CARLOS JAVIER ALONSO

HISTORIA BÁSICA DE LA CIENCIA

EUNSA
EDICIONES UNIVERSIDAD DE NAVARRA, S.A.
PAMPLONA

Primera edición: Abril 2001

© 2001. Carlos Javier Alonso
Ediciones Universidad de Navarra, S.A. (EUNSA)
Plaza de los Sauces, 1 y 2. 31010 Barañáin (Navarra) - España
Teléfono: (34) 948 25 68 50 - Fax: (34) 948 25 68 54
e-mail: eunsa@cin.es

ISBN: 84-313-1867-8
Depósito legal: NA 1.150-2001

Autor y editor agradecen el respeto a la propiedad intelectual.

Diseño de la cubierta:
Félix Torres

Composición:
PRETEXTO. Pamplona

Imprime:
NAVAPRINT, S.L. Mutilva Baja (Navarra)

Printed in Spain - Impreso en España

Serie: Ciencias

Nota de agradecimiento

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a Félix Torres, ingeniero industrial, quien puso a mi disposición con completa generosidad una documentación histórica y científica ingente y muy valiosa. Es asimismo impagable la labor de Alfredo Marcos, profesor de Filosofía y de Historia de la Ciencia, cuya colaboración y cuyas desinteresadas orientaciones han sido determinantes en la composición de esta obra. Si el resultado final contiene errores o lagunas, habrán de achacarse, en todo caso, exclusivamente a la impericia del autor.

Índice

PRÓLOGO 13

1
LA CIENCIA ANTIGUA: MESOPOTAMIA Y EGIPTO

INTRODUCCIÓN 31

1.1. LA CIENCIA EN MESOPOTAMIA: CARACTERÍSTICAS GENERALES 38
1.1.1. Las matemáticas 39
1.1.2. La astronomía 42
1.1.3. La medicina 45

1.2. LA CIENCIA EN EGIPTO: CARACTERÍSTICAS GENERALES 46
1.2.1. Las matemáticas 50
1.2.2. La astronomía 50
1.2.3. La medicina 51

1.3. ESCUELA Y ESCRITURA 54

2
LA CIENCIA ANTIGUA: GRECIA

INTRODUCCIÓN 59

2.1. LA ASTRONOMÍA GRIEGA 64
2.1.1. La astronomía de los presocráticos 66
2.1.2. El sistema de Heráclides Póntico 77
2.1.3. «El problema de Platón» 79
2.1.4. Las esferas homocéntricas de Eudoxo y Calipo 79
2.1.5. Las esferas retrógradas de Aristóteles 81
2.1.6. El heliocentrismo de Aristarco 82
2.1.7. Los epiciclos y excéntricas de Hiparco 84

2.1.8. La tradición estoica y la «astrofísica» de Plutarco 86
2.1.9. La astronomía de Ptolomeo 87
2.2. La biología griega 89
2.2.1. La biología griega anterior a Aristóteles 90
2.2.2. La obra biológica de Aristóteles 93
2.3. La medicina helenística 98
2.4. Las matemáticas griegas 99
2.4.1. La escuela pitagórica 104
2.4.2. Euclides 108
2.4.3. Arquímedes 111
2.4.4. Apolonio de Pérgamo 114

3
CIENCIA ANTIGUA: CHINA

Introducción 117
3.1. Por qué no hubo ciencia *stricto sensu* en China 122
a) Análisis de las estructuras sociales 126
b) Análisis de las factores ideológico y jurídico-teológicos 130
3.2. Matemáticas chinas 138
3.3. Astronomía china 139
3.4. Alquimia china 140
3.5. Medicina china 141

4
CIENCIA Y SABER EN LA EUROPA MEDIEVAL

Introducción 143
4.1. La alquimia 158
4.2. La astronomía 160
4.3. Las matemáticas 162
4.4. La medicina 165
4.5. La «inmensa noche de la barbarie» 171
4.6. La ciencia del siglo XIV 174
4.7. Astronomía y humanismo en el siglo XV 178

5
LA REVOLUCIÓN COPERNICANA

Introducción 181
5.1. La astronomía en la Edad Moderna 186

5.2. La revolución copernicana 188
5.2.1. Razones para el cambio 192
5.2.2. La astronomía de Copérnico 193
5.2.3. Evaluación de la nueva astronomía 195
5.2.4. La recepción del heliocentrismo 196
5.3. El compromiso de Tycho Brahe 198
5.3.1. El sistema de Tycho Brahe 198
5.3.2. Las observaciones de Tycho Brahe 200
5.4. La nueva astronomía de Kepler 201
5.5. Los descubrimientos de Galileo 205
5.6. El proceso a Galileo 208

6
LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA

Introducción 219
6.1. Historiografía de la revolución científica 233
6.1.1. La conexión medieval 234
6.1.2. El debate Duhem-Koyré 238
6.1.3. La influencia del cristianismo en la génesis de la ciencia moderna 245
6.1.4. Puritanos y artesanos. La tesis de Merton 248
6.1.5. El hermetismo y la nueva ciencia 250
6.1.6. Conclusiones 252
6.2. Cosmología: hacia el Universo infinito 253
6.2.1. El universo infinito de Cusa y Bruno 254
6.2.2. Copérnico y los copernicanos 258
6.2.3. El debate entre Descartes y More 261
6.2.4. La cosmología newtoniana 262
6.2.5. El debate entre Leibniz y Clarke 263
6.3. La física moderna 267
6.3.1. Comunidad de naturaleza, magnetismo, *impetus* 269
6.3.2. El estudio del movimiento en Galileo 270
6.3.3. El mecanicismo de Descartes 274
6.3.4. Las aportaciones de Borelli, Huygens y Hooke 275
6.3.5. Los *Principia* de Newton 276
6.4. Las matemáticas de la Edad Moderna 285
6.5. La química moderna 287
6.6. La medicina moderna 290

7
LA CIENCIA ILUSTRADA

INTRODUCCIÓN 293
7.1. LA REVOLUCIÓN DE LA QUÍMICA EN EL SIGLO XVIII 302
7.1.1. De la alquimia a la química 305
7.1.2. La química del flogisto 307
7.1.3. La química newtoniana 308
7.1.4. Del flogisto al oxígeno 311
7.1.5. El desarrollo de la teoría atómica 316
7.2. LAS MATEMÁTICAS ILUSTRADAS 318
7.3. LA FÍSICA ILUSTRADA 322
7.3.1. Teorías sobre el calor 322
7.3.2. La electricidad y el magnetismo 324
7.3.3. La astronomía 329
7.4. LA MEDICINA DEL XVIII 329
7.5. LA BIOLOGÍA DEL XVIII 331

8
LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

INTRODUCCIÓN 339
8.1. LA BIOLOGÍA CONTEMPORÁNEA 353
8.1.1. Conceptos básicos sobre evolución 354
8.1.2. Las pruebas de la evolución 356
8.1.3. Las teorías de la evolución 359
8.1.4. La revolución de la biología molecular 372
8.1.5. La génesis de la bioética 380
8.2. LAS MATEMÁTICAS CONTEMPORÁNEAS 382
8.3. LA FÍSICA CONTEMPORÁNEA 386
8.3.1. Electricidad y magnetismo 387
8.3.2. Óptica 390
8.3.3. La termodinámica 393
8.3.4. La revolución de la física 396
8.4. LA ASTRONOMÍA CONTEMPORÁNEA 412
8.5. LA QUÍMICA CONTEMPORÁNEA 417
8.6. LA MEDICINA CONTEMPORÁNEA 422
8.7. EL ORIGEN Y CONSOLIDACIÓN DE LAS CIENCIAS SOCIALES 433
8.7.1. Psicología 435
8.7.2. Sociología 462
8.7.3. Antropología cultural 472

BIBLIOGRAFÍA 499

Prólogo

Pocos términos como el de *ciencia* gozan de tanto prestigio en la actualidad. El vocablo *ciencia* (en latín *scientia*, de *scire*, «conocer»), denota aquella actividad cultural humana que tiene como objetivo la constitución y fundamentación de un cuerpo sistemático del saber. Así definida, esta actividad podría confundirse con otras similares con un objetivo parecido, como la filosofía, el arte y hasta la misma religión. Pero la actividad científica se distingue de otras análogas por sus características específicas: el conocimiento del que trata es un conocimiento racional, que se refiere al mundo natural y humano, cuyas regularidades quiere explicar y predecir; obtenido mediante un método, es sistemático porque se organiza mediante hipótesis, leyes y teorías, y es un conocimiento objetivo y público, porque busca ser reconocido por todos como verdadero o, por lo menos, ser aceptado por consenso universal. Al saber científico le compete indagar la causa de los hechos considerados, penetrando hasta el porqué explicativo de los mismos. Y esto no a propósito de ámbitos de realidad inconexos, sino relacionados entre sí, de forma que tal saber adopta un aspecto sistemático —un «sistema» es un conjunto de proposiciones que constituyen un sólido edificio ideológico, al apoyarse unas en otras. Es común considerar la ciencia como un modo de conocimiento que aspira a formular mediante lenguajes rigurosos y apropiados —en lo posible, con el auxilio del lenguaje matemático— leyes por medio de las cuales se rigen los fenómenos o bien el pensamiento humano. Cada ciencia acota un campo determinado y, al mismo tiempo, lo considera no en su máxima profundidad, sino en un aspecto más superficial: *parcialidad* y *reducción al aspecto de lo observable empíri-*

camente o a lo racionalmente constatable son, pues, los rasgos definitorios del saber científico. Por su parte, la filosofía presenta los mismos rasgos que descubrimos en las ciencias, excepto la doble limitación a que últimamente nos hemos referido (parcialidad y superficialidad). *Totalidad* y *radicalidad* son, en cambio, los dos caracteres distintivos de la filosofía con respecto a las ciencias.

Ciencia es, pues, el término que en su sentido más amplio se emplea para referirse al conocimiento sistematizado en cualquier campo, pero que suele aplicarse sobre todo a la organización de la experiencia sensorial objetivamente verificable. La búsqueda de conocimiento en ese contexto se conoce como «ciencia pura», para distinguirla de la «ciencia aplicada» —la búsqueda de usos prácticos del conocimiento científico— y de la tecnología, a través de la cual se llevan a cabo las aplicaciones. Así entendido, el concepto de ciencia debería aplicarse exclusivamente a las denominadas ciencias empíricas, como la física o la zoología, excluyendo a las llamadas ciencias formales, como la matemática y la lógica. Pero estas últimas son también ciencias en el pleno sentido de la palabra porque, si bien no se refieren a hechos de la naturaleza, son también un conocimiento universal, sistemático y metódico. Proporcionan los instrumentos de cálculo e inferencia, necesarios para el método y la sistematización de las ciencias empíricas y, además, también mantienen alguna relación con la Naturaleza, de la cual constituyen modelos o formas para pensarla.

Las características básicas de que goza la ciencia son las mismas que se atribuyen al conocimiento científico, ya que, en definitiva, son una sola y misma cosa (uno es el resultado de la actividad y la otra es la actividad humana que lo produce), y sólo a ellos se aplica la noción de *episteme*, tal como se denominaba al verdadero saber entre los griegos, por oposición a la mera opinión, que se consideraba conocimiento impropio o saber infundado. Pero la actual filosofía de la ciencia ha matizado el valor de verdad de la ciencia. Y, así, resalta el aspecto de provisionalidad del conocimiento científico e insiste en que la ciencia es sobre todo aquella actividad racional que consiste en proponer teorías provisionales, a modo de conjeturas audaces, a partir de los problemas que surgen de nuestra adaptación al medio, para someterlas a la prueba del experimento, contrastándolas con los hechos, a fin de descubrir su po-

sible falsedad. De aquí que lo que caracteriza al desarrollo de la ciencia no sea precisamente la acumulación de conocimientos, sino la indagación de la verdad persistente y temerariamente crítica.

Hemos tratado de aportar una caracterización de la ciencia suficiente para nuestros objetivos. No es nuestro propósito intentar de ninguna forma una definición precisa ni un criterio de demarcación. La discusión sobre qué es la ciencia, cuáles son sus características propias, cómo se diferencia de las pseudo-ciencias o de otros ámbitos del saber, no es el objeto de este ensayo [1]. Si pudiésemos decidir estas cuestiones en una introducción, realmente agotaríamos, al mismo tiempo, todo el espacio disponible reservado a la historia de la ciencia.

Pues bien, con todas las limitaciones dichas, desde una perspectiva aristotélica (tal vez, ampliamante compartida en este punto), podemos considerar que la acción humana busca la felicidad y que ésta consiste en el saber, el bienestar y la convivencia. Para obtener conocimiento y bienestar, el hombre ha desplegado todos los medios sensoriales, conceptuales y teóricos, materiales e institucionales que ha tenido a su disposición o que ha logrado crear. Llamamos *ciencia* a una cierta modulación de esta búsqueda universal del saber y del bienestar por parte del hombre. Desde esta óptica, la ciencia no es una forma extraña de conocimiento, ni de lenguaje, ni de método, ni tiene fines plenamente propios. Es una modulación del sentido común, del lenguaje vulgar, y un instrumento al servicio de los fines generales de la vida humana. En función de tales fines debe ser juzgada. Estará justificada en la medida en que nos permita saber más sobre la realidad y vivir mejor.

El que las diferencias sean graduales o adjetivas no quiere decir que no existan. Así, la ciencia será sentido común autoconsciente, crítico, ilustrado o desarrollado, pero no simple sentido común. Empleará los métodos habituales para obtener conocimiento, pero bajo un más estricto control crítico, con mayor constancia, continuidad y rapidez; y algo análogo se puede decir de su lenguaje. La ciencia implica el trabajo de muchas personas y un intercambio de

1. Para una caracterización más profunda del saber científico y su relación con la pseudo-ciencia puede consultarse C.J. ALONSO: *La agonía del cientificismo. Una aproximación a la filosofía de la ciencia*, Eunsa, Pamplona, 1999.

información entre ellas que permite un desarrollo más rápido del conocimiento.

Bien entendido que la ciencia no se agota en sus aspectos epistemológicos; la ciencia no es sólo conocimiento, sino que también consiste en acción humana, instituciones, instrumentos y objetos materiales; además, está íntimamente ligada a las aplicaciones tecnológicas. Si la ciencia tiene todas estas caras, también su estudio admite múltiples enfoques. El texto que aquí se presenta se orientará, sobre todo, hacia los aspectos históricos. Está claro que, en función de este objetivo, tendremos que introducir algunas consideraciones relativas a los aspectos sociales o institucionales de la ciencia, como también habremos de referirnos alguna vez a los métodos, a los conceptos y teorías, a los aspectos empíricos, en la medida en que afecten a su eficacia epistémica. En cualquier caso, la perspectiva metodológica que nos guía es básicamente histórica.

La insistencia en los aspectos históricos de la ciencia no anula el reconocimiento de que existen otros. Nos interesan también, ya desde el principio, dos de las cuestiones que más importan en la filosofía de la ciencia actual, a saber, la de la racionalidad y la del realismo. Nos interesa saber si la ciencia es un modo racional de desarrollo del conocimiento y si este conocimiento es acerca de la realidad. Las repercusiones intelectuales y prácticas que pueden tener estas cuestiones son parte de lo que hace apasionante el estudio de la historia de la ciencia.

Sin embargo, no podemos perder de vista que la ciencia no es el único sistema de obtención de conocimiento. Quizá sea verdad que una buena parte de lo que sabemos y, desde luego, de lo que sabemos hacer, nos llega por vías distintas de la ciencia. Las formas que el hombre tiene de acercarse a la realidad son plurales. Desde la herencia genética y las tradiciones, la experiencia personal, hasta el arte, la técnica y artesanía, la religión, la poesía o la filosofía pueden ser también fuentes de conocimiento de ciertos aspectos de la realidad. Una vez constatado que el objeto de estudio, la ciencia, tiene múltiples facetas, hemos seleccionado las más florecientes en cada contexto temporal.

Como su mismo nombre indica, la historia de la ciencia trata de la ciencia en su dimensión histórica. Es una disciplina que existe sólo desde comienzos del siglo XX y que ha conseguido un desa-

rrollo notable desde los años cincuenta, pero que no ha alcanzado una situación definida en el ámbito universitario, pese a la existencia, en diversos países, de cátedras que llevan su nombre, por cuanto se lleva a cabo con procedimientos, métodos y objetivos distintos según los lugares, y hasta se discute si, en cuanto disciplina científica, pertenece al departamento de ciencias, de filosofía o de historia, y sus mismos profesionales son, según las ocasiones, científicos, filósofos o historiadores. De nombre variable, se la denomina a veces «historia de las ciencias», «historia del pensamiento científico» o «historia social de la ciencia», y se discute también si es una disciplina incompatible con la filosofía de la ciencia, con la que comparte el mismo objeto de estudio.

Se habla de dos formas distintas de historia de la ciencia: el enfoque interno, predominante, que sólo trata de las teorías científicas; y el enfoque externo, que trata de la actividad de los científicos en cuanto pertenecen a un grupo social y a una cultura determinados. En el supuesto de este doble tipo de historia, se discute también acerca del doble objeto de que trata. Para unos, los promotores de una historia interna, el objeto es todo aquello (observaciones, experimentos, instrumentos y técnicas de investigación, descubrimientos, inventos, los mismos paradigmas científicos, o los programas de investigación, etc.) que, desde dentro de una ciencia y sin recurrir a ningún elemento externo a ella, puede explicar la génesis y el proceso (sobre todo lo referente al contexto de descubrimiento) de las teorías científicas. Para los que defienden el enfoque de una historia externa, objeto de la misma es todo aquello que, desde el exterior de la sustancia de la ciencia (la comunidad científica, la ideología, la cultura, la religión, la filosofía, las aplicaciones técnicas, la sociedad, etc.) condiciona la investigación científica en un sentido u otro. La suma de estos condicionamientos, que pueden dividirse en psicosociológicos e intelectuales, constituye el modelo de la llamada «historia integral», y que, en ocasiones, se ha opuesto a la llamada «historiografía *whig*», o interpretación *whig* de la historia, esto es, aquella que procede linealmente desde el interior de la ciencia y entiende su desarrollo como una historia de progreso desde el pasado al presente. A diferencia del enfoque interno, la historia externa de la ciencia tiende a dar relieve al contexto de justificación de las teorías científicas, así como a su difusión dentro de la sociedad.

Seguramente el primero que alude al progreso y lo define como ley de la existencia temporal es Leibniz, a finales del S. XVII. Por entonces, en Occidente se empieza a pensar que se puede ir a más, es decir, que la marcha de la historia puede acelerarse y que esa aceleración abre perspectivas espléndidas para mejorar la situación del hombre. La idea de progreso cuaja. Si consultamos nuestras propias convicciones, comprobaremos que esa idea está en nosotros; existe desde hace, al menos, tres siglos. Los romanos no tenían la idea de progreso; tampoco los griegos, ni los egipcios, ni los chinos. Si examinamos esas culturas, comprobaremos que la idea de progreso aparece sólo en Occidente. ¿Por qué cristaliza esa idea? Hay muchos factores, pero de momento señalaremos dos.

La idea de progreso surge del propósito de no cultivar el saber en círculos apartados, sino de hacer que penetre en la sociedad hasta el punto de que la dinámica social sea promovida por él. Si el saber puede aumentar —y está claro que donde más puede hacerlo es en las nuevas circunstancias— y si impregna la dinámica social, tenemos entonces un vector de futuro perfectamente diferenciado. Así aparece un proyecto sugestivo: aplicando el saber podemos mejorar nuestras condiciones de vida, nuestra organización social y la situación de la humanidad. Mejoraremos en la medida en que descubramos saberes útiles, que puedan transformarse en procedimientos productivos, en nuevas técnicas. De este modo, nos libraremos de la penuria, de la dificultad de las relaciones del hombre con la naturaleza; así la dominaremos.

Esta idea se basa, por tanto, en la confianza en la ciencia moderna. No es extraño, por eso, que sea Leibniz quien esté en el centro de su primera gran elaboración. Leibniz empezó a formular una idea que, por otra parte, Newton también señala en los *Principia:* se puede incrementar la dominación técnica del mundo, porque cabe una interpretación dinámico-mecánica del Universo. La mecánica, que según los antiguos era un arte exclusivamente humano, que nada tenía que ver con la constitución del cosmos, puede, según Newton, generalizarse y extenderse al Universo entero. Tendremos así una mecánica racional, una comprensión mecánica del mundo. Si hacemos del Universo una gran máquina, podemos controlarlo, y mejorar con ello nuestra situación en él. La primera formulación de Leibniz se interpreta, de este modo, como un proceso

indefinido con el cual nos iremos librando de los males que han aquejado a la humanidad hasta el presente. El futuro es mejor que el pasado. Es el futurismo, la gran esperanza en el porvenir. Tenemos una ciencia cuyo desarrollo nos permitirá conquistas inéditas.

Sin embargo, algunos de los teóricos de la ciencia actuales que están más de moda —Kuhn o Feyerabend— señalan una crisis: la ciencia no garantiza el cumplimiento de las esperanzas que se han puesto en ella. La ideología progresista es un ceremonialismo, porque mientras no sepamos manejar las objeciones, las aporías no solubles con que se ha topado la ciencia, es dudoso que sea posible seguir progresando y aprovechando nuevos hallazgos científicos. Lo que estos autores denuncian se puede entender a partir del llamado *trilema* del barón de Münchausen, pues se sostiene que este trilema afecta intrínsecamente a la ciencia.

