost, Constant, 149
Price, Derek De Solla, 401-402
Price, George McCready, 452
Price, Richard, 80
Priestley, Joseph, 72, 78-82, 85, 86-90, 96, 411, 480, 505
primera guerra mundial, 540, 583-586
Principia (Newton), 59-64
profesionalización de la ciencia, 187-188, 229-233, 318, 375, 399-402, 417-418. *Véanse también* comunidad científica, sociedades científicas

progreso, en la evolución, 153-154, 163-164, 167, 170, 177-178, 184, 189, 244-245, 451; en la sociedad, 163-164, 177-178, 187-188, 193-197, 377-386, 530-537
protestantismo, 132, 436-437, 440-445
protoplasma, 218
Proyecto Manhattan, 339, 581, 594-596
psicoanálisis, 196-197, 382-383, 535
psicología analítica. *Véase* psicoanálisis
psicología, 196-197, 374-375, 375-383, 526-527, 533
Ptolomeo, Claudio, 34-36
publicaciones científicas, 390, 407, 418-422
púlsares, 369
Punnett, R. C., 254
puritanismo, 405-407, 436-437
Purkinje, Jan, 218

quarks, 341
Quetelet, Lambert, 388
química, 70, 72-73, 76-77, 96-97; y biología, 209-210, 221-224; y guerra, 583-586. *Véase también* química neumática
química neumática, 78, 82, 83

Rackstrow, Benjamin, 467
radar, 588-589
radiación de cuerpo negro, 332-333
radiactividad, 318, 323, 339, 574; y bomba atómica, 591-597; y edad de la tierra, 157-158, 300, 306
Rankine, W. J. M., 115, 506
Ray, John, 165-166, 404, 444-445
Rayleigh, lord. *Véase* Strutt, John William
rayos alfa, 323, 338-339
rayos beta, 323, 340
rayos catódicos, 320-321, 572
rayos gamma, 323, 338-339
rayos X, 318, 320-323, 551, 572-575, 621
razonamiento basado en el diseño. *Véase* teología natural
reacción en cadena, 592
Redi, Francesco, 404-405
Redondi, Pietro, 435
reduccionismo, en biología, 218, 221-224, 227-228, 264, 288-292, 448; en las ciencias humanas, 375-377, 524-528. *Véase también* materialismo
Regnault, Victor, 114, 122-123, 505-506
Reingold, Nathan, 401
relaciones sociales de la ciencia, 7-8, 18-22, 586-587. *Véanse también* ciencia aplicada, educación, financiación de la ciencia, gobierno y ciencia, ideología y ciencia, profesionalización de la ciencia, comunidad científica, publicaciones científicas, sociedades científicas
relatividad, teorías especial y general de la, 317-318, 327-331, 337, 342-343, 349, 359-360, 369-370
religión, 5-6, 405-407, 429-432, 436-437; y biología, 164-165, 167, 168, 440-441, 445-446; y cosmología, 432-436, 442-445, 457-458; y evolución, 171-178, 187-188, 190-195, 446-482; y física, 107, 112, 456-459. y geología, 130, 132-133, 146, 152-153, 437-440. *Véanse también* agnosticismo, deísmo, Iglesia católica, islam, teología natural, protestantismo, puritanismo
reproducción. *Véanse* embriología, genética, herencia
reproducción de animales y plantas, 182, 251, 254. *Véase también* eugenesia
reptiles, época de, 143, 300, 302-304
resonancia magnética, 551, 575-576
respiración, 209, 220-221
revolución científica (del siglo XVII), 7, 9, 23; y cosmología, 132; organización de la ciencia durante la, 403-409; y religión, 432-436, 438-439, 440-445
Revolución Industrial, 101-102

revoluciones científicas. *Véase* revoluciones en la ciencia
revoluciones en la ciencia, 13, 161-162, 259, 296
Ritter, J. W., 104-105
Robertson, Joseph, 514
Robison, John, 504
rocas, formación de, 135, 137-144
rocas sedimentarias. *Véase* estratigrafía
Rockefeller, John D., 391
Roddenberry, Gene, 484
Rodolfo II (emperador), 404
Romanes, George John, 196-197, 378, 534-535
romanticismo, 275, 277-278
Röntgen, Karl Wilhelm, 320-322, 571-572
Roosevelt, Franklin Delano, 339
Rosse, lord, 351-352
Rouelle, Guillaume-François, 85-86
Roux, Wilhelm, 231-232
Rowland, Henry, 511
Royal Astronomical Society, 330
Royal Institution, 82, 91, 105, 418-419, 469
Royal Polytechnic Institution, 472-474
Royal Society de Londres, 56, 59, 330, 405-406, 410-411, 436-437, 466, 468, 480, 498, 500, 514, 619
Rudwick, Martin J. S., 17-18, 401
Ruse, Michael, 189-190
Rusia, 276, 389, 545, 601-602
Rutherford, Ernest, 323-324, 333, 337-338, 342, 585
Ryle, Martin, 366, 369