No es un simple dilema, que según los lógicos es una dificultad que ataca por dos lados, sino un trilema que ataca por tres. El barón de Münchausen es un personaje de la literatura alemana del s. XVIII, que caracteriza al hombre fanfarrón y confiado que emprende nuevas aventuras con optimismos insensatos y acude a procedimientos imposibles. Estos teóricos ejemplifican metafóricamente en este personaje el trilema de la ciencia actual. Se plantea de la siguiente manera: para llegar a un objetivo, digamos un castillo, el barón tiene que atravesar un lago con sus propios recursos, porque no hay barco. ¿Cómo atravesar el lago? Hay tres posibilidades: la primera es hacer pie, o sea, atravesarlo andando. Para esto hace falta que el lago no sea profundo, pero no es éste el caso. El segundo procedimiento es el que el barón utiliza en la fábula para salir de un pozo: tirarse de la coleta; aquí para sobresalir del agua. Obviamente este procedimiento no es válido porque va contra la ley de la inercia. El tercero sería ir nadando; pero el barón no sabe nadar. En suma, el barón no puede alcanzar el castillo porque el lago es profundo, la solución de la coleta no sirve y no sabe nadar.

Este ejemplo, expuesto de forma narrativo-metafórica, entraña enseñanzas serias que pueden transformarse en conceptos. ¿Qué quiere decir *hacer pie*? Encontrar base, tener un fundamento que permita andar. *No hacer pie* significa que no hay fundamento. El saber moderno, la ciencia físico-matemática, carece de fundamento. Segundo, *mantenerse desde sí*, significaría que la ciencia (ca-

rente de fundamento) podría ser válida si fuera un sistema con coherencia completa, pues entonces, aunque no tuviera fundamento, se bastaría a sí misma como cuerpo de doctrina. Pero la ciencia no es un sistema completo, carece de coherencia, no se basta a sí misma. Tercero, nadar es imagen de la discursividad. Si la ciencia no tiene fundamento ni es un sistema completo, podríamos apelar a otra de sus características, que consiste en que cuando se formula una hipótesis, se puede, desde esa hipótesis, formular otra; así se garantiza, si no su sistematicidad, al menos su continuación, en cuanto que existen reglas para pasar de unas hipótesis a otras. Cuando se formula una hipótesis, se pregunta a la realidad; si ésta no se adapta al modelo, sólo podemos seguir construyendo otro modelo. Pero la ciencia no tiene criterio lógico para construir ese otro modelo o hipótesis a partir del «falsado». Si no hay ningún criterio discursivo, sólo cabe esperar que aparezca un genio capaz de formular nuevas hipótesis o de ampliar las que tenemos. Pero esto no depende de la lógica de las hipótesis, sino de la potencialidad e inventiva humanas. Así, no hay nada en la física de Newton que indique por dónde puede seguirse, a no ser que venga alguien más inteligente y formule otra. Pero esto introduce un factor contingente desde el punto de vista de la racionalidad lógica.

Al margen de la controversia sobre la existencia o no de un progreso científico, otra de las cuestiones que ha polarizado el debate de los historiadores de la ciencia en las últimas décadas es cómo aumenta el conocimiento científico o cómo progresa éste: de modo continuo o discontinuo. Los continuistas, como Pierre Duhem, sostienen un desarrollo gradual y acumulativo de las teorías científicas e interpretan una revolución científica como una evolución dentro de la continuidad, y no como una ruptura. En convergencia con esta tesis, los autores neopositivistas del Círculo de Viena conciben que el progreso científico es lineal y acumulativo, ya que existe propiamente sólo una ciencia unificada, o una única visión científica en el mundo, cuyo depósito de conocimientos se incrementa continuamente a través de la verificación y refutación de hipótesis.

Karl R. Popper fue uno de los primeros autores en oponerse a esta visión de la ciencia y de su progreso, que él mismo compara con un cubo cuyo contenido aumentaría a medida que se va llenando, y la sustituye por una manera de entender la ciencia, vista como

un reflector, que indaga en la experiencia en busca constante de pruebas que puedan refutar sus propias hipótesis: la ciencia, en este supuesto, progresa mediante conjeturas y refutaciones. Los discontinuistas, cuyos máximos representantes son Alexandre Koyré y Thomas S. Kuhn, sostienen que el desarrollo de la ciencia, y por lo mismo su historia, ocurre según períodos sucesivos de ciencia normal y de ciencia revolucionaria. A partir de los años sesenta, otros autores se han adherido a las tesis discontinuistas: Norwood R. Hanson, Paul Feyerabend y Stephen Toulmin. Frente a estas dos posturas opuestas, hay intentos de síntesis o posturas intermedias, que ponen de relieve que las llamadas *revoluciones científicas* no son tan repentinas como su nombre parece indicar, sino que abarcan períodos tan amplios de tiempo que el empleo de la expresión ha de ser más bien convencional.

El más influyente de los modelos historicistas recientes ha sido el propuesto por Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas* (1962), obra de enorme influencia posterior. Según este autor, el avance de la ciencia se produce por la alternancia sucesiva de períodos de ciencia normal y períodos de ciencia revolucionaria, que suponen un cambio de paradigma. El primero es un período conservador, durante el cual se produce una acumulación de conocimientos; el segundo, un período revolucionario y de ruptura, de cambio de paradigma y de introducción y admisión de nuevas teorías que sustituyen en todo o en parte a las antiguas. El progreso, pues, no puede ser lineal, sino según rupturas revolucionarias y cambios de paradigma que no pueden constituir un aumento acumulativo, porque los paradigmas son inconmensurables comparados unos con otros.

A partir de los años setenta, se proponen nuevas maneras de entender el progreso de la ciencia por parte de autores como Imre Lakatos, Larry Laudan, Joseph Sneed, Wolfgang Stegmüller, Dudley Shapere y Mary Hesse, que parten fundamentalmente de las ideas, aceptadas o rechazadas, de Kuhn. El supuesto general de estos autores es que, por un lado, toda nueva teoría sobre el desarrollo de la ciencia ha de tener en cuenta las condiciones históricas reales en que se produce, tanto más cuanto no existe ni una ciencia ideal ni un método científico que pueda imponerse *a priori;* y, por otro lado, que no ha de considerarse consustancial al progreso científi-

co un desarrollo de la ciencia lineal y acumulativo, sino que éste ha de ser siempre el resultado de la crítica de teorías llevadas a cabo en el seno de la comunidad científica y en medio de la competencia mutua entre teorías.

Imre Lakatos, que comparte muchas de las ideas de Popper y se opone a las de Kuhn, cree que la exposición que éste hace del progreso de la ciencia obliga a considerarlo como un proceso irracional. Para salvar la racionalidad del cambio en la ciencia, en lugar del paradigma como núcleo que permanece pese a los cambios, propone «programas de investigación». Un programa de investigación es un conjunto de teorías que supone un núcleo (las leyes y los supuestos fundamentales de la ciencia) constante y no expuesto a la refutación, un «cinturón protector» de hipótesis auxiliares, que pueden refutarse y cambiar, y un conjunto de reglas metodológicas, que orientan en la investigación y en el descubrimiento de diversas teorías, con el que se protege el núcleo y reordena el conjunto de hipótesis auxiliares, que se aceptan o desechan. De esta manera pueden conciliarse la acumulación y la refutación de teorías.

A juicio de Larry Laudan, puesto que el objetivo de la ciencia es la solución de problemas, puede decirse —adoptando una perspectiva pragmática— que la ciencia progresa si determinadas teorías, en un momento dado, resuelven más eficazmente mayor número de problemas que otras anteriores. Según este autor, lo racional, en este caso, consiste en «aceptar las tradiciones de investigación más eficaces en la solución problemas»; quien decide acerca de la eficacia o de los criterios de evaluación de teorías, es la comunidad científica basada en ciertas intuiciones predominantes en ella, que no se someten a discusión. Laudan ha desarrollado una teoría del cambio científico centrada en el concepto de «principios de racionalidad científica», que no son inmutables, sino que se han modificado significativamente en el curso de la ciencia[2].

Hay quien estima que sólo se puede hablar con propiedad de ciencia desde el siglo XVI o XVII. Sin embargo, somos de la opinión de que existe ciencia propiamente dicha desde, al menos, la

2. Cfr. L. LAUDAN: *Progress and its problems: toward a theory of scientific growth*, Univ. of California Press, Berkeley, Los Ángeles, 1977; trad. esp.: *El progreso y sus problemas*, Encuentro, Madrid, 1986.

época en que se desarrollaron la astronomía mesopotámica y la medicina egipcia. Es difícil encontrar argumentos que puedan descalificar como ciencia la serie Mul Apin de anotaciones astronómicas mesopotámicas o el *Papiro de Smith* sobre la cirugía egipcia. Aunque no faltan perspectivas más estrictas, la mayor parte de las obras actuales de historia de la ciencia utilizan el término en un sentido amplio. Popper también abunda en esta opinión: «creo que ya no puede haber duda actualmente acerca de la asombrosa semejanza, por no decir identidad, de los objetivos, intereses, actividades, argumentos y métodos de Galileo y Arquímedes, por ejemplo, o de Copérnico y de Platón, o de Kepler y Aristarco»[3].

Como no interesa la discusión sobre palabras, creemos que no habría problema en distinguir, si se quiere, dos sentidos de ciencia, uno suficientemente amplio como para albergar a la ciencia antigua y medieval, y otro más estrecho y exigente que incluyese sólo la ciencia moderna y contemporánea. En esta acepción amplia, la ciencia es una forma de conocimiento que se viene practicando desde antiguo, pongamos que desde tiempos de los mesopotámicos. Algunos de sus rasgos característicos generales son: la discusión racional, la utilización de argumentos o datos con base empírica, la intensificación de la voluntad de precisión y claridad, la preservación de una tradición, el control crítico de la misma, la tendencia a la difusión. Todo ello, de modo variable, y poniendo más o menos peso en cada uno de los elementos mencionados, se viene dando desde la astronomía mesopotámica y la medicina egipcia, y se consolida con la ciencia griega y medieval (árabe y bajomedieval occidental). En un sentido restrictivo, la ciencia tal y como la entendemos hoy, nace con la llamada *revolución científica* (o algo antes, según Duhem). Es razonable suponer que los elementos generales mencionados se conservan y que a éstos se les añaden otros específicos, por ejemplo, la extensión de la matematización (aunque la astronomía, la estática, la geometría o la musicología antiguas ya fueron matemáticas y muchas áreas de la ciencia actual no lo son), la importancia creciente del control experimental y de la utilidad tecnológica ligada a la ciencia, la insistencia en la investigación como empresa colectiva, la

3. K.R. POPPER: *Conjeturas y Refutaciones. El desarrollo del conocimiento científico*, Paidós, Barcelona, 1994, p. 90.

diversificación de los estudios científicos, la creciente importancia social de los mismos, y quizá algunos más.

En los próximos capítulos y, ante la imposibilidad de seguir el desarrollo de todas las ciencias en todas las épocas, se ha optado por un enfoque selectivo. Hemos procurado cruzar la selección vertical y horizontal (en terminología de Kragh), es decir, de las ciencias y de los momentos históricos, de modo que están representadas un buen número de disciplinas científicas y lo están en los momentos de su historia en que resulten más interesantes o significativas. Se ha procurado articular el contenido de cada disciplina estudiada con la que se tratará a continuación. Así, por ejemplo, el cambio hacia una astronomía helioestática impulsa la modificación de la física, y el prestigio de la física newtoniana condiciona el desarrollo de la química del siglo XVIII. Todos estos criterios de selección no siempre se pueden combinar de modo óptimo, pero consideramos que los temas que se presentan lo hacen hasta donde es posible y adecuándose al espacio de que se dispone.

En definitiva, creemos perfectamente razonable —y así se hará en el curso de esta obra— el prestar atención a la ciencia antigua, medieval, moderna y contemporánea. Así las cosas, históricamente, este tipo de conocimiento tuvo sus orígenes en Mesopotamia y en Egipto, y alcanzó su plenitud —en su fase antigua— en Grecia, hacia el s. VI a.C., primero en forma de conocimientos de matemáticas y astronomía, y luego en forma de cosmologías nuevas que sustituyeron —en sus métodos, pero no en sus objetivos— a las viejas cosmogonías, tanto griegas y egipcias como babilónicas. A este primer nacimiento se añadió, en el s. XVII, también en Occidente y en la cuenca del Mediterráneo, el segundo y definitivo surgimiento de la ciencia, gracias a la renovación del modelo astronómico del mundo por obra de Nicolás Copérnico y, luego, a la aplicación del método matemático a los fenómenos físicos de la Naturaleza, obra de Galileo. Estos autores y quienes siguieron apoyándose en su modelo de investigar dieron origen a lo que se denominó entonces *ciencia nueva* y posteriormente *ciencia moderna,* la cual, con la síntesis posterior de la mecánica clásica de Newton, que supuso su culminación, se constituyó en modelo de conocimiento científico, o de ciencia, para toda la civilización posterior.

Cuatro son, por consiguiente, los períodos que destacaremos como característicos de la aparición y constitución histórica de la ciencia: 1) La ciencia antigua, que analizaremos en cuatro de sus principales ubicaciones: Mesopotamia, Egipto, Grecia y China. Los testimonios escritos más antiguos de investigaciones protocientíficas proceden de las culturas mesopotámicas, y corresponden a listas de observaciones astronómicas, sustancias químicas o síntomas de enfermedades —además de numerosas tablas matemáticas— inscritas en caracteres cuneiformes sobre tablillas de arcilla. Otras tablillas que datan aproximadamente del 2000 a.C. demuestran que los babilonios conocían el teorema de Pitágoras, resolvían ecuaciones cuadráticas y habían desarrollado un sistema sexagesimal de medidas (basado en el número 60) del que se derivan las unidades modernas para tiempos y ángulos. En el valle del Nilo se han descubierto papiros de una época similar que contienen información sobre el tratamiento de heridas y enfermedades, la distribución de pan y cerveza, y la forma de hallar el volumen de una parte de una pirámide.

El paso de las primitivas cosmogonías a las nuevas cosmologías, iniciadas por el pensamiento racional de los jonios del Asia Menor, supone el surgimiento de la filosofía en el s. VI a.C. Si el conocimiento científico en Egipto y Mesopotamia era sobre todo de naturaleza práctica, sin demasiada organización racional, uno de los primeros sabios griegos que buscó las causas fundamentales de los fenómenos naturales fue el filósofo Tales de Mileto, en el siglo VI a.C. Tales introdujo el concepto de que la Tierra era un disco plano que flotaba en el elemento universal, el agua. El matemático y filósofo Pitágoras, de época posterior, estableció una escuela de pensamiento en la que las matemáticas se convirtieron en una disciplina fundamental para toda la investigación científica. Los eruditos pitagóricos postulaban una Tierra esférica que se movía en una órbita circular alrededor de un fuego central. Habrá que destacar aquí la aparición de la tradición geocéntrica y geoestática por obra de Platón y Aristóteles y, sobre todo, de la astronomía y la física aristotélicas. En Atenas, en el siglo IV a.C., la filosofía natural jónica y la ciencia matemática pitagórica se asociaron para producir las síntesis de Platón y Aristóteles. En la Academia de Platón se subrayaba el razonamiento deductivo y la representación matemática; en el Liceo de Aristóteles primaban el razonamiento inductivo

y la descripción cualitativa. La interacción entre estos dos enfoques de la ciencia ha llevado a la mayoría de los avances posteriores.

Durante la llamada época helenística, que siguió a la muerte de Alejandro Magno, el matemático, astrónomo y geógrafo Eratóstenes realizó una medida asombrosamente precisa de las dimensiones de la Tierra. El astrónomo Aristarco de Samos propuso un sistema planetario heliocéntrico, aunque este concepto no halló aceptación en la época antigua. El matemático e inventor Arquímedes sentó las bases de la mecánica y la hidrostática (una rama de la mecánica de fluidos); el filósofo y científico Teofrasto fundó la botánica; el astrónomo Hiparco de Nicea desarrolló la trigonometría, y los anatomistas y médicos Herófilo y Erasístrato basaron la anatomía y la fisiología en la disección. Después de que los romanos destruyeran Cartago y Corinto en el año 146 a.C., la investigación científica perdió impulso hasta que se produjo una breve recuperación en el siglo II d.C. bajo el emperador y filósofo romano Marco Aurelio. En esa época el sistema de Ptolomeo —una teoría geocéntrica de los planetas propuesta por el astrónomo Claudio Ptolomeo— y las obras médicas del filósofo y médico Galeno se convirtieron en tratados científicos de referencia para la era posterior.

Por lo que hace a China, durante los quince primeros siglos de nuestra era, su civilización se mantuvo muy por delante de Europa en el terreno científico y tecnológico. Por otra parte, muchos descubrimientos e invenciones procedentes de Oriente tuvieron una importante repercusión en el mundo occidental, no sólo en el aspecto técnico, sino también en el ritmo de cambio de sus inestables estructuras sociales. La imprenta, la pólvora, la brújula magnética, la fundición del hierro, la mecánica de relojería, las esclusas de los canales, el timón de codaste o la cartografía cuantitativa son ejemplos significativos de esta influencia.

2) La ciencia medieval constituye el segundo período que examinaremos. Durante la Edad Media existían seis grupos culturales principales: el Occidente latino, el Oriente griego, China, India, el mundo árabe y el imperio maya. El grupo latino no contribuyó demasiado a la ciencia antes del siglo XIII; los griegos nunca pasaron de meras paráfrasis de la sabiduría antigua; los mayas, en cambio, descubrieron y emplearon el cero en sus cálculos astronómicos, antes que ningún otro pueblo. En China la ciencia vivió épocas de es-

plendor, pero no existió un impulso sostenido. Las matemáticas chinas alcanzaron su apogeo en el siglo XIII, con el desarrollo de métodos para resolver ecuaciones algebraicas mediante matrices y con el empleo del triángulo aritmético. Pero lo más importante fue el impacto que tuvieron en Europa varias innovaciones prácticas de origen chino, a las que ya nos hemos referido. Las principales contribuciones indias a la ciencia fueron la formulación de los numerales denominados indoarábigos, empleados actualmente, y la conversión de la trigonometría a una forma casi moderna. Estos avances se transmitieron, en primer lugar, a los árabes, que combinaron los mejores elementos de las fuentes babilónicas, griegas, chinas e indias. En el siglo IX Bagdad, situada a orillas del río Tigris, era un centro de traducción de obras científicas y, en el siglo XII, estos conocimientos se transmitieron a Europa a través de España, Sicilia y Bizancio. Entre los siglos XIII y XV se lograron algunos avances en el campo de la mecánica y de la óptica, mientras que algunos hombres como Roger Bacon insistieron en la importancia de la experiencia y de la observación personal. En el siglo XIII, la recuperación de obras científicas de la Antigüedad en las universidades europeas llevó a una controversia sobre el método científico. Los llamados *realistas* apoyaban el enfoque platónico, mientras que los *nominalistas* preferían la visión de Aristóteles. En las universidades de Oxford y París estas discusiones llevaron a descubrimientos de óptica y cinemática que prepararon el camino para Galileo y para el astrónomo alemán Johannes Kepler.

3) La ciencia en su período moderno será examinada a partir del capítulo sexto. El siglo XVI señaló la llegada de la denominada «revolución científica», un período de progreso científico que comenzó con Copérnico y culminó —no concluyó— con Newton. En 1543, el astrónomo polaco Nicolás Copérnico publicó *De revolutionibus orbium caelestium* (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes), que conmocionó la astronomía. Otra obra publicada ese mismo año, *De corporis humani fabrica* (Sobre la estructura del cuerpo humano), del anatomista belga Andrea Vesalio, corrigió y modernizó las enseñanzas anatómicas de Galeno y llevó al descubrimiento de la circulación de la sangre. Dos años después, el libro *Ars magna* (Gran arte), del matemático, físico y astrólogo italiano Gerolamo Cardano, inició el período moderno en el álgebra con la solución de ecuaciones de tercer y cuarto grado.

Los rasgos más definitorios de este período son la crisis y la crítica de las ideas aristotélicas, con el establecimiento del paradigma de la mecánica de Newton. La ciencia no sólo logró descubrimientos conceptuales, sino que consiguió también un enorme prestigio. Ella y todo lo que la rodeaba llegaron a estar muy de moda a finales del siglo XVII, y atrajeron una gran cantidad de patrocinios reales y gubernamentales. Dos hitos de esta nueva moda fueron la fundación de la Académie de Sciences por Luis XIV en Francia y de la Royal Society por Carlos II en Reino Unido. El engranaje entre la nueva astronomía y la nueva física durante el Renacimiento y el siglo XVII es lo que nos ocupará de modo prioritario. Después, el frente del cambio científico se desplazará a las ciencias que Kuhn llamaría *baconianas*. Esencialmente, los métodos y resultados científicos modernos aparecieron en el siglo XVII gracias al éxito de Galileo al combinar las funciones de erudito y artesano. A los métodos antiguos de inducción y deducción, Galileo añadió la verificación sistemática a través de experimentos planificados, en los que empleó instrumentos científicos de invención reciente como el telescopio, el microscopio o el termómetro. A finales del siglo XVII se amplió la experimentación: el matemático y físico Evangelista Torricelli empleó el barómetro; el matemático, físico y astrónomo holandés Christiaan Huygens usó el reloj de péndulo; el físico y químico británico Robert Boyle y el físico alemán Otto von Guericke utilizaron la bomba de vacío. La culminación de esos esfuerzos fue la ley de la gravitación universal, expuesta en 1687 por el matemático y físico británico Isaac Newton en su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la filosofía natural). Al mismo tiempo, la invención del cálculo infinitesimal por parte de Newton y del filósofo y matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz sentó las bases para alcanzar el nivel actual de ciencia y matemáticas.

Los avances científicos del siglo XVII prepararon el camino para el siguiente siglo. Los descubrimientos científicos de Newton y el sistema filosófico del matemático y filósofo francés René Descartes dieron paso a la ciencia mecanicista del siglo XVIII, que trataba de explicar los procesos vitales a partir de su base físico-química. La confianza en la actitud científica influyó también en las ciencias sociales e inspiró el Siglo de las Luces, que culminó en la Revolución Francesa de 1789. El químico francés Antoine Laurent

de Lavoisier publicó el *Tratado elemental de química* en 1789, e inició así la revolución de la química cuantitativa. Al siglo XVIII se le ha llamado a veces *siglo de la correlación* por las amplias generalizaciones que tuvieron lugar en la ciencia. Entre ellas figuran la teoría atómica de la materia, postulada por el químico y físico británico John Dalton, las teorías electromagnéticas de Michael Faraday y James Clerk Maxwell, también británicos, o la ley de la conservación de la energía, enunciada por el físico británico James Prescott Joule y otros científicos. Estudiaremos la química del siglo XVIII, en la que se producen interesantes cambios teóricos, hasta el punto de que se puede señalar este momento como el del nacimiento de la química moderna.

4) La ciencia contemporánea ocupará el último capítulo de nuestra obra. En el curso del siglo XIX, la ciencia se profesionalizó y se estructuró en carreras y jerarquías emergentes, centradas en universidades, departamentos de gobierno y organizaciones comerciales. La biología será nuestro centro de interés durante el siglo XIX y primeras décadas del XX. Nos remontaremos, para su exposición, a la propuesta, por parte de Lamarck, de la primera teoría de la evolución científicamente aceptable, y examinaremos el curso de estas hipótesis, hasta los comienzos de la teoría sintética de la evolución, que es el marco teórico más amplio de que dispone la biología actual. La teoría biológica de alcance más global fue, no obstante, la teoría darwinista, propuesta por Charles Darwin en su libro *The origin of species*, publicado en 1859, que provocó una polémica en la sociedad —no sólo en los ámbitos científicos— tan grande como la que originó la obra de Copérnico. Sin embargo, al comenzar el siglo XX, el concepto de evolución ya se aceptaba de forma generalizada, aunque su mecanismo genético siguió siendo discutido.

Mientras la biología adquiría una base más firme, la física se vio sacudida por las inesperadas consecuencias de la teoría cuántica y la de la relatividad. Nos referiremos a las modificaciones del paradigma de la mecánica clásica y del modelo clásico de ciencia, por obra de la teoría de la relatividad especial de Einstein, en cosmología, y por la nueva física cuántica, en lo relativo a la constitución de la materia. En 1927, el físico alemán Werner Heisenberg formuló el llamado *principio de incertidumbre*, que afirma que existen límites a la precisión con que pueden determinarse a escala

subatómica las coordenadas de un suceso dado. En otras palabras, el principio afirmaba la imposibilidad de predecir con precisión que una partícula, por ejemplo un electrón, estará en un lugar determinado en un momento determinado y con una velocidad determinada. La mecánica cuántica no opera con datos exactos, sino con deducciones estadísticas relativas a un gran número de sucesos individuales. A exponer éste y otros temas anejos consagraremos, pues, el último capítulo de nuestra obra.

La ciencia actual es inmensa y extremadamente compleja. Es virtualmente imposible llegar a tener una visión global consistente de todo lo que ocurre en ella. Por este motivo, algunos la ven con cierta suspicacia. Sin embargo, la civilización occidental considera, en términos generales, que el progreso científico es un valor positivo y una fuerza que contribuirá al bien de la humanidad, aunque no se ignora que los mayores peligros y horrores del mundo hunden sus raíces en la actividad científica, precisamente cuando se aparta de la orientación ética que debe presidirla. Con estas someras indicaciones, estamos en condiciones de seguir el curso de esta apasionante aventura. Dispongámonos, pues, a recorrer ya estos cinco mil años de historia de la ciencia.

1

La ciencia antigua: Mesopotamia y Egipto

Introducción

El objeto del presente capítulo es que el lector llegue a conocer los primeros desarrollos que, de un modo amplio, podemos denominar *ciencia*. Hemos creído conveniente tratar de modo conjunto las culturas mesopotámica y egipcia y separarlas de la griega. Las razones son de carácter cronológico, ya que hay un cierto paralelismo en los períodos que vamos a tratar para Mesopotamia y Egipto, mientras que las aportaciones de los griegos a que nos referiremos son, en general, posteriores. Por otra parte, la ciencia griega tiene un rasgo diferencial muy importante, y es que, en gran medida, es autoconsciente. Aunque disponemos de documentos mesopotámicos y egipcios que pueden contar como ciencia, no tenemos ninguno en que miembros de estas culturas reflexionen acerca de la actividad científica, de su naturaleza o resultados. Sin embargo, en Grecia sí floreció una importante literatura acerca de la ciencia. Este es un rasgo que, a nuestro juicio, marca una línea divisoria que debe tener su reflejo en toda historia de la ciencia antigua. Existen, claro está, otros rasgos diferenciales que aconsejan la división, como, por ejemplo, la diferencia en cuanto a la importancia y estilo de los desarrollos teóricos.

Dedicaremos, por tanto, un apartado a la ciencia en Mesopotamia (1.1.) y otro análogo a Egipto (1.2.). En cada uno de ellos se prestará atención a diversas áreas del saber, con especial atención a la astronomía en el caso de Mesopotamia y a la medicina en el de

Egipto. Hemos creído conveniente añadir, en cada apartado, algunos párrafos sobre aspectos sociales de la ciencia antigua, por ejemplo, acerca del tipo de profesionales que la llevaron a cabo. Este enfoque sociológico aporta interesante información sobre cuestiones más filosóficas, como tendremos ocasión de ver. Además, incluimos un apartado específico (1.3.) dedicado a dos inventos importantísimos para el desarrollo posterior de la ciencia, el uno institucional, la escuela, y el otro técnico, la escritura. La invención de la escritura y su intensa vinculación con la institución escolar se producen durante el largo período de tiempo que vamos a historiar en este tema.

Expondremos muy brevemente los acontecimientos históricos y rasgos geográficos que tuvieron incidencia más directa sobre el desarrollo del saber en Mesopotamia. En este apartado conoceremos, además, las características generales de la ciencia en Mesopotamia. Nos centraremos en el período que va aproximadamente desde el reinado de Hammurabi en Babilonia hasta el imperio neobabilónico. Se tratarán aspectos históricos y sociales, como las aportaciones de los distintos pueblos de la zona o las funciones de los diferentes profesionales (escribas, médicos, exorcistas, adivinos, observadores de pájaros).

Los griegos llamaron «Mesopotamia» (*mesos*: «medio», *pótamos*: «río» = país entre ríos) a la región de Asia formada por los aluviones del Tigris y del Éufrates, dos grandes ríos que descienden de las mesetas armenias y se unen durante los últimos 200 kilómetros, antes de desembocar en el Golfo Pérsico. Actualmente, los historiadores entienden por *Mesopotamia* una extensa área de civilización situada entre el Mediterráneo y el Golfo Pérsico, limitada al norte por las montañas de Armenia y las mesetas iranias, y al sur por el desierto de Arabia. Este país surge en la prehistoria antes que Egipto: hacia el IV milenio antes del presente. Mesopotamia se convirtió en uno de los primeros centros de civilización urbana. Su riqueza natural siempre atrajo a pueblos procedentes de las regiones vecinas más pobres, y su historia es la de continuas migraciones e invasiones. La lluvia es escasa en la mayor parte de la región, pero cuando el fértil suelo se riega a través de canales produce abundantes cultivos.

La necesidad de autodefensa y riego llevó a los antiguos mesopotámicos a organizar y construir canales y asentamientos fortificados. Desde el 6000 a.C. los asentamientos aumentaron, convirtién-

dose en ciudades en el IV milenio a.C. El primer destello de civilización brilló en los fértiles valles del Tigris y del Éufrates, en los primeros siglos del cuarto milenio antes del presente. La historia mesopotámica empieza con la llegada de los sumerios, unos 3500 años a.C. Estos hombres han sido llamados *sumerios* por el nombre de la región donde se asentaron: Sumer. Las feraces llanuras del sur producían alimentos en abundancia; no escaseaban el trigo, la cebada, la carne, el pescado ni las aves silvestres. En tales condiciones, y con las luces de su creciente habilidad como agricultores, los hombres ya no se veían obligados a abandonar su tierra exhausta. Al multiplicarse la gente con rapidez, las aldeas se convirtieron en pequeñas ciudades; y las pequeñas ciudades, en grandes urbes. Hacia el 4000 antes del presente, una ciudad como Eridú debió de contar con varios millares de habitantes. Eridú fue probablemente el primer asentamiento de la región, aunque el ejemplo más destacado es Uruk (la Erech bíblica) al sur, donde los templos de adobe se decoraron con fina metalurgia y piedras labradas.

Los agricultores mesopotámicos debieron construir un sistema complejo de canales, diques y pantanos para controlar las inundaciones anuales. Eso exigía una gran organización y trabajo en equipo. Variaciones en la fertilidad del suelo condujeron a diferencias de riqueza individual, a consecuencia de lo cual se produjo la primera emergencia de clases sociales. Los excedentes alimentarios permitieron que cierta gente dejara la agricultura y se hicieran artesanos, obreros, mercaderes y administradores. Esos desarrollos y divergencias de intereses crearon la necesidad de la toma centralizada de decisiones: los inicios de la civilización urbana. Los sumerios perfeccionaron la civilización agrícola indígena, desarrollaron el arte del regadío e introdujeron el trabajo del cobre. Hacia 3500 a.C. inventaron la escritura (primeramente para hacer los inventarios de sus riquezas). El desarrollo de una administración también estimuló la invención de una forma de escritura, la cuneiforme. Los sumerios probablemente fueron responsables de esta primera cultura urbana que se extendió hacia el norte del Éufrates. Otros asentamientos importantes de Sumer fueron Adab, Isin, Kis, Larsa, Nippur y Ur.

Los artesanos empezaron a ser trabajadores especializados; algunos comerciantes se dedicaron a traer del extranjero las nuevas materias primas, y surgieron funcionarios que tenían por cometido regular la organización del trabajo y supervisar la distribución de

los alimentos. Los templos se convirtieron en instituciones que combinaban el cabildo catedralicio con el servicio civil; la escuela, con el tribunal de justicia, y dentro de ellos no sólo se elaboraba su relación con respecto al Universo y a los dioses, sino que también se resolvían los problemas concernientes a la administración de las comunidades humanas. Como resultado material de este proceso intelectual y espiritual, se elevaron grandes monumentos arquitectónicos, y la artesanía produjo algunas obras de verdadero arte.

Hacia el 2330 a.C. la región fue conquistada por los acadios, pueblo semítico del centro de Mesopotamia. Su rey, Sargón I el Grande (que reinó hacia el 2335-2279 a.C.), fundó la dinastía de Acad, y en su época la lengua acadia comenzó a sustituir al sumerio. Los gutis, tribu de las colinas del este, acabaron con el dominio acadio hacia el 2218 a.C., y, después de un intervalo, la III Dinastía de Ur llegó a dominar gran parte de Mesopotamia. En Ur, hubo un florecimiento final de las tradiciones sumerias. Los invasores precedentes del reino norteño de Elam destruyeron la ciudad de Ur hacia el 2000 a.C. Bajo su dominio ninguna ciudad consiguió el control total hasta mediados del siglo XVIII a.C., cuando Hammurabi de Babilonia unificó el país durante algunos años al final de su reinado. Al mismo tiempo, una familia amorita obtuvo el control de Assur en el norte; sin embargo, tanto Babilonia como Assur pronto cayeron a manos de los recién llegados. Hacia el 1595 a.C. los hititas tomaron Babilonia que, poco después, cayó bajo el control de los casitas. Durante los 400 años siguientes, Babilonia se desarrolló notablemente; sus reyes adquirieron un poder similar al de los faraones de Egipto y su población estableció amplias relaciones comerciales. Assur cayó en manos del reino de Mitanni, fortalecido por los hurritas procedentes del Cáucaso, quienes probablemente estaban relacionados con el pueblo de Urartu. Los hurritas habían estado en Mesopotamia durante siglos, pero después del 1700 a.C. se extendieron por todo el norte y también por Anatolia.

Hacia el 1350 a.C., el reino de Asiria, al norte de Mesopotamia, comenzó a destacar. El ejército asirio derrotó a Mitanni, conquistando en poco tiempo Babilonia hacia el 1225 a.C., y llegando al Mediterráneo hacia el 1100 a.C. Durante los dos siglos siguientes, esta expansión fue detenida por las tribus arameas procedentes de la estepa siria y, con la ayuda de tribus caldeas, invadieron Babilonia.

Asiria combatió a éstas y a otras tribus, expandiéndose de nuevo después del 910 a.C. Durante su mayor extensión (c. 730-650 a.C.) el imperio asirio controló Oriente Próximo desde Egipto hasta el Golfo Pérsico. Las regiones conquistadas quedaron bajo el mando de reyes vasallos o, si existían problemas, eran anexionadas. Siguiendo una antigua práctica, los individuos rebeldes eran deportados, lo que propició una mezcla de razas en todo el imperio. Las frecuentes revueltas precisaban una fuerte potencia militar, pero no se pudo mantener el control en un dominio tan amplio durante mucho tiempo. Las presiones internas y los ataques de los pueblos de Media y los caldeos de Babilonia provocaron el colapso en el 612 a.C. Los medos tomaron la parte elevada del país, dejando Mesopotamia a los caldeos bajo el gobierno de Nabucodonosor II. Los caldeos rigieron Mesopotamia hasta el 539 a.C., cuando Ciro el Grande de Persia, quien había conquistado Media, capturó Babilonia.

En Mesopotamia, como en todos los pueblos de la Antigüedad, se acostumbraba a anotar los años con referencias al reinado en curso o a ciertos acontecimientos importantes. Esta indicación figura en numerosos documentos, que permiten, comparándolos con otros, establecer una cronología relativa. Se poseen, en efecto, listas de reyes que señalan el orden de sucesión y la duración del reinado. Procediendo a una serie de reajustes, como en el caso de Egipto, se puede establecer un cuadro cronológico general que clasifique los reyes por dinastías. La comparación con las fechas de los fenómenos astronómicos citados en las tablillas permite concordar esta cronología con la nuestra, aunque no sin algunas dificultades: Así, por ejemplo, el reinado de Hammurabi, el rey más grande de Babilonia, era antes situado de 2123 a 2081 a.C. Después, se dieron las fechas siguientes: 1848-1806 a.C., 1792-1750 a.C., 1728-1686 a.C., 1704-1662 a.C., según los autores. Los reyes han sido agrupados por dinastías, vinculadas generalmente a una ciudad que era su capital. La más antigua, históricamente, es la primera dinastía de Kish, que se remonta a los alrededores del año 3000 a.C. Es contemporánea de las primeras dinastías tinitas de Egipto.

Los eventos científicos más reseñables de este largo período son los siguientes:

-3000. Datación del uso de vehículos con ruedas en Sumer y en el valle del Indo.

-3000. Nace, en Mesopotamia, la astrología.

c.-2900. El álgebra y la ciencia reciben un gran impulso en Sumer.

c.-2800. Datación de las tablillas encontradas en el solar de Nínive (Asiria) que ofrecen fragmentos de un tratado de astrología.

-2800. Datación del tratado de astrología del palacio de Acad del rey Sargón el Grande, que contiene una lista de acontecimientos diarios anunciados por los eclipses de sol.

-2800. El cirujano dentista de Menfis, Hesy-Ra, desarrolla una importante actividad. Es considerado el más antiguo médico conocido en la historia.

c.-2800. Los egipcios comienzan a preparar tintas rojas de óxido de hierro, al parecer utilizadas para teñir la ropa.

-2600. Datación de la existencia probada de la balanza de dos brazos iguales en Egipto.

c.-1900. Datación del papiro egipcio denominado *Papiro nº IV de Ramesseum*, con algunas informaciones médicas.

-1850. Datación del papiro de Kahoun, el más antiguo de contenido médico que se conoce.

-1800. Datación del papiro egipcio llamado *papiro de Kuhn*, en el que aparecen importantes nociones de geometría.

c.-1790. La teoría matemática de Babilonia alcanza en esta época un alto nivel, con un sistema numeral basado en el sistema sexagesimal.

-1750. Datación del papiro egipcio denominado *Papiro Smith*, de contenido médico.

c.-1700. Datación de los más antiguos instrumentos de astronomía.

-1650. Datación del *Papiro de Rhind*, en el que aparecen nociones de aritmética y geometría egipcias.

-1600. Datación de vestigios egipcios sobre el uso de la clepsidra o reloj de agua.

-1550. Datación del papiro egipcio denominado *Papiro Hearst*, de contenido médico.

-1500. Aparece en el nuevo imperio egipcio el telar vertical, que será utilizado junto al ya conocido telar horizontal.

-1475. Aparece representado el fuelle de pellejo de animales, en una pintura de la tumba de Rejmata, en Tebas.

-1450. Aparece, en Egipto, el primer reloj de sombra conocido.

-1350. Datación de las últimas tablillas matemáticas descubiertas en Nippur (Mesopotamia).

-1350. Datación del *Papiro de Londres*, que contiene numerosas recetas médicas y mágicas.

-1300. Datación del papiro egipcio denominado *Papiro de Berlín* y del *Chester Beatty nº VI*, ambos de contenido médico.

c.-1250. Desarrollo de la agricultura sumeria, debido al perfeccionamiento técnico del arado.

c.-1200. Datación de inscripciones médicas, halladas en China, sobre hueso o caparazones de tortuga.

-1200. Datación del denominado *Papiro Carlsberg nº VIII*, de origen egipcio, que trata principalmente de las enfermedades de los ojos.

-763. Se produce un eclipse solar, en Nínive (Asiria), predicho por el profeta de Judá Amós, que será utilizado para fijar la cronología de Babilonia y Egipto.

-747. Adopción del ciclo de diecinueve años en el calendario babilónico.

c.-730. Comienzos de la difusión de la escritura demótica en Egipto.

c.-720. Datación de la colección astrológica de tablillas llamada *Luz de Belo*, descubierta en Nínive (Asiria).

c.-688. Hacia esta fecha, aparece la primera representación de la polea, en un bajorrelieve del palacio del rey asirio Assurbanipal.

-663. Se produce, en Egipto, un retorno a las prácticas arcaicas y mágicas para la curación de enfermedades.

c.-650. Por esta época, los etruscos —los mejores dentistas de la Antigüedad— ya confeccionan prótesis dentales

con puentes de oro, según los vestigios hallados en sus tumbas.

c.-605. Se inicia, en Egipto, un canal destinado a comunicar el Nilo con el Mar Rojo.

-533. Los astrónomos de Babilonia descubren la relación simple de 361 meses siderales para 334 lunaciones sinódicas, período llamado de Kaksidi.

1.1. La ciencia en Mesopotamia: características generales[1]

La ciencia mesopotámica está sensiblemente connotada por sus aspectos metodológicos, como la tendencia a la clasificación, a la precisión, a la representación y a la universalización en los datos, las diferencias formales entre la literatura científica, escrita en forma de listados, y no científica, como poemas o cartas, el método de interpolación y su analogía funcional con la generalización introducida por los griegos, la redacción de listados lexicográficos multilingües y la preservación del sumerio como lengua de cultura. Con todo, estas características son propias de cualquier investigación razonable de la realidad, por más que en los períodos a que nos referimos sean quizá sólo incipientes.

Los esfuerzos para sistematizar el conocimiento se remontan a los tiempos prehistóricos, como atestiguan los dibujos que los pueblos del Paleolítico pintaban en las paredes de las cuevas, los datos numéricos grabados en hueso o piedra o los objetos fabricados por las civilizaciones del neolítico. Los testimonios escritos más anti-

1. La historia de la ciencia en Mesopotamia y Egipto se puede seguir en Taton, R. (ed.): *Historia general de las ciencias*, vol. I., Destino, Barcelona, 1971-74, donde la información es completa y minuciosa. Es uno de los textos en que aparecen con más claridad los sistemas de numeración. Otras obras de consulta que han sido utilizadas para la elaboración del tema y a las que remitimos al lector, son Gomis, A.: *Las civilizaciones fluviales. Egipto y Mesopotamia*, en Puerto (ed.), 1991- , vol. 2, Akal, Madrid, 1992, y Mason, S.: *Historia de las ciencias*, 5 vols., Alianza, Madrid, 1984-86. Aspectos importantes de la ciencia en estas dos culturas están muy bien tratados por Ritter en Serres, M. (ed.): *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid, 1991 (capítulos 1 y 2); ed. or.: Bordas, Paris, 1989, cuya lectura nos parece imprescindible para la comprensión del tema.

guos de investigaciones científicas proceden de las culturas mesopotámicas, y corresponden a listas de observaciones astronómicas, sustancias químicas o síntomas de enfermedades —además de numerosas tablas matemáticas— inscritas en caracteres cuneiformes sobre tablillas de arcilla.

Creada sin duda por los sumerios, y transmitida a los semitas, que la desarrollaron, la ciencia mesopotámica es particularmente notable, no sólo por su contenido, sino también por su actitud. Hasta principios del siglo XX se atribuía al genio griego la elaboración del espíritu científico y del pensamiento racional. El Ática, según frase de Sartre en *Las moscas*, era el país donde la razón tenía razón; antes de los griegos se señalaban ya algunos rudimentos de conocimientos científicos, de tipo práctico, en Egipto, pero nada que pueda compararse con los *Elementos* de Euclides, con el *Almagesto* de Ptolomeo o con la *Aritmética* de Diofanto. En realidad, parece cada vez más cierto que el pensamiento griego, especialmente el pensamiento científico, no deja de estar relacionado con la ciencia mesopotámica. Los intermediarios pudieron haber sido, sucesivamente, los hititas, los fenicios y los lidios.

1.1.1. *Las matemáticas*

Las primeras referencias a matemáticas avanzadas y organizadas datan del tercer milenio a.C., en Babilonia y Egipto. Estas matemáticas estaban dominadas por la aritmética, con cierto interés por medidas y cálculos geométricos, y sin mención de conceptos matemáticos como los axiomas o las demostraciones. En realidad, las matemáticas son tan antiguas como la propia humanidad: en los diseños prehistóricos de cerámica, tejidos y en las pinturas rupestres se pueden encontrar evidencias del sentido geométrico y del interés en figuras geométricas. Los sistemas de cálculo primitivos estaban basados, seguramente, en el uso de los dedos de una o dos manos, lo que resulta evidente por la gran abundancia de sistemas numéricos en los que las bases son los números 5 y 10.