Sachs, Julius, 231
Saint-Hilaire, Geoffroy. *Véase* Geoffroy Saint-Hilaire
saltos, 198-200, 252-253. *Véase también* mutaciones
«salvajes», 384, 532-533. *Véase también* teoría de las razas
Sarton, George, 8-9, 496, 518
Sauvages, F. B. de, 558
Schaffer, Simon, 17-18
Scheele, Carl, 85
Schelling, F. W. J., 104-105
Schiebinger, Londa, 626
Schleiden, Mathias, 215
Schmidt, Maarten, 368
Schrödinger, Erwin, 335-337, 343
Schwann, Theodor, 215-217
Schwartzchild, Karl, 369
Scopes, John Thomas, 452
Secord, James, 178
Sedgwick, Adam, 143, 180, 414
Seebeck, T. J., 105-106
Séguin, Marc, 505
segunda guerra mundial, 586-601
selección natural, 162, 182-185, 190-193, 197-202, 447, 450, 625, 630. *Véanse también* darwinismo, darwinismo social, lucha por la existencia
Sendivogius, Michael, 73-74
sensacionalismo, 375-376
Shapin, Steven, 18-19, 23-24, 513, 526
Shapley, Harlow, 354
Shelford, Victor E., 285
Sherrington, Charles, 527
Silvius, Franciscus, 75-76
simios, 194, 528-529
Sitter, Willem de, 360-362
Smith, James, 411
Smith, William, 141
Smuts, J. C., 284
Snow, C. P., 464, 491
Sociedad Linneana, 411
Sociedad Lunar, 411-412, 505
sociedades científicas, 404-405, 418-422; en biología, 229-230, 283-284; en psicología, 379-380
sociedades «primitivas», 383-385, 530-532
sociología, 387-391
sociología de la ciencia, 13-14, 18-22, 162, 229-230, 522-523

Soddy, Frederick, 323
Somerville, Mary, 481, 624
sonar, 588
Spencer, Herbert, 374, 377-378, 389, 448, 526; sobre evolución social, 533, 537, 540-541
Sprat, Thomas, 405
Spurzheim, J. C., 488, 524
Stahl, Georg Ernst, 72, 77, 81, 85-86, 555
Star Trek, 368, 370, 463, 484
Steno, Nicholas, 133-134
Stephenson, George, 507
Strutt, John William (lord Rayleigh), 157, 326, 333, 457, 584-585
Sturgeon, William, 105, 108, 474
Swift, Jonathan, 480
Swinton, A. A. C., 572
Szilard, Leo, 593, 600

Tait, Peter Guthrie, 115-116, 125-126
Tansley, Arthur G., 283-284
Tatum, Edward, 260
taxonomía, en biología. *Véase* clasificación de las especies
taylorismo, 517
tectónica de placas, 307-314, 582. *Véase también* deriva continental
tejido, biológico, 219-220
telégrafo electromagnético, 118, 474-475, 507-511
teleología, 220-221, 226-227. *Véase también* teología natural
teleomecanismo, 221
telescopio espacial Hubble, 370
telescopios, 37
Teller, Edward, 603-604
teología natural, 107, 110-113, 125, 152, 164-167, 171-177, 440-446, 447-450
teoría atómica, 92-95, 319
teoría cinética de los gases, 123-124
teoría de la preformación, 214-215, 242-245
teoría de la recapitulación, 176, 177, 189-190, 195-196, 214-215, 231, 245; y naturaleza humana, 378, 381, 534-535
teoría de las razas, 193-197, 383-384, 528-530, 534-535, 538-539
teoría de los gérmenes, 562
teoría del enfriamiento de la tierra, 137, 148-149, 156, 173, 299
teoría del retroceso de los océanos. *Véase* neptunismo
teoría humeral de las enfermedades, 555
termodinámica, 95, 115-116, 118, 123-124; y edad de la tierra, 156, 299; interpretación estadística de la, 123-124; primera ley de la, 115; segunda ley de la, 115, 123-124
terremotos, 138, 141, 149, 154, 309-310
Thatcher, Margaret, 387
Thiselton-Dyer, William, 231
Thompson, Benjamin (conde Rumford), 469
Thomson, G. P., 593
Thomson, J. Arthur, 451
Thomson, J. J., 318-320, 322, 324, 332, 337, 342, 457, 584-585
Thomson, James, 114
Thomson, William (lord Kelvin), 18, 114-117, 118-119, 123-124, 471; sobre la edad de la tierra, 116, 156, 192, 299, 506
Thoreau, Henry David, 274-275
tiempo, geológico (edad de la tierra), 129-135, 135-138, 141, 151-142, 156-158, 192, 296-301; origen de la, 133, 137-138, 431-438. *Véanse también* teoría del enfriamiento de la, geología, geofísica, montañas, estratigrafía
Tizard, Henry, 587, 588-589, 590-591, 593
Torricelli, Evangelista, 49

trabajo, 100-101, 104, 107, 112-113, 114-115, 119, 122
transformaciones de Lorenz-FitzGerald, 328
Trismegisto, Hermes, 44, 62
Tschermak, E. von, 253
Twort, Frederick, 567
Tylor, Edward B., 384, 532
Tyndall, John, 126, 527