Destacaremos el sistema de numeración y el de medidas, la existencia de tablas aritméticas y de series de problemas, así como la necesidad de tradición oral como complemento de la escrita.

Esta tradición oral probablemente contenía la mayor parte de los elementos teóricos que están ausentes de los listados y problemas, pero que son exigidos por éstos. El sistema de numeración es a un tiempo posicional y yuxtaposicional, combina dos bases e introduce por primera vez un número funcionalmente parecido a nuestro cero, dando pie a la explicación de las nociones de posicionalidad, base, y función e importancia del cero. Sirve también para ponderar la importancia de la notación en el cálculo y la dependencia de unas ramas del saber respecto de otras. En este caso, se aprecian con claridad las relaciones entre el sistema de notación y el desarrollo de la astronomía.

El sistema babilónico de numeración era bastante diferente del egipcio. Aquel sistema numérico, único en su especie en toda la Antigüedad, se llama «sexagesimal» porque su base es el sesenta (el nuestro es decimal porque su base es el diez), y se compone de dos signos: 1 y 10. Se utilizaban tablillas con varias muescas o marcas en forma de cuña (cuneiforme); una cuña sencilla representaba al 1 y una marca en forma de flecha representaba al 10. Los números menores de 59 estaban formados por estos símbolos utilizando un proceso aditivo, como en las matemáticas egipcias. El número 60, sin embargo, se representaba con el mismo símbolo que el 1, y a partir de ahí, el valor de un símbolo venía dado por su posición en el número completo. De este sistema *sexagesimal*, tan útil como el sistema decimal, se derivan las unidades modernas para tiempos y ángulos.

El sistema métrico es realmente tal, es decir, las distintas magnitudes están interrelacionadas, forman un sistema, cosa que no sucede en otras metrologías antiguas y —este hecho también merece ser destacado— incluye magnitudes que no pudieron tener sino un uso teórico. Se ha de destacar también el incipiente concepto de función que esconden algunas tablillas astronómicas. Con el tiempo, los babilonios desarrollaron unas matemáticas más sofisticadas que les permitieron encontrar las raíces positivas de cualquier ecuación de segundo grado. Fueron incluso capaces de encontrar las raíces de algunas ecuaciones de tercer grado. Algunas tablillas que datan aproximadamente del 2000 a.C. demuestran que los babilonios conocían el teorema de Pitágoras. Los babilonios compilaron una gran cantidad de tablas, incluyendo tablas de multiplicar y de

dividir, tablas de cuadrados y tablas de interés compuesto. Además, calcularon no sólo la suma de progresiones aritméticas y de algunas geométricas, sino también de sucesiones de cuadrados. También obtuvieron una buena aproximación de $\sqrt{2}$.

Poseemos millares de tablillas matemáticas cuneiformes, en sumerio o en asirio-babilonio. Se distribuyen del siguiente modo:

a) Gran número de tablas numéricas (tablas de multiplicación, de división, de logaritmos, de cuadrados y raíces cuadradas, de cubos y raíces cúbicas, etc.). Estas tablas eran un instrumento de cálculo indispensable: el sistema de numeración —por perfeccionado que sea— siempre resulta molesto de manejar. Lo que más llama la atención, cuando examinamos las tablillas, es su orden metódico constante, señal de un pensamiento científico bien estructurado.

b) Textos que proponen problemas, enunciándolos de la manera siguiente: He sumado 8 veces el lado de mi campo (cuadrado) y 3 veces su superficie, y me ha dado 80. ¿Cuál es el lado de mi campo? El lado de mi campo es igual a 4. Para justificar este resultado se propone después una serie de cálculos que corresponden a las etapas de la resolución de la ecuación de segundo grado, según el método que estudian aún nuestros bachilleres (sea x el lado del campo; 8 veces el lado = 8 x; 3 veces la superficie = 3 x 2, de ahí la ecuación 3 x 2 + 8x = 80; la fórmula empleada por los escribas es la de Diofanto. Todos estos problemas (hay centenares de ellos) están construidos sobre el mismo esquema y conducen a ecuaciones de primero y segundo grado, a sistemas de varias incógnitas, etc.

No se trata de textos concretos, que correspondan a preocupaciones prácticas (agrimensura, particiones, etc.), sino de verdaderos ejercicios en los que el mismo método es aplicado a diversos casos que sólo difieren en los datos numéricos. Los babilonios, conscientes de la generalidad de su método, fueron los inventores del álgebra, que llevaron hasta un grado de perfeccionamiento técnico ignorado por la Grecia clásica.

c) Los textos geométricos dan testimonio de un conocimiento de las reglas de cálculo relativas a las superficies y a los volúmenes, del valor aproximado del número (generalmente considerado igual a 3), de las propiedades fundamentales de las líneas propor-

cionales y del teorema de Pitágoras (los tres lados a, b, c de un triángulo rectángulo corresponden a la relación: $a^2 = b^2 + c^2$).

1.1.2. *La astronomía*

Dedicaremos especial atención a la astronomía mesopotámica, por sus elementos primitivos de teorización y larga tradición observacional. Enunciaremos sus características generales, la relación entre los aspectos e intereses puramente observacionales y los mánticos o religiosos, las fuentes (directas e indirectas) de información que poseemos y la cronología de las mismas, así como el distanciamiento entre astronomía y cosmología. Es interesante apreciar el papel de la serie de tablillas llamada Mul Apin como elemento de compresión de la información disponible hacia el 700 a.C. También conviene destacar el carácter tardío de la astrología de los horóscopos, en contra de lo que suele creerse.

Sobre los instrumentos y técnicas observacionales, destaca el hecho de que muchas de las anotaciones de que disponemos no pudieron ser observadas, sino calculadas mediante series numéricas, progresiones aritméticas o geométricas que sirvieron como primitivos recursos para la compresión de la información empírica. Esta característica de la astronomía mesopotámica nos puede hacer ver una de las funciones de los recursos teóricos en ciencia, a saber, la compresión de la información o, si se quiere en términos más clásicos, la economía mental. Un precioso ejemplo de lo dicho se halla en la serie numérica mediante la que se describe la evolución de la cara de la luna durante media lunación.

En cuanto al contenido de la astronomía mesopotámica, sobresale la sistemática observación de los planetas (incluidos el Sol y la Luna). La anotación de las observaciones astronómicas durante años y siglos fue una condición imprescindible para el descubrimiento de regularidades, a veces muchos siglos después de que la observación empezase (por ejemplo, el descubrimiento de la precesión de los equinoccios por parte de Hiparco). Pero lo más sorprendente es el caso de Venus, del cual existe un registro continuado durante veintiún años. Sabían los mesopotámicos de la identidad entre la estrella matutina y vespertina. Las retrogradaciones y variación en el brillo plantearán problemas teóricos con los que se ha

de enfrentar la astronomía posterior y que darán lugar a importantes cuestiones metodológicas.

La astronomía mesopotámica nació de las supersticiones astrológicas. Persuadidos de la existencia de una relación entre la posición de los astros en el firmamento y el destino de los hombres, los mesopotámicos observaron detenidamente la bóveda celeste. Anotaron día tras día la posición de las estrellas y de los planetas, intentaron establecer una ley aproximada del movimiento de la Luna, confeccionaron tablas de eclipses, etc. Fueron maestros en el arte de estudiar los astros (hasta tal punto de que en Roma, al referirse a un astrólogo, decían «un caldeo») y dejaron millares de observaciones, que Ptolomeo utilizó más tarde, cuando elaboró su teoría del sistema solar.

Entre los avances astronómicos de esta cultura, hay que situar, por tanto, el conocimiento mesopotámico de las estrellas, la existencia de listados de estrellas, así como la partición del cielo en tres zonas o caminos y en bandas de treinta grados, base para la división del año en cuatro estaciones y cada una de éstas en tres meses. La diferencia entre eclipses lunares y solares (que no era desconocida y nos servirá para abordar posteriormente el caso de la predicción atribuida a Tales) puede expresarse en breves palabras: El eclipse lunar es el que ocurre por interposición de la Tierra entre la Luna y el Sol. En cambio, el solar es el que se produce por interposición de la Luna entre el Sol y la Tierra. En Mesopotamia, la observación y predicción de eclipses estaba basada en las tablas de efemérides. La variación de la posición relativa Luna-Sol origina la diferencia entre los tres períodos que podemos llamar «mes» (nodal o lunar periódico, sinódico y solar[2]), y la inclinación de la órbita lunar respecto al plano de la eclíptica[3].

2. El mes lunar periódico es el tiempo que invierte la Luna en dar una vuelta completa alrededor de la Tierra. El mes lunar sinódico, el tiempo que gasta la Luna desde una conjunción con el Sol hasta la conjunción siguiente. Este es el que absolutamente se llama mes lunar o lunación, por ser manifiesto y algo mayor que el mes periódico. El mes solar astronómico, en cambio, es el tiempo que tarda el Sol en recorrer con su movimiento propio aparente un signo del zodíaco.

3. Círculo máximo de la esfera celeste, que en la actualidad corta al Ecuador en ángulo de 23 grados y 27 minutos, y señala el curso aparente del Sol durante el año.

Diversos pueblos antiguos como los egipcios, mayas y chinos desarrollaron interesantes mapas de las constelaciones y calendarios de gran utilidad, pero tal vez fueron los babilonios los que realizaron cosas más importantes. Para perfeccionar su calendario estudiaron los movimientos del Sol y de la Luna. Solían designar como comienzo de cada mes el día siguiente a la luna nueva, cuando aparece el primer cuarto lunar después del ocaso. Al principio, este día se determinaba mediante la observación, pero después los babilonios quisieron calcularlo por anticipado. Hacia 400 a.C. comprobaron que los movimientos aparentes del Sol y la Luna de oeste a este alrededor del zodíaco no tienen una velocidad constante. Parece que estos cuerpos se mueven con velocidad creciente durante la primera mitad de cada revolución hasta un máximo absoluto y entonces su velocidad disminuye hasta el mínimo originario.

Los babilonios intentaron representar este ciclo aritméticamente dando, por ejemplo, a la Luna, una velocidad fija para su movimiento durante la mitad de su ciclo y una velocidad fija diferente para la otra mitad. Perfeccionaron, además, el método matemático representando la velocidad de la Luna como un factor que aumenta linealmente del mínimo al máximo durante la mitad de su revolución y entonces desciende al mínimo al final del ciclo. Con estos cálculos, los astrónomos babilonios podían predecir la luna nueva y el día que comenzaría el nuevo mes. Como consecuencia, conocían las posiciones de la Luna y del Sol todos los días del mes. De forma parecida calculaban las posiciones planetarias, tanto en su movimiento hacia el este como en su movimiento retrógrado. Los arqueólogos han desenterrado tablillas cuneiformes que muestran estos cálculos. Algunas de estas tablillas, que tienen su origen en las ciudades de Babilonia y Uruk, a las orillas del río Éufrates, llevan el nombre de Naburiannu (hacia 491 a.C.) o Kidinnu (hacia 379 a.C.), astrólogos que debieron ser los inventores de los sistemas de cálculo.

Por último, cabe aludir a los problemas del calendario mesopotámico, que fueron, en gran parte, el motor de su astronomía. Una de las unidades básicas del calendario fue, como hemos dicho, la lunación o mes sinódico. El primer problema que se presenta es la predicción de la duración de cada mes, que es variable. Los mesopotámicos utilizaron un calendario lunar que transmitieron a todos

los pueblos del Asia occidental antigua (es aún el calendario religioso de los judíos). El mes empezaba el primer día de la luna nueva. Pero la aparición del primer creciente en el cielo no es un fenómeno rigurosamente periódico: por eso, el mes asirio-babilónico tenía 29, 30 ó 31 días, según los casos.

El segundo problema consiste en ajustar el calendario lunar con el solar, es decir, doce meses lunares de aproximadamente treinta días no cubren con exactitud un año solar de aproximadamente 365 días y cuarto. El año ordinario tenía 12 meses (es decir, alrededor de 360 días), y cada cinco o seis años se añadía un decimotercer mes para restablecer la concordancia con el movimiento del Sol y las estaciones. En Mul Apin aparece por primera vez una regla para añadir un mes al año.

Se puede hacer ver en este punto los elementos de la astronomía mesopotámica aún vivos en nuestra cultura, que son muchos, por ejemplo, por lo que hace a la construcción del tiempo social a partir de las regularidades de nuestro entorno. Nuestros segundos, minutos, horas, días (incluso su sistema de nomenclatura), semanas, meses, estaciones y años, son herencia mesopotámica. Y el sistema mismo de numeración para tiempo y ángulos también se conserva vivo.

1.1.3. *La medicina*

Debido al sistema teocrático predominante en Asiria y Babilonia, la medicina no se pudo sustraer de la influencia de la demonología y de las prácticas mágicas en estos países. La frontera entre la medicina y la magia es difícil de trazar; la enfermedad es señal de la presencia de un demonio en el cuerpo del enfermo, y el médico es asistido en muchos casos por un conjurador. Algunos restos de tablas cuneiformes muestran una extensa serie de casos clínicos bien clasificados. Se han descubierto algunos modelos de hígado, que se consideraba el asiento del alma, muy bien reproducidos en terracota, lo cual indica la importancia que se otorgó al estudio del órgano intentando descifrar las intenciones de los dioses. Los sueños se estudiaban con la misma intención. En Mesopotamia se emplearon numerosos remedios médicos, con más de 500 fármacos,

algunos de ellos de origen mineral. Los hechizos realizados por los sacerdotes eran una forma eficaz de psicoterapia.

En la antigua Babilonia, el código de Hammurabi, el primer código legal del mundo, contenía leyes que regulaban una profesión médica extensa y bien organizada. Mesopotamia llevó muy lejos el arte del diagnóstico, y las numerosas recopilaciones de textos médicos nos proporcionan descripciones clínicas de gran valor. Sin embargo, el estudio de los síntomas, el pronóstico de evolución de la enfermedad, la terapéutica (basada en ingredientes minerales, vegetales o animales), seguían siendo muy particulares. El médico babilonio no es un biólogo, sino un observador minucioso que busca un método eficaz de curación y no una teoría de los fenómenos de la vida.

1.2. La ciencia en Egipto: características generales

En este apartado se ofrecerá como instrumento de trabajo una cronología de la historia de Egipto, así como información acerca del medio geográfico en la medida en que incida sobre el desarrollo de la ciencia. Se mencionarán las fuentes de que disponemos acerca de la ciencia egipcia y su cronología, tanto las escasas fuentes directas que se nos han conservado como el conocimiento indirecto que nos llega básicamente a través de griegos y romanos.

Egipto es una estrecha faja de tierra cuya anchura, de varias decenas de kilómetros, se extiende desde el Mediterráneo hasta las cataratas del Nilo, y cuya longitud alcanza casi los 2.000 kilómetros. A uno y otro lado de este valle solamente hay desiertos. El delta del Nilo, en forma de abanico, constituye el Bajo Egipto. Al sur de Menfis, ciudad situada en el vértice del delta, se encuentra el Alto Egipto, cuya zona de cultivo pocas veces alcanza los 10 km. En este país, aislado del resto del mundo por el Mediterráneo y por los desiertos, se desarrolló durante 3.000 años una brillante civilización cuyo estudio es el objeto de la egiptología. Hace seis mil años la semilla de la civilización egipcia fue sembrada en el Valle del Nilo. Fue aquí, en esta franja estrecha de tierra fértil, regada por las inundaciones anuales, donde el hombre y los animales se concentraron. Fue aquí donde los cazadores errantes se establecieron

por vez primera, labrando el suelo, domesticando los animales, regulando el cauce del río, construyendo chozas, formando comunidades. Fue aquí, a ambas orillas del río, donde se han encontrado los vestigios más antiguos de vida.

El Nilo significaba la vida para esos pueblos: un Nilo bienhechor, que anualmente desbordaba sus riberas y dejaba tras sí, al retirarse, una tierra refrescada y fértil. Los primeros hombres que se establecieron en el país apenas tenían necesidad de labrar el suelo, y confiaban más en los cereales que en los productos de la caza para su sustento. Les quedaba tiempo libre, que podían dedicar a otras actividades, tales como la cría de animales domésticos; al aumentar su número, viéronse obligados a regular las inundaciones anuales mediante obras de riego, y el mejor modo de realizar esto fue por medio de un esfuerzo colectivo, que dio como resultado la aparición de organizaciones políticas locales destinadas a regir tales empresas. Pero se encontraban con los grandes obstáculos de los desiertos y del mar, y, aunque la gran civilización de Uruk, a 1.500 km. de distancia, se hallaba muy adelantada por aquel entonces, no fue sino hacia el fin de la edad prehistórica cuando las nuevas ideas y técnicas comenzaron a llegar desde el extranjero a las orillas del Nilo.

Es costumbre dividir la historia del Egipto antiguo en treinta dinastías de faraones, cuyo comienzo se sitúa hacia el 3100 a.C. Las treinta dinastías se agrupan en ocho períodos de diversa duración:

1.º Período dinástico arcaico. Datado entre 3100 y 2725 a.C., abarca las tres primeras dinastías. Durante este tiempo, se consiguió la unificación del Alto y Bajo Egipto, a cargo del rey Menes, y se fundó una nueva capital, Menfis, en la confluencia del Alto y del Bajo Egipto. Hubo un desarrollo impresionante de la escritura, seguramente para satisfacer las necesidades de un gobierno burocrático centralizado. Las costumbres funerarias se hicieron más complejas y se construyó la primera pirámide escalonada en Sakkara.

2.º Imperio antiguo. Se extiende entre 2755 y 2134 a.C., englobando las dinastías IV-VIII. La capital estaba en el norte, en Menfis, y los monarcas mantuvieron un poder absoluto sobre un gobierno sólidamente unificado. La religión desempeñó un papel importante, como queda registrado en la mitología egipcia; de he-

cho, el gobierno había evolucionado hacia un sistema teocrático, en donde el faraón era considerado un dios en la tierra, por lo que gozaba de un poder absoluto. Denominado la «gran era de las pirámides», se trata de un período caracterizado por la férrea administración centralizada y la construcción de las grandes pirámides de Gizeh, monumento faraónico funerario. El tamaño monumental de aquéllas muestra claramente que el faraón era la figura dominante del Estado, y es prueba también del alto grado de organización estatal alcanzado por los egipcios.

3.º Primer período intermedio. Fechado entre 2134 y 2040 a.C., contiene las dinastías IX-XI. Los acontecimientos políticos fundamentales son la división de Egipto, la fragmentación política y el control de los distritos (nomos) por monarcas locales, llamados *nomarcas*.

4.º Imperio medio. Datado entre 2040 y 1640 a.C., comprende las dinastías XI-XIII. El faraón Metuhotep II, de la XI dinastía, consiguió poner todo el país bajo su control. Durante el reinado de los soberanos de la XII dinastía, Egipto volvió a ser un estado muy centralizado, y se fundó una nueva capital, Ity-towy, al sur de Menfis.

5.º Segundo período intermedio. Se prolonga entre 1640 y 1552 a.C., abarcando las dinastías XIV-XVII. Los acontecimientos históricos más relevantes son el gobierno de los hicsos, gobernantes extranjeros —asiáticos— que serán recordados como odiosos usurpadores y expulsados finalmente por una nueva dinastía tebana.

6.º Imperio nuevo. Se extiende entre 1552 y 1070, y engloba las dinastías XVIII-XX. Es una fase de expansión imperialista. Los faraones de estas dinastías fueron auténticos caudillos que, a la cabeza de sus ejércitos, ampliaron sus territorios desde Siria al sur de Sudán. Egipto se convirtió así en el imperio más extenso del antiguo Oriente Próximo. Se ubicó la capital en Tebas y se edificaron grandes construcciones, como el templo de Karnak.

7.º Tercer período intermedio. Fechado entre 1070 y 712 a.C., contiene las dinastías XXI-XXIV. En esta fase, el control egipcio sobre el imperio se desintegró y una serie de reyes débiles hizo que gran parte del poder real fuera usurpado por el sumo sacerdote de Amón.

8.º Período tardío. Datado entre 712 y 332 a.C., comprende las dinastías XXV-XXX. Durante esta etapa tiene lugar la reunificación de Egipto bajo la XXVI dinastía. Pero, en 525 a.C., llegaron a Egipto los invasores persas, bajo el mando de Cambises. La conquista por los persas aqueménidas significó el fin de la independencia egipcia. En 332 a.C., Alejandro Magno derrotó a los persas y fue coronado faraón. A su muerte, asumió el gobierno del país su general Ptolomeo, quien fundó una estirpe de reyes que regirían Egipto durante unos 300 años, hasta que el país fue anexionado como provincia del imperio romano.

Aludiremos brevemente a algunos aspectos de la matemática y la astronomía egipcias, para detenernos a continuación, en el estudio de la medicina. Desde el punto de vista metodológico nos interesa sobre todo destacar cómo el equilibrio necesario entre tradición e innovación, la tensión esencial, se rompe en el antiguo Egipto claramente a favor de la conservación tradicional del conocimiento, con la consiguiente pérdida de capacidad de progreso cognoscitivo. La época más creativa en la medicina egipcia fue la del Imperio antiguo. En la IV dinastía, la civilización egipcia alcanzó la cumbre de su desarrollo y este alto nivel se mantuvo durante la V y VI dinastías. El esplendor manifestado en las pirámides se extendió a numerosos ámbitos del conocimiento como arquitectura, escultura, pintura, navegación, artes menores y astronomía; los astrónomos de Menfis establecieron un calendario de 365 días. Los médicos del Imperio antiguo también mostraron un extraordinario conocimiento de fisiología, cirugía, el sistema circulatorio humano y el uso de antisépticos. Aunque la V dinastía mantuvo la prosperidad con la ampliación del comercio exterior y las incursiones militares en Asia, se evidenciaron los signos del declive de la autoridad real debido al aumento de la burocracia y al incremento del poder de los administradores que no pertenecían a la realeza. Después, los venerables papiros médicos se copiaron sin crítica ni modificación. En el valle del Nilo se han descubierto papiros de una época similar que contienen información sobre el tratamiento de heridas y enfermedades, la distribución de pan y cerveza y la forma de hallar el volumen de una parte de una pirámide. Algunas de las unidades de longitud actuales proceden de medidas egipcias y el calendario que empleamos es el resultado indirecto de observaciones astronómicas prehelénicas.

1.2.1. *Las matemáticas*

Si hubiera que enumerar los rasgos definitorios de las matemáticas en el antiguo Egipto, tendríamos que aludir a: peculiar sistema de numeración, con mención de las dificultades que pudo suponer para el desarrollo de la astronomía; carencia de una metrología con aspecto sistemático; desarrollo de la geometría ligado a la agrimensión y algoritmos de multiplicación y división que evitan la necesidad de tablas. Los primeros libros egipcios, escritos hacia el año 1800 a.C., muestran un sistema de numeración decimal con distintos símbolos para las sucesivas potencias de 10 (1, 10, 100...), similar al sistema utilizado por los romanos. Los números se representaban escribiendo el símbolo del 1 tantas veces como unidades tenía el número dado, el símbolo del 10 tantas veces como decenas había en el número, y así sucesivamente. Para sumar números, se sumaban por separado las unidades, las decenas, las centenas... de cada número. La multiplicación estaba basada en duplicaciones sucesivas y la división era el proceso inverso.

Los egipcios utilizaban sumas de fracciones unidad (1/n), junto con la fracción 2/3, para expresar todas las fracciones. Por ejemplo, 2/7 era la suma de las fracciones 1/4 y 1/28. Utilizando este sistema, los egipcios fueron capaces de resolver problemas aritméticos con fracciones, así como problemas algebraicos elementales. En geometría encontraron las reglas correctas para calcular el área de triángulos, rectángulos y trapecios, y el volumen de figuras como octaedros, cilindros y, por supuesto, pirámides. Para calcular el área de un círculo, los egipcios utilizaban un cuadrado de lado 8/9 del diámetro del círculo, valor muy cercano al que se obtiene utilizando la constante pi (3,14). Como se puede observar, la presentación de las matemáticas egipcias se beneficia desde el punto de vista didáctico de su comparación con las matemáticas mesopotámicas.

1.2.2. *La astronomía*

No podemos soslayar la función religiosa de la astronomía egipcia ni la construcción del calendario a partir de ella. El calendario egipcio consta de 360 días repartidos en tres estaciones (inundación, invierno y sequía) de cuatro meses cada una. Todos los me-

ses constan de 30 días. A esto hay que sumar cinco días más fuera de cualquier mes. En total: 365 días hacen que el año civil egipcio sea muy exacto, pese a lo cual acumula un retraso de un cuarto de día por año, retraso que nunca fue ajustado, de modo que el comienzo del año civil, en principio coincidente con el orto helíaco de Sirio y más o menos con la crecida del Nilo, se fue desplazando y las estaciones dejaron de corresponder con la época climática indicada por su nombre. El año civil y el solar sólo vuelven a coincidir al cabo de 1456 años.

1.2.3. *La medicina*

En el caso del antiguo Egipto merece más atención la historia de la medicina que el resto de las disciplinas. Fue, en efecto, una de las ramas del saber más desarrolladas en la referida civilización e influyó de modo determinante en la tradición médica posterior, a través de los médicos griegos y romanos. Los médicos eran sacerdotes formados en escuelas especiales de los templos, y el primero cuyo nombre ha sobrevivido fue Imhotep (vivió hacia 2725 a.C.), célebre, además, por su cargo de *visir* (oficial de alto grado) del faraón y por ser constructor de pirámides y astrólogo. Posteriormente, Imhotep se convirtió en el dios de la curación.

Habrá que empezar por distinguir los aspectos médicos de los mágicos. Ambos convivieron en la tradición egipcia. Estos últimos estaban más vinculados a la supuesta curación radical de la enfermedad mediante la expulsión de los agentes extranaturales que se creían causantes de la misma. Los primeros, más eficaces y científicos, trataban de paliar los síntomas producidos por esos agentes. A menudo, la aplicación de una pomada o ungüento se acompaña con la pronunciación de una fórmula mágica. A veces, el medicamento se aplica al margen de la fórmula. Otras veces, sobre todo en caso de enfermedades incurables, se acude directamente a la magia. Los profesionales de medicina fueron en muchos casos funcionarios; tenemos constancia de una estructura jerárquica dentro de la profesión y de una división por especialidades; existieron oculistas, dentistas, médicos especializados en fracturas de todo tipo, etc...

La medicina se enseñaba en el seno de las familias con tal tradición, y la formación se completaba en las llamadas «casas de la

vida», talleres en que se copiaban los papiros médicos. La distancia social entre los profesionales de la medicina y los que trabajaban en las «casas de la muerte» impidió que el conocimiento anatómico adquirido por la práctica de la momificación se incorporase a la tradición médica. En conjunto, toda la estructura de la profesión médica y del sistema de enseñanza, reforzado por ciertas disposiciones legales, promovieron el estancamiento de la medicina egipcia en una tradición que fue fruto de un período creativo y fructífero, pero que escapó posteriormente a la crítica.

En suma, dentro de la medicina egipcia se distinguen dos tendencias, la mágico-religiosa, que incorpora elementos muy primitivos, y la empírico-racional, basada en la experiencia y en la observación, y en la que estaban ausentes los rasgos maravillosos. El médico trataba racionalmente enfermedades comunes de los ojos y de la piel debido a su localización favorable; sin embargo, los procesos menos accesibles se trataban aún con hechizos, encantamientos del druida y sacerdote. En la III dinastía, el médico surgió como una forma primitiva de científico, distinguiéndose del druida o del sacerdote. El médico solía pasar arduos años de formación en las escuelas de los templos, donde aprendía el arte de la interrogación, la inspección, la palpación (examen del cuerpo por el tacto).

A pesar de que los egipcios utilizaron el embalsamamiento, su conocimiento anatómico fue escaso, y sólo intentaron realizar técnicas de cirugía menor. Según los escritos del historiador griego Herodoto, los antiguos egipcios reconocieron la odontología como especialidad quirúrgica importante. Hay alguna evidencia que sugiere que los estudios egipcios sobre fisiología y patología, basados en el trabajo del médico Imhotep y la posterior vivisección de criminales por el anatomista y cirujano griego Herófilo de Calcedonia, influyeron en el filósofo griego Tales de Mileto, que viajó a Egipto en el siglo VII a.C.

En cuanto a los contenidos de la medicina egipcia, creemos que es recomendable, como hace R. Taton, exponerlos siguiendo las distintas partes de la anatomía humana a que se refieren los textos de que disponemos. Así, veremos en primer lugar lo que sabían sobre el corazón y sus vasos. La medicina egipcia fue cardiocéntrica. Se puede anticipar que esta tendencia se conservará en la biología griega, en la obras de Aristóteles, y se enfrentará a la tradición ce-

rebrocéntrica (a la que pertenece, por ejemplo, el médico Alcmeón de Crotona). Pensaban los egipcios que del corazón parten todos los vasos, los que transportan la sangre, pero no sólo estos, también los que conducen el resto de los fluidos corporales. La función de los riñones, por ejemplo, les fue desconocida y suponían que existiría conexión directa de la vejiga al corazón. Estudiaron, además, lo referente a las vías respiratorias, al sistema digestivo, al cráneo, junto con nariz, oídos, boca y ojos.

Especial importancia representa el tratado sobre cirugía que se incluye en el llamado *Papiro de Smith*, pues es el texto más claramente científico de cuantos disponemos. Se indica en todos los casos un sistema preciso de exploración, un diagnóstico, un pronóstico y se prescribe un tratamiento adecuado en la mayor parte de los casos. Existe en este texto una característica que creemos destacable sobre las demás, y es el conocimiento crítico de los límites y capacidades del médico cuando se enfrenta a traumatismos graves. En algunos supuestos se afirma «una enfermedad que tratar»; en otros, cuando la curación se estima más difícil, «una enfermedad contra la que luchar», y, finalmente, hay casos que se juzgan directamente incurables y no se prescribe tratamiento, ni médico ni mágico. Esta clara conciencia de los límites que observamos en el *Papiro de Smith*, contrasta con la propaganda de infalibilidad que se añade en otros textos a ciertas recetas, a todas luces ineficaces, para paliar la alopecia o el encanecimiento del pelo. Nos parece conveniente relacionar, al hilo de este claro caso histórico, la ciencia con la comprensión crítica de los límites y la sinceridad en la expresión de los mismos y, *sensu contrario*, la pseudociencia con la propaganda de infalibilidad.

Por último, haremos una alusión a los dos tipos de farmacopea utilizados por los egipcios, la médica y la mágica, con su diferente función, a saber: paliar síntomas, en el primer caso, y expulsar espíritus, en el segundo, cosa que se hacía mediante pócimas que produjesen la repulsión, incluso de los espíritus malignos (y que no creemos necesario ejemplificar aquí). En cualquier caso, fragmentos de papiro como el de *Ebers* demuestran que los métodos de observación y diagnóstico de la medicina egipcia eran refinados, si bien no sucedía lo mismo con los tratamientos. Las prescripciones contenían algunos de los fármacos que se han seguido usando a tra-

vés de los siglos. Los laxantes favoritos eran los higos, los dátiles y el aceite de castor. El ácido tánico, derivado principal de la semilla de la acacia, se empleó en el tratamiento de las quemaduras. La farmacia egipcia midió el volumen de los componentes de los medicamentos y los combinó según su sistema de fracciones (que se ha estudiado más arriba). Fueron los griegos quienes mejoraron las fórmulas mediante el pesado de los componentes.

1.3. Escuela y escritura

Además del conocimiento histórico adquirido, para que se puedan apreciar mejor los puntos enunciados, se estudiarán en este apartado algunos elementos de la historia y de la teoría de la escritura. Haremos alusión también al funcionamiento de las instituciones escolares en Mesopotamia y Egipto. La escritura y la escuela, con todos los defectos de algo que comienza, supusieron un importante paso en la buena dirección hacia una comprensión más racional y crítica del mundo, básicamente porque facilitaron la génesis de una tradición y la posibilidad de crítica de ésta[4].

La ciencia antigua en sus comienzos se apoyó en una nueva técnica para la transmisión y difusión del saber. Se trata de la escritura. Por primera vez se dispone de un sistema distinto de la frágil tradición oral para hacer que el saber adquirido por una generación pueda beneficiar a otras. En este apartado se pretende hacer comprender la importancia de la escritura en el nacimiento de la ciencia[5].

4. Taton (1971-74) contiene una selección de textos traducidos, extraídos de los papiros de Berlín, Kahun, Smith y otros, que sirven sobradamente como base textual para el correspondiente apartado. En Serres (1991), por otra parte, pueden verse amplias selecciones de textos mesopotámicos y egipcios referidos a temas científicos. Algunos textos originales pueden consultarse en traducciones (además existen ediciones españolas de varios textos mesopotámicos y egipcios no científicos, desde Himnos Sumerios e Himnos Babilónicos al *Código de Hammurabi* o el *Poema de Gilgamesh* y *El libro de los muertos* a cargo de F. Lara Peinado en la editorial Tecnos).

5. El primer volumen de la *Historia de la Filosofía* de Mosterín (1983), es de gran utilidad como introducción a la cultura mesopotámica y muy recomendable

Lo más importante de todo fue un invento que se difundirá por toda la faz del mundo: el arte de la escritura. La memoria del hombre es falible, y cuando surgen disputas, se hace necesario disponer de un testimonio permanente. En este sentido, como ayuda para un título y derechos de propiedad, pronto se hicieron indispensables los registros visibles. De ellos nació la historia misma. La escritura ideográfica más antigua que se conoce la vemos en ambas caras de una tablilla, hallada en Kish (hacia el 3500 a.C.), con los signos correspondientes a cabeza, mano y pie, a una rastra y a unos numerales. La escritura permite la acumulación del saber por encima de lo hasta entonces conocido. Sólo después comienzan a formarse las primeras bibliotecas (por ejemplo, la de Assurbanipal, en Nínive).

De los grandes imperios establecidos en Mesopotamia, la Antigüedad clásica había conservado muy poco: en lo referente a estas naciones, no nos queda nada que equivalga a las descripciones de Herodoto relativas a Egipto. Solamente los libros religiosos judíos (la Biblia), recogidos por el cristianismo, dieron a conocer Babilonia, los asirios o los persas a los hombres de la Edad Media. Un judío español, Benjamín de Tudela, que en 1160 viajó por lo que son hoy Irán e Irak, señala la existencia de importantes ruinas en estas regiones. Viajeros italianos como, por ejemplo, Josafat Barbaro (1413-1494), conocían la existencia de las grandiosas ruinas de Persépolis, y, a comienzos del siglo XVII, Pietro Della Valle (1586-1652) copiaba inscripciones mesopotámicas y las daba a conocer a los sabios europeos.

Esta escritura parecía aún más extraña que la de los jeroglíficos egipcios. Como estaba compuesta de signos en forma de clavos o de cuñas, recibió más tarde el nombre de escritura cuneiforme (del latín *cuneus* = clavo). En el siglo XIX, unos treinta años después de haber descifrado Champollion los jeroglíficos de la «piedra de Rosetta», los signos cuneiformes pudieron ser leídos e interpretados.

para el lector por su claridad y estilo ameno. Sobre la escritura hay que remitir inexorablemente al clásico Gelb (1976). Existe también un libro más reciente de MOSTERIN, J.: *Teoría de la escritura*, Icaria, Barcelona, 1993, que trata de modo muy claro y sugerente la historia y teoría de la escritura. Acerca de la institución escolar en Egipto se pueden encontrar referencias en Mason (1984-86) y en Serres (1991).

Las excavaciones del francés Volta (en 1842-1843), en Nínive y Khorsabad, inauguraron la «asiriología», término impropio, pues esta ciencia no se limita a la historia de los asirios, sino que también se interesa por la de todos los pueblos que fueron sucediéndose en Mesopotamia.

Se han hablado y escrito varias lenguas en Mesopotamia, y todas han sido transcritas en caracteres cuneiformes (primera dificultad que encuentra el investigador: ¿Cuál es el idioma del documento que tiene en las manos?). La escritura cuneiforme fue inventada por los sumerios, 4000 años a.C. El sumerio no pertenece ni al grupo de las lenguas semíticas, ni al de las indoeuropeas; es un idioma de los llamados asiánicos (familia lingüística artificial que incluye también el elamita, el hurrita y el protohitita).

Los acadios (semitas) copiaron la escritura de los sumerios para transcribir su propio idioma; los signos toman entonces un valor fonético (silábico), mientras que, en el caso de los sumerios, tienen principalmente valor ideográfico. En el transcurso de su evolución, los cuneiformes se han simplificado, de lo cual se deduce la necesidad de distinguir, por ejemplo, una escritura babilónica antigua de una escritura babilónica media o reciente. Los cuneiformes han servido para transcribir, episódicamente o de forma duradera, la mayor parte de los idiomas hablados en Mesopotamia.

Decenas de millares de tablillas cuneiformes han sido clasificadas, transcritas e interpretadas. Estos textos pertenecen a distintas categorías:

1. Textos históricos (listas de reyes o de personajes importantes, relatos de batallas, tratados, etc.).
2. Textos religiosos (ritos, listas de dioses, oraciones, etcétera).
3. Textos de presagios: arte de interpretar los presagios, examen de entrañas (hígado) o hepatoscopia.
4. Textos científicos (matemáticas, astronomía, medicina); textos escolares.
5. Textos jurídicos (códigos) y económicos (estadísticos, documentos contables o fiscales, etc.).
6. Textos relativos a la vida cotidiana (cartas, contratos, listas, etc.).
7. Textos literarios (poesía, epopeyas, etc.).

8. *Kudurrus* (límites), sellos, colofones (indicación dada por el escribano en la parte baja de una tablilla: nombre del copista, naturaleza del texto, etc.).

Las tablillas cuneiformes, con frecuencia divididas en columnas o en líneas por trazos verticales u horizontales, suelen estar grabadas por las dos caras. Cuando el texto es administrativo (contratos, cartas), llevan casi siempre una fecha o un sello. Una vez limpia la tablilla, se copia con cuidado; después se transcriben los signos, utilizando las reglas establecidas por los asiriólogos (existen diccionarios de signos cuneiformes), y se dividen, según el contexto, los valores admisibles. Hecha esta transcripción, se puede emprender la traducción.

Los egipcios, como casi todos los pueblos antiguos, utilizaron como soporte de su escritura, además de monumentos, sarcófagos, etc., una materia vegetal hecha con una planta, el papiro (*Cyperus papyrus*). Los egipcios cortaban los tallos de los papiros en tiras estrechas que luego encolaban, consiguiendo así una especie de papel que se usó durante toda la Antigüedad. El primer rollo de papiro introducido en Europa fue adquirido por un mercader en 1788.

Pero sería un error creer que los egipcios conocían una sola escritura, la llamada por los helenos «escritura sagrada» (en griego, *hieros*: sagrado, y *glyphein*: grabado, de donde procede el término «jeroglífico»). Se conocen cuatro tipos de caracteres egipcios, empleados en distintas épocas:

a) Los jeroglíficos propiamente dichos. Son pictogramas (representaciones figurativas) particularmente cuidados, en los que se mezclan numerosos signos de valor fonético. Estos jeroglíficos, difíciles de grabar, a veces se estilizaron: jeroglíficos simplificados.

b) Paralelamente a la escritura jeroglífica, se desarrolló una forma de escritura más cursiva, la *hierática*, llamada así por los griegos porque, en su época, era empleada solamente por los sacerdotes. Generalmente, los jeroglíficos puros se reservaban para las inscripciones sobre piedra, mientras que la escritura hierática se utilizaba en los papiros o en otros materiales menos duraderos. En este aspecto, los egipcios hacían como nosotros, que escribimos las cartas corrientes a mano, pero imprimimos o escribimos a máquina los textos oficiales o los destinados a tener gran difusión.

c) En la Época Baja (es decir, después del Imperio nuevo), la escritura se transforma de nuevo: es la *demótica* (popular).

d) En el siglo III, cuando el cristianismo se implanta en Egipto, se abandonan los signos jeroglíficos y se adopta la escritura alfabética, utilizando las letras del alfabeto griego y ciertos signos destinados a representar sonidos inexistentes en griego y que eran propios del egipcio. Es la escritura copta, nombre proveniente del griego *aiguptos* (egipcio), con el que se designaba a los cristianos de Egipto, que fueron los únicos en emplearla. El copto sobrevivió hasta el siglo XVII; hoy es la lengua litúrgica de la iglesia copta.

Pero además de permitir el establecimiento de una tradición y que los científicos puedan trabajar aupados en ella, «a hombros de gigantes», la escritura facilita la difusión y ampliación de la base social del saber y, por tanto, la posibilidad de crítica del mismo, al ser puesto delante de más ojos y expuesto a una mayor pluralidad de puntos de vista. Esta transmisión y difusión del saber se apoya también en una importante institución, la escuela. La escuela crea un contexto alejado de la aplicación inmediata del saber, donde se puede jugar y hacer probaturas sin riesgos amenazadores. Una buena parte de los problemas matemáticos que aparecen en las tablillas mesopotámicas responden a intereses propios de ese contexto escolar y están alejados de cualquier utilidad práctica inmediata.

2
La ciencia antigua: Grecia

Introducción

No se conocen con certeza los orígenes de la nación griega. Su importancia en la historia de la ciencia empieza alrededor del año 600 a.C., pero la civilización helénica estaba establecida en el Mediterráneo oriental ya siglos antes de esa fecha. Los griegos no estaban confinados en lo que hoy llamamos Grecia, sino que habitaban también la costa del Asia Menor y muchas islas del Egeo, y fundaron ciudades coloniales de población y cultura griegas en Italia y Sicilia. En el año 600 a.C. no estaban unidos políticamente, sino que vivían en estados-ciudad independientes, como Atenas, Corinto, Esparta, Mileto y Samos. La debilidad de aquellas aisladas ciudades excitó las ambiciones de los reyes persas. Entre el 546 a.C. y el final del siglo VI, Ciro y Darío conquistaron las ciudades griegas jónicas del Asia Menor. En 499 hubo una sublevación jónica apoyada por Atenas; pero fracasó, y los persas siguieron en su avance hacia el oeste. Darío fue derrotado por los atenienses en Maratón el año 490 a.C. Pero diez años más tarde, Jerjes reanudaba el ataque a Grecia. Un contingente espartano que intentó detenerle fue aniquilado en las Termópilas, y los atenienses se quedaron solos, cara a cara con el invasor. Ardió Atenas, pero los atenienses consiguieron salvarse gracias a las victorias de Salamina, en el mar, y de Platea, en tierra. Luego liberaron las demás ciudades egeas, y Esparta perdió parte de su prestigio por haberse negado a colaborar en esta empresa. Las ciudades del Egeo quedaron entonces unidas

bajo la hegemonía de Atenas en la Liga Délica de Delos, que luego se convirtió en un imperio ateniense.

La ciencia griega nació entre los jonios del Asia Menor, cuando sus empresas mercantiles les pusieron en contacto con Egipto, Fenicia y Babilonia. Cuando los persas invadieron el Asia Menor, y mientras Atenas luchaba por su subsistencia contra los persas, Pitágoras y sus discípulos continuaron el cultivo de la ciencia en la Italia sur. Terminada la guerra, Atenas alcanzó no sólo la cumbre de su poder militar y político, sino también su máximo período de influencia en la ciencia, las artes y las letras. Bajo Pericles, Atenas se convirtió en el centro de la vida intelectual griega. La ciencia de la edad ateniense fue enriquecida por los jonios tardíos asociados con Atenas en la Liga Délica.