uniformitarianismo, en geología, 130, 150-156, 180, 298-299, 314-315
universidades, 212, 221, 403, 409, 413-414; ciencias humanas en, 379-380, 390-391
universo geocéntrico, 33-36, 40-43
universo heliocéntrico, 33, 36-39, 42-43, 63, 347-349
Ure, Andrew, 507
urea, 223
Ursus, Nicolai Reymers, 42
uso militar de la ciencia. *Véase* guerra
Ussher, James, 132, 438
utilitarismo, 376, 387

vacunas, 562-563
Valentine, Basil, 74
Vernadskii, V. I., 290, 602
Verne, Jules, 483
Vesalius, Andreas, 403
Vía Láctea, 347, 351, 353-354, 357, 358, 371
Vine, Fred, 310-311
Virchow, Rudolf, 216-217, 563
vitalismo, 209-210, 218, 220-224, 226-228, 244-245
vivisección, 208, 224, 230. *Véase también* antivivisección
volcanes, 148, 151, 153
Volta, Alessandro, 105-106
Voltaire, François Maria Arouet de, 32, 63-64
Volterra, Vico, 287-289
vulcanismo, 151

Wakley, Thomas, 487
Waksman, Selman, 568-570
Walker, Adam, 468
Wallace, Alfred Russel, 185, 189, 192-193
Ward, Lester Frank, 538
Warming, Eugenius, 232-233, 280-281
Watson, James, 240-241, 260, 623
Watson, John B., 380-381
Watt, James, 80-81, 101, 411, 502-506
Wedgwood, Josiah, 80-81, 411, 505
Wegener, Alfred, 298, 301-305
Weiner, Norbert, 290
Weismann, August, 198, 215, 252
Weldon, W. F. R., 199
Wells, H. G., 287-288, 483, 585
Werner, A. G., 139-140, 278, 409, 439
Wheatstone, Charles, 508-509, 516
Wheeler, John, 369
Whewell, William, 6, 417, 495, 501,518
Whiston, William, 133, 438
Whitehead, Alfred North, 7, 8
Whittaker, Edmund, 365
Whittle, Frank, 590
Wien, Wilhelm, 333
Wilberforce, Samuel, 188, 448-449
Wilkins, Maurice, 260, 623
Willoughby, Francis, 404
Wilson, C. T. R., 338
Wilson, E. B., 231-232
Wilson, Edward O., 289-290, 546
Wilson, J. Tuzo, 311-312
Wohler, Friedrich, 223
Wolff, C. F., 244-245
Wood, Robert Muir, 296-297
Woodruff, H. Boyd, 570
Woodward, John, 135, 438
Worster, Donald, 269
Wren, Christopher, 405
Wright, Joseph, 78
Wright, Sewall, 201

Wright, Thomas, 350-351
Wundt, Wilhelm, 379

Youmans, E. L., 481
Young, Robert M., 522, 536

Zilsel, Edgar, 497
Zuckerman, Solly, 590, 602-603
Zweig, George, 341

Índice

Prefacio VII

1. Introducción: Ciencia, sociedad e historia. 1

Primera parte
HITOS EN EL DESARROLLO DE LA CIENCIA

2. La revolución científica 31
3. La revolución química 70
4. La conservación de la energía 99
5. La edad de la tierra 129
6. La revolución darwiniana. 161
7. La nueva biología. 207
8. Genética 238
9. Ecología y ecologismo. 268
10. La deriva continental 296
11. La física del siglo XX 317
12. Revolución en la cosmología 347
13. La aparición de las ciencias humanas 373

Segunda parte
TEMAS DE LA HISTORIA DE LA CIENCIA

14. La organización de la ciencia 399
15. Ciencia y religión. 429
16. Ciencia popular 463
17. Ciencia y tecnología. 493
18. Biología e ideología. 521
19. Ciencia y medicina 551
20. Ciencia y guerra 580
21. Ciencia y género 610

Epílogo 639
Índice analítico 643

Pocos negarán que la ciencia afecta a nuestras vidas como ningún otro producto de la inteligencia humana, y sin embargo la mayoría de nosotros ignoramos casi todo acerca de su historia, de cómo se fueron construyendo los métodos y resultados sin los cuales nuestra civilización sería completamente diferente (y peor).

En este libro apasionante Peter J. Bowler e Iwan Rhys Morus, dos reconocidos historiadores de la ciencia británicos, han conseguido aunar el rigor, fruto de una ya larga cosecha de estudios sobre historia de la ciencia, y la sencillez del lenguaje accesible a cualquier lector. Es lo que pocos textos logran ser: un libro que puede servir tanto al estudiante de los primeros cursos universitarios como al lector general, y del que ha dicho Michael Ruse que «definirá la historia de la ciencia». La revolución científica que estableció las bases de la ciencia moderna, la geología uniformista y la teoría de la deriva de los continentes que permitieron comprender la historia de la Tierra, la revolución darwiniana, la biología y la genética, la física del siglo XX y la cosmología son algunos de los episodios que trata este libro, junto a temas específicos tan variados como pueden ser la ciencia popular, la biología o la sempiterna cuestión de las relaciones entre ciencia y religión.

Drakontos

965767

9 788484 328629