No obstante, el momento de máximo esplendor de la ciencia griega, que transcurre en su mayor parte entre los siglos III-II a.C., en Alejandría, durante el reinado de los ptolomeos y bajo la directa protección de esta dinastía. Este período helenístico de la ciencia griega se relaciona directamente con la fundación, por Ptolomeo I Soter, y con la inspiración y el consejo de Demetrio de Falero, miembro del Liceo aristotélico, del Museo, templo dedicado al honor de las Musas, destinado a convertirse (con Ptolomeo II) en el centro cultural del mundo helenístico, superando en importancia, magnitud y medios de investigación al Liceo de Atenas; junto al Museo se construye una gran Biblioteca (500.000 volúmenes en sus comienzos), de la cual fueron famosos bibliotecarios Zenodoto, Apolonio de Rodas, Eratóstenes, etc.; su labor fundó las bases de la filología griega, y entre sus ediciones se cuentan las obras de Homero, *Ilíada* y *Odisea*, publicadas por Zenodoto, y la primera gramática griega publicada por Dionisio de Tracia.

El Museo, centrado en la investigación matemática y científica, pudo reunir, gracias a la protección de los soberanos, a los grandes matemáticos, astrónomos, médicos y geómetras de aquella época, y el desarrollo que alcanzaron las ciencias en Alejandría, ya divididas por especialidades, superó en mucho al logrado por Atenas con la Academia y el Liceo; de hecho, la actividad del Liceo quedó paralizada cuando su segundo escolarca, Estratón de Lámpsaco, marchó a Alejandría, llamado por Ptolomeo. Además de la Biblioteca, el Museo disponía de grandes recursos materiales para la investiga-

ción: salas de lectura, de estudio, de disección de animales, observatorio astronómico, parque zoológico, jardín botánico, etc. Los ptolomeos, por su parte, mantenían al casi centenar de profesores llegados de todas partes, pero, sobre todo, de la parte oriental del imperio, y financiaban aquel centro de cultura universal como una manera de aumentar su prestigio e influencia, así como por el interés por la aplicación práctica de la ciencia.

En el caso que nos ocupa en este tema sobre la ciencia griega[1] prestaremos especial atención a la astronomía, por su relevancia futura, y dedicaremos algunas páginas también a tres importantes disciplinas, las matemáticas, la medicina y la biología. La astronomía será el hilo conductor desde la antigüedad hasta la revolución científica. La historia de la astronomía en esta época es de suma importancia para la historia de la ciencia. Ha sido tradicionalmente una fuente de ejemplos y problemas para la reflexión filosófica, además de condición necesaria para la intelección del gran cambio que se produce en la ciencia renacentista y posterior; en consecuencia, merece cuidadoso estudio.

Por lo que hace a la biología, estudiaremos las teorías de Aristóteles. Cuando veamos más adelante las teorías evolutivas del siglo XIX, necesitaremos un cierto conocimiento del esquema teórico más amplio que se mantuvo casi hasta ese momento, el aristotélico; y nos ha parecido oportuno incluir su estudio aquí, en el momento que cronológicamente le corresponde. Por otra parte, la biología de Aristóteles puede servirnos para apreciar el surgimiento de la primera biología teórica, para plantear problemas filosóficos recientes, como, por ejemplo, la función de las metáforas y modelos en ciencia, y como antecedente histórico sobre el que apoyar la expli-

1. En general, la ciencia griega recibe un tratamiento original y muy iluminador en las obras de LLOYD, G.E.R.: *Early Greek Science. Thales to Aristotle*, Chatto & Windus, Londres, 1970; trad. esp., Eudeba, Buenos Aires, 1977; ídem: *Greek Science after Aristotle*, Chatto & Windus, Londres, 1973; ídem: *The revolution of Wisdom: Studies in the Claims and Practice of Ancient Greek Science*, University of California Press, Berkeley, 1987, y, al menos, merecen ser citadas las de FARRINGTON, B.: *Ciencia y política en el mundo antiguo*, Ayuso, Madrid, 1973; ídem: *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ariel, Barcelona, 1977; ídem: *La ciencia griega*, Icaria, Barcelona, 1979.

cación de la biología del siglo XIX, que se llevará a cabo en el capítulo octavo.

Según nuestro juicio, la orientación histórica y geográfica, aconsejable en el caso de Mesopotamia y Egipto, acaso sea prescindible en el caso de Grecia, así como la presentación general de su ciencia o los datos biográficos. Los pensadores de los que se va a hablar son, en general, suficientemente conocidos por el lector medianamente informado. Por tanto, iremos directamente a la astronomía (2.1.) y tras ello a la biología (2.2.), y a la medicina (2.3.). La sección se cerrará con un apartado dedicado a las matemáticas griegas (2.4.).

Los eventos científicos más reseñables en este período de la ciencia antigua pueden considerarse los siguientes:

-585. Se produce el eclipse solar predicho por el sabio griego Tales de Mileto, el «padre de las ciencias físicas».

-570. Nace, en Grecia, el futuro filósofo y matemático Pitágoras.

-440. El filósofo griego Leucipo realiza la primera formulación del atomismo.

-405. El filósofo griego Demócrito expone su teoría sobre los átomos.

-405. El médico griego Hipócrates de Cos elabora su teoría fisiológica basada en los cuatro humores.

c.-375. El médico, astrónomo y matemático griego Eudoxo de Cnido crea un prototipo de cosmos tolemaico utilizando una red de esferas invisibles para explicar los movimientos del Sol, la Luna, las estrellas y los cinco planetas que conocía.

-370. Se construye el primer trazado de muralla con forma de cremallera en Arcadia (Grecia).

c.-369. Fallece el matemático Teeteto el Ateniense, quien desarrolló la teoría de los números irracionales

-312. Fallece el astrónomo griego Heráclides Póntico, quien había expuesto un sistema seudoheliocéntrico que admite la rotación terrestre y atribuye dos satélites al Sol.

c.-310. Nace el futuro médico Erasístrato, quien se centrará, sobre todo, en estudios fisiológicos y patológicos.

c.-300. El matemático griego Euclides funda, en Alejandría (Egipto), su escuela de geometría y escribe *Elementos de geometría.*

-290. El anatomista Herófilo de Calcedonia realiza disecciones en Alejandría (Egipto).

c.-287. Nace, en la ciudad de Siracusa (Sicilia), el futuro sabio Arquímedes.

c.-285. El arquitecto griego Sóstrato de Cnido construye el faro de Alejandría (Egipto), gigantesca torre en cuya cúspide se encendía una gran hoguera.

-280. Aristarco de Samos realiza importantes estudios de astronomía y emite, por vez primera, la teoría heliocéntrica de nuestro sistema.

-225. El mecánico alejandrino Ctesibio desarrolla su teoría de los cuerpos cónicos.

c.-200. Ctesibio inventa el órgano hidráulico y una versión más precisa del reloj de agua, la clepsidra.

c.-200. El astrónomo griego Teodosio de Bitinia escribe tres libros sobre la geometría de la esfera.

c.-180. Muere el matemático griego Apolonio de Pérgamo, discípulo del sabio griego Arquímedes de Siracusa y autor de un importante tratado sobre la sección

c.90. Nace el futuro astrónomo, matemático y geógrafo griego Ptolomeo, quien desarrollará especialmente su actividad en Alejandría (Egipto).

201. Muere el médico griego Galeno, considerado como uno de los anatomistas más importantes de la Antigüedad.

c. 250. El matemático griego Diofanto de Alejandría introduce la notación algebraica en los conocimientos matemáticos.

2.1. La astronomía griega [2]

Los primeros científicos griegos eran inferiores a los babilonios como observadores astronómicos. Subestimaban la importancia de la observación y del experimento y suponían que podían obtener un conocimiento del mundo externo por deducción a partir de principios generales basados en sus particulares impresiones de lo que debía ser propiamente un universo organizado. Los babilonios habían prestado atención al primer elemento esencial del método científico: el paciente registro de hechos observados. Los griegos la prestaron al segundo elemento esencial del método, que consiste en hallar una teoría (o hipótesis) para la organización de los hechos. Este paso exige ingenio imaginativo. Difícilmente puede ser obra de un solo hombre. Generalmente, el éxito en ese paso se basa en triunfos parciales anteriores que no deben ser nunca minusvalorados.

Seducidos por el éxito de los axiomas en el desarrollo de un sistema geométrico, los griegos llegaron a considerarlos como verdades absolutas. Por este motivo, en la astronomía tomaron como axiomas las nociones siguientes: 1) la Tierra es inmóvil y, al mismo tiempo, el centro del Universo. 2) En tanto que la Tierra es corrupta e imperfecta, los cielos son eternos, inmutables y perfectos. Puesto que los griegos consideraron el círculo como la curva perfecta, y teniendo en cuenta que los cielos eran también perfectos, dedujeron que todos los cuerpos celestes debían moverse formando círculos perfectos y, por tanto, se vieron obligados a considerar que realizaban tales movi-

2. Sobre la astronomía griega es especialmente claro y fiable el libro de Pérez Sedeño, E.: *El rumor de las estrellas: teoría y experiencia en la astronomía griega*, Siglo XXI, Madrid, 1986; también el clásico de Neugebauer, O.: *A History of Ancient Mathematical Astronomy*, Springer Verlag, Berlín, 1975, aunque su alto nivel técnico no es el más adecuado aquí; Battaner, E.: *Planetas*, Alianza, Madrid, 1991 y Kuhn, T.: *La revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1978, aunque no tratan principalmente sobre la astronomía griega, son, sin embargo, buenas lecturas introductorias, libros muy recomendables para adentrarse en la astronomía planetaria con agrado. Además, nos parece oportuno ofrecer la referencia de alguna guía de observación para que el lector pueda aproximarse directamente a algunos fenómenos de los tratados aquí, por ejemplo: Pellequer, B.: *Guía del cielo*, Alianza, Madrid, 1991.

mientos en combinaciones cada vez más complicadas de círculos, lo cual fue formulado, como un sistema excesivamente complejo, por Claudio Ptolomeo, en Alejandría, hacia el 150 de nuestra era.

Una teoría no es nunca definitiva, ni siquiera cuando coincide en líneas generales con todos los datos conocidos. Puede ser modificada o hasta descartada a la luz de nuevos hechos. Pero la construcción de teorías, ese paso de la imaginación, es necesaria para el progreso de la ciencia; pues una teoría que coincide con los hechos ya conocidos es siempre adecuada para sugerir la existencia de hechos aún no observados ni sospechados y para promover su investigación. Hay que agradecer a los griegos el haber sido los primeros en apreciar el valor de la teoría. El hecho de que sus propias teorías de los movimientos celestes no tuvieran un éxito completo es de escasa importancia. Lo que cuenta es que sugirieron la construcción y el manejo de un arma científica nueva y poderosa.

Los antiguos griegos hicieron importantes aportaciones a la astronomía. La *Odisea* de Homero se refiere a constelaciones como la Osa Mayor, Orión y las Pléyades y describe cómo las estrellas pueden servir de guía en la navegación. El poema *Los trabajos y los días* de Hesíodo informa al campesino sobre las constelaciones que salen antes del amanecer en diferentes épocas del año para indicar el momento adecuado de arar, sembrar y recolectar.

Sin embargo, las aportaciones científicas se asocian con los nombres de los filósofos griegos Tales de Mileto y Pitágoras de Samos, aunque no se conserva ninguno de sus escritos. Hacia el año 450 a.C., los griegos comenzaron un fructífero estudio de los movimientos planetarios. Filolao (siglo V a.C.), discípulo de Pitágoras, creía que la Tierra, el Sol, la Luna y los planetas giraban todos alrededor de un fuego central oculto por una «antitierra» interpuesta. De acuerdo con su teoría, la revolución de la Tierra alrededor del fuego cada 24 horas explicaba los movimientos diarios del Sol y de las estrellas. Hacia 370 a.C., el astrónomo Eudoxo de Cnido explicaba los movimientos observados mediante la hipótesis de que una enorme esfera que transportaba las estrellas sobre su superficie interna se desplazaba alrededor de la Tierra, girando diariamente. Además, explicaba los movimientos solares, lunares y planetarios diciendo que dentro de la esfera de estrellas había otras muchas esferas transparentes interconectadas que giraban de forma diferente.

El más original de los antiguos observadores de los cielos fue otro griego, Aristarco de Samos. Creía que los movimientos celestes se podían explicar mediante la hipótesis de que la Tierra gira sobre su eje una vez cada 24 horas y que junto con los demás planetas gira en torno al Sol. Esta explicación fue rechazada por la mayoría de los filósofos griegos que contemplaban la Tierra como un globo inmóvil alrededor del cual giran los ligeros objetos celestes. Esta teoría, conocida como sistema geocéntrico, permaneció inalterada unos 2.000 años.

En el siglo II d.C. los griegos combinaban sus teorías celestes con observaciones trasladadas a planos. Los astrónomos Hiparco de Nicea y Ptolomeo determinaron las posiciones de unas 1.000 estrellas brillantes y utilizaron este mapa estelar como base para medir los movimientos planetarios. Tomaremos como referencia el orden cronológico en que se fueron produciendo las distintas contribuciones.

2.1.1. *La astronomía de los presocráticos*

Corrientemente, se admite que la ciencia griega se originó en las ciudades jónicas del Asia Menor, particularmente en Mileto, donde era más estrecho el contacto con las antiguas civilizaciones, y en las nuevas colonias que los griegos habían fundado en Italia y en Sicilia. El gran valor del primer período del pensamiento griego reside en que intentó responder a todas las cuestiones de un modo sencillo y correcto.

Las investigaciones de los filósofos presocráticos abarcan una considerable diversidad de temas. El haber abierto un número tal de campos de investigación es, en efecto, uno de los logros más notables de estos filósofos, y ellos fueron los primeros en plantearse como problemas cuestiones como la naturaleza de los cuerpos celestes, las causas de fenómenos del tipo de los terremotos, los eclipses, el trueno y el relámpago, el origen de los seres vivos en general y del hombre en particular, la naturaleza de la sensación y otros equivalentes. Si examinamos la práctica seguida por los filósofos griegos en las teorías y explicaciones que efectivamente aducían, podemos observar ciertas características constantes en su tratamiento de los fenómenos de la Naturaleza.

Los primeros testimonios a los que hemos de atenernos corresponden a los filósofos milesios. No sin razón cabe atribuir a los milesios los primeros intentos sistemáticos de dar explicaciones a una amplia diversidad de fenómenos naturales. En los escritores prefilosóficos se halla implícita alguna noción de la naturaleza del relámpago o del trueno o de la enfermedad. Sin embargo —por dar un nombre—, Homero no muestra tanto interés en discutir la naturaleza de los fenómenos o las circunstancias generales que presiden su aparición, como en contarnos por qué un fenómeno concreto ha tenido lugar en una ocasión concreta, y las causas que podríamos llamar próximas de muchos fenómenos de ese tipo se encuentran por lo regular en un plano sobrenatural, radican en el *fiat* de los dioses[3]. Los filósofos jónicos, en cambio, centraron su atención no ya en este o aquel resplandor particular de un relámpago, sino en la naturaleza del resplandor mismo del relámpago, suprimiendo de sus planteamientos la referencia a los dioses o a motivaciones divinas, aunque sus explicaciones suelen ser bastante rudimentarias. Muchas de sus teorías parecen consistir principal o enteramente en una sugerencia de que un fenómeno determinado es semejante a algún otro objeto más familiar, y la investigación, una vez que se ha propuesto una analogía de algún tipo, da la impresión a menudo de haber tocado a su fin.

A diferencia de la de los babilonios y egipcios, la astronomía jónica no contaba con una base sólida de observaciones. Tales[4] fue

3. Cfr. LLOYD, G.E.R.: *Polarity and Analogy*, Cambridge University Press, 1966, p. 298.

4. Tales de Mileto (c. 624 a.C.- c. 546 a.C.), fue el fundador de la escuela de su ciudad natal (situada en Asia Menor). Se sabe poco de su vida y orígenes, por lo que todo lo que se le atribuye puede ser materia de discusión. A Tales, la antigüedad le cuenta entre los siete sabios. Aristóteles lo llama el «padre de la Filosofía», y Platón nos cuenta la historia de la muchacha tracia que se rió de él porque, embebido en la consideración de las cosas supraterrenas, se cayó en un hoyo, haciendo una inelegante figura. Queriendo enseñar a los hombres lo más sublime, no vio lo que tenía a los pies. Lo cierto es que no le faltó a Tales el sentido práctico. Dirigió en Mileto una escuela de náutica, construyó un canal para desviar las aguas del Halis y dio muy acertados consejos políticos. Desempeñó un papel importante en la política de su país y, al parecer, se dedicó al comercio de aceite y aceitunas. Tales recogió los conocimientos geométricos de los egipcios, y les imprimió un carácter particular. Desarrolló los inicios de la matemática deductiva, que sería sistematizada por Euclides dos siglos y medio más tarde.

considerado uno de los Siete Sabios de Grecia por haber previsto un eclipse total de Sol el 28 de mayo de 585 a.C., historia que parece ser apócrifa. Pero, si fue capaz de hacerlo, es porque había tenido acceso a los protocolos babilónicos y su prestigio, en la medida en que estuviera basado en aquel éxito, dependía, pues, de fundamentos que no eran suyos ni griegos. La única verdadera contribución de Grecia a la astronomía fue una idea. Los jonios concibieron la idea de que la Tierra podía sostenerse sola, sin apoyo, en el espacio vacío. Es ésta una gigantesca hazaña de la imaginación, si se tiene en cuenta que repugna al sentido común suponer que una cosa cualquiera, y menos que nada un sólido como la Tierra, pueda mantenerse sin un zócalo o base[5].

Tales empezó a derribar el firme zócalo de la Tierra suponiendo que ésta flotaba en el Océano, y no estaba rodeada por él meramente en sentido horizontal. Anaxímenes fue más lejos, enseñando que la Tierra es «como una gran hoja que flota en el aire». Recordemos que el aire era tan esencial para Anaxímenes como el agua para Tales. Anaximandro desató aún más completamente la Tierra. Creía que las estrellas fijas estaban en una esfera rotatoria y que la Tierra, de forma cilíndrica y aplastada, se mantenía por sí misma en el centro de esa esfera, simplemente por el hecho de que no había ninguna razón para que se moviera en un sentido determinado en vez de en otro. Esta razón dada en apoyo de su hipótesis tiene un halo notablemente moderno.

Tales fue el primer griego en mantener que la Luna brilla por reflejo de la luz del Sol, fenómeno establecido ya por la ciencia babilónica. Pero, lo que aseguró su fama fue, según la leyenda, la predicción de un eclipse total de Sol, que tuvo lugar exactamente en la fecha que él anunció[6]. Cuando ocurrió, medos y lidios, que estaban a punto de lanzarse a la batalla, lo interpretaron como una señal de los dioses, y los ejércitos se retiraron. Parece ser que la hazaña de

5. Cfr. HULL, L.W.H.: *History and Philosophy of Science*, 2ª ed., Longmans, London, 1959; trad. esp.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, Ariel, Barcelona, 1989, p. 34.

6. Para la explicación del eclipse de Tales, recomendamos, por ejemplo, GILLISPIE, C.C.: *The Edge of Objectivity; an Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton, New Jersey, 1960.

Tales tuvo precedentes, pues los babilonios habían descubierto métodos para la predicción exacta de los eclipses, por lo menos dos siglos antes. Sin embargo, para predecir la ocurrencia de un eclipse solar y su visibilidad desde determinado punto geográfico, se requiere más conocimientos astronómicos y sobre la forma de la propia Tierra de los que dispuso Tales. La predicción, por tanto, se debería alinear junto con la atribuida a Anaxágoras sobre la caída de un meteorito y otra endosada a Anaximandro sobre la ocurrencia de un terremoto. Creemos que la explicación más plausible la aporta Neugebauer y a ella nos remitimos. Esta explicación, claro está, cambia el *explanandum*, no se trata de explicar cómo fue posible la predicción del eclipse por parte de Tales, sino de dar cuenta de cómo se le pudo llegar a atribuir tal logro.

En dos ocasiones, Aristóteles atribuye a Tales la doctrina de que la Tierra flota sobre el agua. En *Metaphysica*[7] dice que Tales «declaró que la Tierra descansa sobre el agua», si bien en *De Caelo*[8] se muestra más cauto al atribuir esta idea a Tales. Si aceptamos la versión de Aristóteles —y no hay una buena razón para no hacerlo así—, Tales pensaba que la Tierra es algo que flota, la haya comparado específicamente o no con un trozo de madera. Si nos cuestionamos por qué razón sostuvo esta opinión, la respuesta puede ser que tratase de explicar por qué la Tierra no «cae», o bien puede que hubiera querido poner en relación la Tierra con la sustancia primordial, el agua, y dar a entender la prioridad que corresponde a esta última. En cualquier caso, la idea de que la Tierra flota está expuesta a objeciones obvias. Aristóteles ya advirtió que quedaba abierta la cuestión de qué es lo que, a su vez, sostiene el agua sobre la que reposa la Tierra, y señaló asimismo que, de hecho, las porciones de tierra (a diferencia de los trozos de madera) no flotan en el agua[9].

Aristóteles agrupa a Anaxímenes, junto con Anaxágoras y Demócrito, entre los filósofos que mantenían que la razón de la aparente estabilidad de la Tierra estriba en que es plana: «porque no corta el aire situado debajo de ella, sino que se asienta sobre él a modo de una tapa, como evidentemente hacen los cuerpos pla-

7. Cfr. ARISTÓTELES: *Metaphysica*, 983 b 21 ss.; DK 11 A 12.
8. Cfr. ibídem, 294 a 28 ss.; DK A 14.
9. Cfr. ídem: *De Caelo*, 294 a 32 ss.

nos»[10]. Otras fuentes añaden una serie de ilustraciones relativas a esta teoría. En Aecio[11], por ejemplo, la Tierra «tiene forma de tabla», y en otro lugar[12] el sol es «plano como una lámina».

Las metáforas concretas de una tabla, una lámina o una tapa pueden haber sido originales o no, en todo caso es claro que la teoría en su conjunto se funda sobre una analogía con objetos planos de algún tipo. Exactamente como Tales parece haber planteado en el caso de la Tierra sobre la base del conocimiento de que ciertos cuerpos sólidos flotan en el agua, así Anaxímenes hace uso de otro fenómeno familiar, el de la resistencia que el aire ofrece a los objetos planos, para explicar por qué la Tierra y algunos cuerpos celestes no «caen» en el espacio. Su explicación de los movimientos de los cuerpos celestes también descansa, en parte al menos, sobre el supuesto de que están sostenidos por el aire. En suma, Tales de Mileto y Anaxímenes fundaron al parecer sus interpretaciones de por qué la Tierra no «cae» sobre dos observaciones comunes, a saber: la de que ciertos objetos sólidos flotan en el agua y la de que los objetos planos tienden a ser sostenidos en el aire. Sin embargo, según todas las apariencias, ambos filósofos han pasado por alto la analogía negativa: ninguno de ellos da muestras cabales de haberse planteado seriamente la cuestión de cómo sus analogías pueden aplicarse efectivamente a la Tierra.

La versión de la cosmogonía de Anaximandro[13] ofrecida por el pseudo-Plutarco contiene este pasaje: «dice que lo que produce lo

10. Ibídem, 294 b 13 ss.; DK 13 A 20.

11. Cfr. AECIO: III 103; DK A 20.

12. Cfr. ibídem, II 221; DK A 20.

13. Anaximandro vive igualmente en Mileto y casi contemporáneamente con Tales. Comparte con él unas buenas relaciones con las ciencias naturales. Parece haber llevado a cabo la construcción de un mapa de la Tierra, de un globo celeste y de un reloj de sol. En la determinación del principio de las cosas va por otro camino. El *arjé* para él es el *ápeiron*, que puede traducirse por lo espacialmente infinito (desde el punto de vista cuantitativo) y lo infinitamente indeterminado o indefinido (desde el punto de vista cualitativo). Lo indefinido es omniabarcante, divino e imperecedero. Lógicamente concibe el principio del ser de un modo más general y abstracto que Tales, pues si se pretende señalar el principio originario que valga para todo ser, es justo pensarlo de un modo tan indeterminado que pueda convertirse en cualquier ser. Dada su naturaleza indefinida y puesto que no es un elemento, tiene que ser o un intermedio o una mezcla. Prescinde de todo ser

caliente y lo frío a partir de lo eterno fue segregado al generarse este mundo y que, a raíz de esto, una esfera de llamas creció en torno al aire que circunda la Tierra como la corteza en torno a un árbol. Cuando ésta (es decir, la llama) se escindió y quedó encerrada en algunos círculos, se formaron el Sol y la Luna y los astros» [14]. Muchos estudiosos convienen en que algunas de las ideas contenidas en esta versión proceden de Anaximandro mismo. Hipólito de Roma, Aecio y el pseudo-Plutarco coinciden en atribuir a Anaximandro la teoría de que la Tierra es cilíndrica, comparándola, por ejemplo, con una columna de piedra. Cuando, en el pasaje que nos ocupa, viene parangonada implícitamente con el tronco de un árbol, la alusión puede ser bastante afortunada. Así pues, los cuerpos celestes Sol, Luna y astros, forman una serie de círculos concéntricos en torno a este núcleo cilíndrico, y es tentador pensar que aún puede haber aquí otro punto en el que la analogía del árbol casa con la teoría astronómica de Anaximandro. Nos referimos al crecimiento regular de un árbol en anillos concéntricos, lo cual viene a ejemplificar el desarrollo de los distintos círculos de los cuerpos celestes, que también se disponen en distancias uniformes a partir del centro. Anaximandro, por consiguiente, parece haber elaborado con cierto detalle los puntos de semejanza entre el crecimiento de un árbol y el desarrollo del mundo.

En alusión a la teoría sobre los cuerpos celestes, Hipólito de Roma refiere que «los cuerpos celestes se generan como un círculo de fuego (...) envuelto por niebla. Y hay aberturas, unos conductos en forma de flauta, a través de las cuales se muestran los cuerpos celestes» [15]. Por su parte, Aecio [16] dice que el sol es «un círculo semejante a una rueda de carro que tiene la banda, esto es, la llanta, ahuecada, llena de fuego, y en determinado punto hace visible el fuego a través de una abertura como si fuera a través del tubo de un fuelle». Si nos atenemos a estas caracterizaciones, los cuerpos celestes son

particular, y llega así a su *ápeiron*. Anaximandro camina, sin duda, por el sendero abierto por Tales, pero quizás ha ido demasiado lejos, pues lo totalmente indeterminado no puede ser algo real ni explicar la realidad. Se han interferido las dos esferas, lógica y ontológica.

14. Cfr. PSEUDO-PLUTARCO: *Stromateis*, II; DK 1 2a A 10.
15. Cfr. HIPÓLITO DE ROMA: *Refutación de todas las herejías*, 1 6 4; DK A 11.
16. Cfr. AECIO: II 20 1; DK A 21.

considerados como ruedas o círculos de fuego atravesados por aberturas a través de las cuales aparecen el Sol, la Luna y los astros. Las ruedas mismas no son visibles por hallarse rodeadas de niebla. Anaximandro desarrolló su concepción con cierto detalle y la aplicó a los cuerpos celestes en general. Su modelo de ruedas provistas de aberturas no sólo servía para explicar algunos movimientos aparentes de los cuerpos celestes, sino para explicar otros fenómenos que tienen lugar en los cielos. Hipólito de Roma[17] recoge la tesis de que las fases creciente y menguante de la luna obedecen a los procesos de apertura o cierre del orificio a través del cual se hace visible. La teoría de los círculos deja muchos problemas pendientes de solución: cabe preguntar, por ejemplo, cómo pueden verse el Sol y la Luna a través de los anillos opacos de los astros que se hallan más próximos a la Tierra. Sin embargo, la importancia de la teoría estriba en esto: es el primer intento de construir un modelo mecánico para describir por medio de él los movimientos de los cuerpos celestes y una diversidad de fenómenos que tienen lugar en los cielos.

En su conjunto, los méritos del sistema astronómico diseñado en el tiempo que va desde Pitágoras hasta Filolao no son escasos. Se presentarán, en consecuencia, los elementos del sistema pitagórico y se aludirá a su trayectoria histórica posterior: unos, los más inverosímiles, fueron abandonados (por ejemplo la «antitierra», y el fuego central); otros han muerto y renacido varias veces, reencarnados en distintos sistemas (por ejemplo, la Tierra esférica, excéntrica y planetaria); otros perduraron con modificaciones o desarrollos durante más de un milenio (la circularidad de las órbitas y la esfericidad de los orbes); y de otros, aún se nutre la ciencia (la convicción de que el Universo, aun siendo histórico y no cíclico, presenta algún tipo de regularidad que lo hace cognoscible).

La astronomía pitagórica era especulativa, igual que la de los jonios. Contiene importantes ideas que más tarde han renacido. Pero esas ideas se apoyaban muy poco en razones científicas serias, y estaban mezcladas con muchas conjeturas sin valor. Los pitagóricos creían que la Tierra era esférica. Ofrecían dos argumentos en apoyo de esa tesis: ante todo el argumento de la analogía del Sol y la Luna. El segundo argumento era de tipo mítico: la esfera, decían,

17. Cfr. Hipólito de Roma: *Refutación...*, op. cit., 1 6 5; DK A 11.

es la más perfecta de todas las figuras, más perfecta incluso que el dodecaedro. Por tanto, todos los cuerpos celestes tienen que ser esféricos. Como hemos dicho, se trataba de una ciencia en la que no había necesidad de mirar y ver el mundo.

Los pitagóricos pensaban además que la Tierra no era el centro de todas las cosas. Al igual que el Sol, la Luna y los planetas, la Tierra se mueve, según ellos, alrededor de un fuego central. Las órbitas eran necesariamente circulares, a causa de que el círculo es tan perfecto en el campo de las dos dimensiones como la esfera en el de tres. El Sol, la Luna, la Tierra, el fuego central y los cinco planetas entonces conocidos suman nueve elementos. Pero los pitagóricos estaban convencidos de que, aparte de las estrellas fijas, tenía que haber precisamente diez cuerpos celestes. Tenían un particular afecto por el número triangular diez. Consiguientemente añadieron a su sistema una imaginaria «antitierra». Creían que las distancias de los varios cuerpos celestes respecto del fuego central se encontraban en razones numéricas simples, y también que el sistema sentía música. Explicaban que no podemos percibir esta música de las esferas porque nuestro oído está acostumbrado a ella desde nuestro nacimiento. Sus tres ideas más importantes fueron: que la Tierra es esférica, que no está en el centro del Universo y que se mueve. La primera se generalizó entre los científicos griegos. Las otras dos no fueron tomadas realmente en serio hasta que Copérnico las resucitó en el siglo XV. Incluso entonces les resultó difícil imponerse [18].

Las posibilidades que la astronomía de los pitagóricos ofrece a la reflexión filosófica son también dignas de atención. Su sistema surge de modo claramente especulativo, conectado con ideas cosmológicas, cosmogónicas, metafísicas, estéticas, psicológicas, religiosas y morales. Los problemas empíricos que presenta y las vías de solución intentadas, mediante la introducción de hipótesis *ad hoc* o desplazamiento de la explicación de las anomalías a otra zona del saber, deben ser enfatizados.

El pluralista Anaxágoras [19] creía que el Sol era una masa de metal incandescente y que la Luna tenía montañas y valles igual que la

18. Cfr. ibídem, pp. 50-51.

19. Nacido en Clazomene, cerca de Mileto, Anaxágoras establece su escuela en Atenas, donde permanece 30 años, invitado por Pericles, del que era amigo y

Tierra. Notó que la parte iluminada de la Luna es siempre la que está enfrentada al Sol, y dedujo de ello que la Luna es fría y no tiene más luz que la que refleja del Sol. Esto le permitió una explicación correcta de las fases de la Luna, las cuales se deben a los cambios de posición de la Luna respecto del Sol y de la Tierra. También interpretó que los eclipses de Luna tienen lugar cuando el satélite se encuentra en la sombra de la Tierra, y los solares cuando la Tierra se encuentra en la sombra de la Luna.

Anaxágoras emitió también una ruda hipótesis nebular, afirmando que los cuerpos celestes se habían formado por condensación a partir de una masa caótica en remolino. Creía que había otros mundos habitados por seres vivos, además del nuestro. La realidad primera de la que todo procede sería una mezcla indefinida de infinitas sustancias, cada una de ellas ilimitadamente pequeñas en cantidad, invariables, inertes, cualitativamente distintas entre sí y eternas. Serían las semillas de todas las cosas, que el denominó «*Homeomerías*» (esto es, cosas que aun pudiéndose subdividir, siempre darían partes cualitativamente idénticas). Queda así explicado el origen de la pluralidad. ¿Pero cómo se explica el movimiento? ¿Cómo empezó a moverse esta masa compacta originaria de modo que las partículas fueran separándose y uniéndose para dar lugar a los distintos seres? Anaxágoras recurre a una causa exterior, el *entendimiento*, el *nous*, o mente que imprimió a esta masa inerte un movimiento de remolino. El recurso por parte de Anaxágoras al entendimiento abre perspectivas nuevas que más tarde serán recogidas por Platón y Aristóteles. En Anaxágoras aparece por vez primera, de modo explícito, la idea de Dios como principio rector del Universo. Esto parecía llevar a una concepción del orden del Universo como resultado de una inteligencia que actúa conforme a fines, de tal modo que el resultado de los procesos naturales sea siempre la consecución de lo mejor, de la máxima perfección y belleza.

El sistema de Anaxágoras contaba con más elementos que los de sus predecesores. No es necesario enumerar aquí todos ellos. Para apreciar su diversidad, bastará decir que entre esos elementos

maestro, hasta que es desterrado a Lámpsaco por impiedad, donde muere el año 428 a.C. Sus opiniones astronómicas eran materialistas.

se encontraban el fuego, la sangre, el plomo y también la mente. Anaxágoras pensaba que ésta última era un constitutivo de todos los seres vivos. Pero en la teoría recurría a la mente lo menos posible, prefiriendo explicaciones materiales cuando podía elaborarlas. Sócrates y Platón, para los cuales la mente era el elemento supremo de la realidad, tenían por esa razón un concepto más bien pobre de Anaxágoras.

Uno de los libros que más fuertemente impresionaron a Sócrates fue *La Mente*, cuyo autor era Anaxágoras. En ese libro se explicaba cómo los cambios se suceden en las diversas partes de la Naturaleza, en el cielo, en el aire, e incluso, en el cuerpo humano. El saber, por ejemplo, que las nubes siguen a los días calurosos, las lluvias a las nubes, que los días calurosos disminuirán las inundaciones y así sucesivamente, era no sólo interesante, sino verdadero. Esta secuencia parecía reflejar una mente superior que concertara y planeara todos estos cambios de un modo agradable y ordenado. La física de Anaxágoras revelaba en apariencia cosas incluso más recónditas. Él afirmó que la gran piedra negra que inesperadamente cayó sobre Aegospotami alrededor del año 464 a.C., era un pedazo de la Luna o del Sol o del algún otro astro. Evidentemente, esto resultaría mucho más agradable a cualquier mente deseosa de secuencias ordenadas que la posibilidad de que Júpiter o algún otro dios caprichoso arrojara una piedra desde el Monte Olimpo. A Sócrates le agradó mucho, probablemente tanto como a un estudiante de segundo año que por primera vez entienda la dinámica de la circulación atmosférica y los eclipses de la Luna y del Sol. La primera es una secuencia puramente temporal, o por lo menos así puede parecerlo; y la segunda es una mera relación espacial entre el Sol y la Tierra.

Anaxágoras, como veíamos, había admitido una pluralidad de partículas originalmente mezcladas en una masa compacta. Al no admitir el vacío, estas partículas quedaban «aprisionadas» en la masa originaria compacta e inerte. Admitido el vacío, por el contrario, los átomos pueden moverse libremente en él. La pregunta: ¿por qué y cómo se inició el movimiento? tiene sentido en el caso de Anaxágoras (lo inició el *Nous* o Entendimiento), pero no tiene sentido ninguno en el atomismo: el movimiento no se inició en ningún momento, los átomos se mueven eternamente en el vacío. Como Empédocles o

Anaxágoras, los atomistas Leucipo[20] y Demócrito[21] admiten la pluralidad del principio, pero lo consideran cualitativamente indiferenciado. Para ellos, el fundamento de todo lo real serían los átomos —elementos positivos de toda la realidad—. Los atomistas rehabilitan el vacío para poder explicar con estos dos elementos —átomos y vacío— el movimiento y la multiplicidad del mundo de los fenómenos. Los innumerables átomos se distinguen entre sí por su forma, situación y disposición. Estos átomos son imagen perfecta del Ser de Parménides. Carecen de cualquier propiedad que no sea la extensión. Así, cualquier nacer y perecer dependé del acercamiento o separación de los átomos, el cambio de una cosa se explica por el cambio de posición y situación de sus átomos. En ese nacer y perecer, en ese cambio, rige una necesidad (*anankhé*), precursora de la ley natural. El papel desempeñado por el vacío es decisivo. No solamente hace posible la pluralidad, sino también el movimiento.

La doctrina democrítea es como sigue: los átomos son indivisibles e indestructibles. Se mueven en todas direcciones en el seno de un espacio vacío. Todo lo que existe es átomo y vacío. Hay diferentes tipos de átomos, distinguibles por diferencias de forma, y todos los átomos son tan pequeños que escapan a la percepción sensible. Las cosas que vemos o tocamos se componen de átomos agrupados y ordenados. El cambio físico no es más que la redistribución de los átomos. No hay alteración en el átomo mismo. Una vez puestos los átomos en movimiento, enseñan los atomistas antiguos, sus movimientos ulteriores están determinados por leyes mecánicas inmutables. El estado del Universo en un momento determinado depende sólo de sus estados previos, y su futuro está determinado por su presente. El movimiento del átomo se mantiene uniforme hasta que choca —sin duda con otro átomo, puesto que la teoría niega la posibilidad de cualquier otra entidad con la que un átomo pueda chocar. De todas las ideas del

20. De Leucipo se sabe poco, excepto que era milesio y que floreció hacia el 440 a.C. Fue el creador de la escuela y de la doctrina atomista.

21. Demócrito, que llegó de Abdera (Tracia) y era un muchacho cuando Anaxágoras frisaba la vejez, desarrolló el sistema iniciado por Leucipo y lo dio a conocer. Visitó Atenas en tiempos de su contemporáneo Sócrates, pero consiguió escasa atención en la ciudad. Es posible que el desprecio del atomismo en Atenas se debiera a la influencia de Sócrates y de Platón, los cuales sin duda condenaban una concepción tan resueltamente materialista.

atomismo antiguo ésta de la uniformidad del movimiento del átomo es la más importante, pues constituye una anticipación mental de la ley de la inercia más tarde formulada por Galileo.

Los atomistas desarrollaron teorías análogas a las del materialismo del siglo XIX. No disponían de medios para probar experimentalmente sus opiniones, y éstas tenían en aquella época tan escaso fundamento como las de los demás especuladores griegos. Por tanto, debe considerarse puramente casual el que mucho de lo que los dos enseñaron haya resultado luego confirmado científicamente. No obstante, si la ciencia griega hubiera seguido la trayectoria trazada por los atomistas, habría avanzado mucho más rápidamente. Pero no debe asombrarnos que el atomismo fuera pasado por alto en el mundo griego. Por buena que sea, una teoría no es por sí misma de utilidad para la ciencia mientras sus cultivadores no se convenzan de que pueden usarla como hipótesis de trabajo. Y los atomistas griegos carecieron de los necesarios medios de persuasión. La teoría atómica nos parece plausible a nosotros a causa de que hemos sido educados en ella y hemos visto sus éxitos en la previsión de los fenómenos físicos. Pero seguramente es difícil imaginar una concepción que sea a primera vista menos aceptable por el sentido común. Leucipo y Demócrito no podían ofrecer razones convincentes en favor de su teoría, ni poseían tampoco el prestigio con que Platón y Aristóteles podían imponer sus opiniones, aun sin disponer de mejores razones que las de los atomistas[22].

2.1.2. *El sistema de Heráclides Póntico*

En la vía de desarrollo hacia el heliocentrismo se halla el sistema de Heráclides Póntico[23]. Heráclides simplificó ligeramente el

22. Cfr. HULL, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 64.

23. Heráclides de Heraclea (388-310), nacido en el Ponto, filósofo y matemático griego platónico de la primera generación de la Academia. Sustituyó a Platón durante el tercer viaje que éste realizó a Siracusa. Contemporáneo de Eudoxo, también se ocupó de astronomía, geometría y aritmética, además de escribir relatos literarios llenos de fantasía. Unos años después de la muerte de Platón, marchó a Heraclea, donde fundó una escuela. Aceptó algunas tesis de

sistema suponiendo que los planetas interiores, Mercurio y Venus, giraban alrededor del Sol, en vez de girar, como todo cuerpo celeste, alrededor de la Tierra. Así podía explicarse más convenientemente el movimiento aparente de esos astros. Heráclides sugirió además que la esfera de las estrellas fijas no se movía, y que el movimiento diurno de los cielos debía de ser una ilusión producida por la revolución de la Tierra alrededor de su eje.

Copérnico cita a Heráclides como precedente suyo en este punto. Se trata de un sistema mixto con una Tierra en el centro, pero animada de movimiento diario y un Sol girando en torno a la Tierra y en torno al cual giran, al menos, Mercurio y Venus. Se debe mencionar el parecido de este sistema con el que siglos más tarde propondría Tycho Brahe, así como la inseguridad de los historiadores acerca del número de planetas que giran en torno al Sol. Incluso se ha llegado a suponer que Heráclides propuso un sistema plenamente heliocéntrico. Milita en contra de esta opinión el poderoso argumento de la atribución de esta idea a Aristarco por parte de Arquímedes.

Es aconsejable introducir aquí en nota a pie de página, las nociones de *epiciclo*[24] y *deferente*[25]. Así, se puede entender cómo el Sol ocupa el centro de un deferente que conduce al epiciclo en que se halla, por ejemplo, Venus.

Demócrito al afirmar que el mundo se compone de corpúsculos libres en el espacio, con cuyo medio la divinidad ha construido el mundo. Sin embargo, para él, los astros son auténticas divinidades, como divino es el éter infinito que llena todo el cosmos y del cual proceden las almas. Pero, sin duda, lo más importante de Heráclides Póntico es su teoría astronómica según la cual la Tierra está en el centro del Universo, aunque es ella quien se mueve y gira en torno a su eje, permaneciendo fijo el resto del cosmos, a excepción de Venus y Mercurio, que giraban en torno al Sol, y de éste mismo, que giraba alrededor de la Tierra.

24. Del lat. *epicyclus*, este vocablo designaba el círculo que se suponía descrito por un planeta alrededor de un centro que se movía en el deferente.

25. Aplícase al círculo que se suponía descrito alrededor de la Tierra por el centro del epiciclo de un planeta.

2.1.3. *«El problema de Platón»*[26]

En un texto de Gémino se formula explícitamente, quizá por primera vez, el llamado «problema platónico» para la astronomía: la reducción de las trayectorias aparentes a movimientos circulares y uniformes. Platón se sentía perplejo ante la irregularidad del movimiento aparente de los planetas. El único tipo de movimiento que le parecía respetable era el circular y uniforme. Platón no habría podido creer que pudieran existir en los cielos otros tipos de movimiento. Pero el movimiento aparente de un planeta está muy lejos de ser uniforme. A esta dificultad real, Platón añadió una dificultad artificial ya considerable, al insistir en que la Tierra tenía que estar inmóvil y en que todos los movimientos tenían que ser combinaciones de movimientos circulares uniformes.

Nos enfrentamos aquí con la cuestión historiográfica de si realmente es atribuible a Platón o no la formulación de dicho problema. Esta discusión nos llevará a problemas más específicamente filosóficos, pues en un fragmento de *República* (526e-531b) aparece sugerida como tarea propia del astrónomo la de buscar el orden geométrico subyacente a las trayectorias aparentes, la de «salvar los fenómenos». No obstante, el llamado problema platónico no se expresa en ninguno de sus textos de modo explícito. Se entiende entonces la pluralidad de interpretaciones que admite (e históricamente ha tenido) la expresión con que Simplicio describe el supuesto programa platónico: «salvar los fenómenos».

2.1.4. *Las esferas homocéntricas de Eudoxo y Calipo*

El programa platónico para la astronomía, ya fuese formulado por Platón, por algún pitagórico anterior o por Eudoxo de Cnido, fue seguido por el propio Eudoxo. Aquí nos encontramos ya ante la

26. Los Diálogos de Platón necesarios para este tema son *Timeo, República, Leyes y Epinomis*; remitimos a la edición de los *Diálogos* publicada en Gredos. Sobre la ciencia en Platón nos ha parecido muy esclarecedor FRIEDLANDER, P.: *Platón. Verdad del ser y realidad de la vida*, Tecnos, Madrid, 1989; ed.or.: De Gruyter, 1964.

primera teoría astronómica completa y cuantificada para dar cuenta, con intención de precisión, de los movimientos de los astros. Se explicarán, por tanto, el sistema de las esferas homocéntricas de Eudoxo así como las modificaciones introducidas en el mismo por Calipo.

Eudoxo intentó elaborar una solución detallada del problema partiendo de todos esos postulados. El mecanismo adoptado por él es un sistema de esferas que giran uniformemente unas dentro de otras. La esfera más externa, F, con centro en la Tierra, T, gira diariamente de este a oeste alrededor de un eje N-S. Esta es la esfera de las estrellas fijas. Los puntos N y S son respectivamente los polos celestes norte y sur, y la línea N-S pasa por los polos de la Tierra. Se necesitaban con este sistema nada menos que cuatro esferas para dar a un planeta —Júpiter, por ejemplo— un movimiento más o menos parecido al correcto. Cada planeta requería una serie de esferas semejante a la que hemos descrito para Júpiter. Finalmente, Eudoxo concluyó su sistema con 27 esferas concéntricas: una para las estrellas fijas, tres para el Sol, tres para la Luna y cuatro para cada planeta.

Esta teoría abandonó la tesis pitagórica de que la Tierra podía ser móvil y la fijó férreamente en el centro de todas las cosas. Pero hay que tener en cuenta que no existían entonces razones de peso para pensar que esa idea pitagórica tuviera más fundamento que cualquier otra de sus fantásticas especulaciones. El gran mérito de Eudoxo consistió en que, por vez primera, elaboró con todo detalle un modelo de los movimientos de los astros, respetando constantemente los resultados de la observación. El resultado fue algo completamente nuevo que implicaba una habilidad matemática de primera clase, así como una comprensión correcta del verdadero lugar de la matemática en el edificio de la ciencia. Eudoxo expresa los resultados de la observación en forma manejable y ordenada, abandonando el hábito de especular en astronomía por la mera razón raciocinante.

Calipo de Cícico, a fin de explicar el movimiento de los planetas alrededor de la tierra y, teniendo en cuenta que el movimiento de éstos se concebía ligado a diversas esferas, postuló que el número de esferas debía ser muy superior al de los planetas. Sólo de esta manera, se podía explicar el movimiento aparente de los planetas y

se exigía que cada planeta estuviese movido por diversas esferas, que darían explicación de las apariencias contrarias a un movimiento circular perfecto y uniforme alrededor de la Tierra. En el cómputo del número de esferas, Calipo perfeccionó el sistema ideado por Eudoxo, añadiendo dos esferas al Sol, dos a la Luna y una más a cada uno de los restantes planetas, con lo que el número de esferas concéntricas llegó a treinta y cuatro, contando la de las estrellas fijas. Pero el perfeccionamiento de las observaciones obligó más tarde a aumentar el número de esferas y la complicación del sistema: Aristóteles necesitaba 55 esferas para explicar el «sistema terrestre».

2.1.5. *Las esferas retrógradas de Aristóteles*

Partiendo de los cálculos de Calipo, Aristóteles señala la existencia de cincuenta y cinco motores inmóviles, además del motor inmóvil de la primera esfera, ya que, a las treinta y tres esferas de Calipo correspondientes a los planetas, el estagirita añadió otras veintidós esferas en sentido contrario, pensadas para evitar los efectos perturbadores del movimiento de unas esferas con respecto a las de los planetas inmediatamente contiguos.

Las modificaciones propuestas por Aristóteles para el sistema de Calipo tienen una gran importancia desde el punto de vista del estudio filosófico de la ciencia, ya que, en definitiva, no cambian en nada el sistema en el plano fenoménico o predictivo y atienden únicamente a la voluntad de realismo, a la necesidad intelectual sentida por Aristóteles de concordar ideas físicas propias (acerca de la ausencia de vacío y de la transmisión del movimiento) con la mejor astronomía del momento. El resultado que se perseguía era que el sistema de las esferas homocéntricas pudiese ser visto como una explicación realista de la apariencia de los cielos.

Se puede comentar la ganancia en coherencia y pérdida en simplicidad que supuso la introducción de las modificaciones aquí estudiadas. También cabe apuntar que la precisión predictiva del sistema distaba de ser perfecta y que algunos fenómenos permanecían sencillamente inexplicados. Es el caso de la variación del brillo de algunos planetas. Es este un buen ejemplo de cómo las deficiencias

de un sistema se pueden orillar como anomalías mientras no se formule una teoría (o programa) alternativa que dé cuenta de ellas. Se verá más adelante cómo precisamente esto es lo que sucede al ser propuesta la hipótesis heliocéntrica. De hecho, la astronomía de las esferas homocéntricas fue recuperada en el Renacimiento por algunos aristotélicos, pero no fue tomada en consideración precisamente por su ineficacia para justificar las variaciones en el brillo y tamaño aparente de algunos astros. También es buen punto para reparar en que la discusión entre teorías alternativas es más bien una discusión entre tradiciones alternativas que se prolonga largamente en el tiempo. Veremos que la polémica entre la tradición geocentrista y heliocentrista responde efectivamente a esta caracterización. Sostenemos que se pueden apreciar como razonables gran parte de las decisiones de los científicos que intervinieron en ambas tradiciones. Sobre este asunto volveremos, una vez que nos hayamos referido a Aristarco.

2.1.6. *El heliocentrismo de Aristarco*

Se estudiarán en este apartado las mediciones astronómicas formuladas por Aristarco de Samos. Pero el centro de interés de este pensador no puede ser sino la explicación de su sistema heliocéntrico. Se trata, según informa Arquímedes, del primer sistema heliocéntrico propuesto seriamente por un astrónomo competente, que, sin embargo, no tuvo seguidores (salvo Seleuco del Tigris). Es importante mostrar cuáles pudieron ser los argumentos, razonables dado el contexto, en su contra: la ausencia de paralaje observable y la falta de acuerdo o bien con la mecánica vigente o bien con los fenómenos observables (la Tierra al desplazarse debería producir un viento que no se observa, laś trayectorias de los proyectiles serían también ciertamente extrañas...).

Sin embargo, existieron también buenas razones para, al menos, intentar la vía heliocéntrica. Concretamente: permitía ofrecer explicación de un fenómeno que se había mostrado intratable, a saber, la variación del brillo en algunos astros. Desde este momento, la tradición geocentrista se vio obligada a tomar en consideración este fenómeno. En efecto, la utilización de epiciclos y excéntricas

permite una variación en la distancia Tierra-planeta, y con ello se abre una vía para la explicación de la variación del brillo.

Aristarco[27] expone su concepción astronómica en un libro titulado *Sobre el tamaño y las distancias del Sol y de la Luna*. Empieza por aceptar la explicación de las fases de la Luna ofrecidas por Anaxágoras. Aseguraba que el Sol dista de la Tierra mucho más que la Luna, y también que el Sol tenía que ser mucho mayor que la Luna, puesto que ambos astros parecen del mismo tamaño a pesar de sus diferentes distancias. Según Aristarco, el diámetro del Sol es unas 20 veces mayor que el de la Luna; en realidad es unas 400 veces mayor.

El eclipse de Luna es observable sólo cuando el astro penetra en la umbría o cono de sombra. Gracias a la gran distancia del Sol, los rayos que proceden de diversas zonas de su superficie, son aproximadamente paralelos. El cono de sombra disminuye o se estrecha muy poco a poco, y la sombra proyectada por la Tierra sobre la Luna durante un eclipse tiene un diámetro aproximadamente igual al de la Tierra. Comparando el radio aparente del disco lunar con el radio de la sombra de la Tierra, Aristarco estimó que el diámetro de la Luna debía de ser aproximadamente la mitad del de la Tierra. La proporción real es de un cuarto aproximadamente. También en este cálculo fue su método correcto, pero carecía de técnica para aplicarlo con exactitud.

Cuando Anaxágoras dijo que el Sol era tan grande como el Peloponeso, los griegos creyeron que exageraba. Por eso fue tan importante el último descubrimiento de Aristarco. Su tesis fue la primera manifestación del reconocimiento de la insignificancia astronómica de la Tierra. La idea de que la Tierra giraba alrededor del Sol, en vez de ser éste el que girara alrededor de la pequeña Tierra, tenía que nacer en la mente del hombre que se había formado por vez primera

27. Aristarco de Samos (s. III a.C.), era alejandrino en un sentido amplio. Discípulo de Estratón de Lámpsaco, se adhirió a la orientación científico-naturalista que éste había conferido a la escuela peripatética. Fue, sin duda, el astrónomo más importante del período alejandrino, y sus descubrimientos se conocieron muy pronto en la ciudad de los ptolomeos. Su fama se debe principalmente a la formulación de la hipótesis heliocéntrica, rápidamente abandonada por la astronomía clásica a favor del geocentrismo ptolemaico.

una idea cualitativamente correcta de sus dimensiones respectivas. Por el testimonio de Arquímedes, se sabe que Aristarco afirmó que el Sol era inmóvil en relación con las estrellas fijas y que la Tierra se movía a su alrededor en una circunferencia[28]. El Sol sería el centro del cosmos; la superficie externa, el orbe de las estrellas fijas; y el interior estaría formado por siete órbitas concéntricas: Mercurio, Luna, Tierra, Marte, Venus, Júpiter y Saturno, de distintas velocidades y dimensiones.

Parece que también pensaba en una rotación diaria de la Tierra alrededor de su eje Norte-Sur. De este modo, podía explicarse por qué los planetas variaban de brillo y de trayectoria, al ser vistos desde la Tierra. Sin embargo, el paradigma heliocéntrico no prosperó, pues se oponía tanto a la física de su tiempo, como al sentido común. Por su valor intrínseco y por su ulterior influencia, la obra de los alejandrinos en astronomía y matemáticas fue más importante que todo lo demás que hicieron. Era tan moderna de espíritu, que los grandes científicos de los siglos XVI y XVII pudieron seguir con toda naturalidad la obra de los alejandrinos completándola y tomándola en el estado en que éstos la habían dejado.

2.1.7. *Los epiciclos y excéntricas de Hiparco*

Las nociones de *epiciclo* y *deferente* ya han sido presentadas al hilo de la exposición del sistema de Heráclides. En este apartado se analizará el sistema geocéntrico de Hiparco, con sus teorías para el Sol, la Luna y el resto de los planetas, sus avances en el plano observacional (invención de la dioptría, fijación de la excentricidad del radio de revolución del Sol y de su punto de apogeo, elaboración de un catálogo de más de 1.000 estrellas), y su descubrimiento del fenómeno llamado *precesión de los equinoccios*. La actividad de Hiparco se ubica dentro del programa general marcado por el problema platónico y dentro de la exigencia pitagórica de geometrización del cosmos. Destacaremos la importancia del descubrimiento de la *precesión*, un movimiento que tiene un ciclo de casi 25.000 años. Nos interesa dicho estudio para captar la dependencia

28. Cfr. HULL, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 103.

que la astronomía tiene de una larga tradición observacional y de un sistema aceptable de transmisión de ella.

Hiparco[29] floreció aproximadamente hacia el 140 a.C. Estudió en Alejandría, pero hizo sus descubrimientos en Rodas. Es el rival de Aristarco entre los grandes astrónomos antiguos. Cada uno de ellos ha brillado en su propio estilo. Aristarco era teórico más agudo. Hiparco era observador preciso y fecundo. Sus medidas angulares se nos dan con un margen de error de 1/15 de grado, lo que es asombroso teniendo en cuenta los instrumentos de medida de que disponía. Hiparco midió la inclinación de la eclíptica más precisamente que Eratóstenes[30]. Determinó la duración del año con un error de seis minutos. Dedicó mucho tiempo a establecer un catálogo de 1.080 estrellas fijas, con sus posiciones relativas. Este último trabajo es de admirable detalle, pues el número de estrellas fijas que pueden verse desde Rodas sin ayuda óptica no debe rebasar mucho el de 1.000.

Lo que le movió a establecer una lista de estrellas fue la aparición de una brillante estrella nueva. El fenómeno refutaba directamente la teoría aristotélica de que el ciclo de las estrellas fijas no sufre cambio. La reacción de Hiparco da testimonio de la madurez del espíritu científico de los alejandrinos. La observación de las estrellas fijas posibilitó a Hiparco su más famoso descubrimiento. El

29. Hiparco de Nicea (c. 190 a.C.- c. 120 a.C.), considerado como uno de los más importantes astrónomos de la antigüedad, determinó el tamaño del Sol y de la Luna y midió la paralaje de esta última. Se le debe el establecimiento de la trigonometría esférica, así como la invención de un astrolabio que permitía la determinación directa de las latitudes y longitudes de los astros. Confeccionó además el primer catálogo de estrellas, que incluía una propuesta de clasificación de dichos objetos de acuerdo con su brillo. Enunció también la teoría de las deferentes y epiciclos para justificar las órbitas de los planetas.

30. Eratóstenes (276 a.C.-196 a.C.) era bibliotecario en la ciudad griega de Alejandría, en Egipto. Desarrolló un experimento para medir la circunferencia de la Tierra, basado en la observación de que el Sol iluminaba el fondo de un pozo, en Asuán, al mediodía del solsticio de verano. Descubrió que a la misma hora, el ángulo era en Alejandría, unos 800 kilómetros al norte Asuán, de cerca de 1/50 de círculo. Dedujo que la distancia de Alejandría a Asuán debía de ser de 1/50 de circunferencia de la Tierra, que calculó en 40.000 kilómetros. Esa conclusión estaba asombrosamente cerca de la verdad, ya que los cálculos actuales han establecido que la cifra es 40.007 km.

polo, alrededor del cual parecen girar las estrellas, es aquel punto de los cielos hacia el cual apunta el eje de la Tierra. Anteriores astrónomos habían fijado las posiciones de algunas estrellas fijas. Cuando Hiparco comparó sus resultados con los de aquellos anteriores astrónomos, halló que la posición del polo respectivo de aquellas estrellas había cambiado. Había descubierto, en efecto, que la dirección del eje de la Tierra cambia lentamente en el espacio. Este movimiento se llama «precesión».

El nivel de la astronomía teórica y observacional de Hiparco sólo se recupera un par de siglos más tarde de la mano de Ptolomeo. Pero entre uno y otro, cabe hacer mención de las aportaciones de algunos autores afines a la tradición estoica y de la «astrofísica» de Plutarco.

2.1.8. *La tradición estoica y la «astrofísica» de Plutarco*

Aludiremos en este apartado a una serie de ideas atribuibles a Plutarco[31] que tienen un gran interés histórico. Se trata de una serie de críticas a la cosmología aristotélica vigente que sugieren puntos de vista que no serán planteados de nuevo y desarrollados hasta la época de la revolución científica. Lo más destacado son los argumentos (mecánicos, ópticos y cosmológicos) que aduce en pro de la identidad de naturaleza entre la Tierra y la Luna. De haber sido aceptados, se habría anulado la distinción entre mundo sublunar y supralunar en favor de sólo una legalidad. Sin embargo, ni Plutarco ni ningún otro estudioso en la Antigüedad logró formar un sistema apto para sustituir la física y la cosmología aristotélicas y la astronomía geocéntrica. El «retraso» en esta línea de desarrollo, dado el nivel crítico que se había alcanzado ya en tiempos de Plutarco, sólo es explicable por factores externos a la propia ciencia: por las múltiples veces que la tradición antigua hubo de ser traducida, asimilada, comentada y revisada, por diversos pueblos durante la Edad Media.

31. En SAMBURSKY, S.: *El mundo físico de los griegos*, Alianza, Madrid, 1990, existe una selección suficiente de fragmentos del libro de Plutarco *Sobre la cara de la Luna*. En general, el libro de Sambursky tiene un gran interés para nuestro tema.

2.1.9. *La astronomía de Ptolomeo*

El primer problema para el historiador de la ciencia consiste en deslindar las aportaciones de Ptolomeo de las de Hiparco e incluso de astrónomos anteriores. Esta labor no siempre es factible, pues la obra de Ptolomeo ejerció lo que podríamos llamar un «efecto resumen», de modo que escritos anteriores se consideraron ya contenidos en ella o superados por ella y dejaron de copiarse. Se puede mencionar el fenómeno paralelo que observamos en zoología con la obra de Aristóteles, en botánica con la de Teofrasto o en geometría con la de Euclides. Este esquema reiterado nos habla de los equilibrios necesarios entre tradición e innovación en función de los límites a que están sometidos los recursos disponibles y los soportes de información.

Entraremos, tras esta digresión historiográfica y filosófica, en la explicación del sistema ptolemaico y de los recursos geométricos utilizados en él. Repararemos en la utilización de un nuevo recurso geométrico, el *ecuante*, que tendrá importancia en la revolución copernicana, ya que, en opinión de Copérnico, rompe con las exigencias del programa Platónico. Se apreciará, por tanto, hasta qué punto este programa marcó el desarrollo de la astronomía geocentrista tanto como la reforma heliocentrista. Comentaremos no sólo las ideas contenidas en el Almagesto, sino también las que Ptolomeo expone en *Las Hipótesis de los planetas*[32], obra de considerable interés filosófico por cuanto en ella se aborda la contrapartida física del sistema geométrico expresado en *Almagesto*.

Claudio Ptolomeo[33] vivió durante el siglo II d.C. y su papel dentro de la astronomía es paralelo al de Euclides en matemáticas.

32. De *Las hipótesis de los planetas* de Ptolomeo (1987) existe edición accesible en español.

33. Claudio Ptolomeo (siglo II). Astrónomo, físico y filósofo alejandrino, probablemente vivió toda su vida en Alejandría, donde enseñó y efectuó observaciones astronómicas entre los años 127 al 147, aunque poca cosa más se sabe de su vida. Escribió un libro conocido como *Tetrabiblon* que fue el tratado de astrología más influyente en la Antigüedad. Pero su obra más importante fue la *Composición matemática*, conocida a partir de su traducción árabe como el *Almagesto*. En *Los armónicos* también escribió sobre acústica y elaboró una teoría numérica de la música. Así mismo escribió sobre óptica y sobre geografía y su *Guía geográfica*

En su obra *Composición matemática*, conocida como «Almagesto» por la traducción árabe («el gran libro» o «el más grande»), recoge todo el mundo científico cosmológico que le precede, creando la gran síntesis que ha de destruir Copérnico con su revolución en el siglo XV. Ningún sistema —aparte del de Euclides— ha durado tanto. Dentro del paradigma platónico y siguiendo la delimitación de la ciencia aristotélica, recoge, organiza y sintetiza toda la teoría cosmológica, conocida como teoría de deferentes y epiciclos, que puede rastrearse desde el siglo II a.C., con autores como Heráclides, Hiparco, etc.

Al sustituir las esferas de Eudoxo por un sistema más flexible de círculos, Ptolomeo planteó una serie de círculos excéntricos, con la Tierra cerca de un centro común, para representar los movimientos generales hacia el este alrededor del zodíaco a diferentes velocidades del Sol, la Luna y los planetas. Tal sistema nace, por tanto, como alternativa al de las esferas homocéntricas de Platón y Eudoxo, y como consecuencia del intento de explicar las irregularidades de los planetas en su movimiento de retrogradación. El problema, en rigor, tiene dos facetas: por un lado, el parecer que los planetas retroceden y, al mismo tiempo, el hecho de que parezcan brillar más.

Para explicar las variaciones periódicas en la velocidad del Sol y la Luna y los retrocesos de los planetas, Ptolomeo postuló la creación de dos circunferencias por cada planeta, una amplia, cuyo centro es la Tierra (llamada «deferente») y otra de giro sobre un punto imaginario dentro de la primera (llamada «epiciclo»). Mediante la elección adecuada de los diámetros y las velocidades de los dos movimientos circulares atribuidos a cada cuerpo se podía representar su movimiento observado. En algunos casos se necesitaba un tercer cuerpo.

Esta teoría, muy resumida, permitía la explicación de los dos problemas de la retrogradación, pero planteaba otros distintos den-

fue reimpresa hasta el siglo XVI. En el aspecto filosófico, sus obras son muestra del sincretismo que dominaba su época, de manera que, aunque su orientación central es aristotélica, también se hallan abundantes influencias del estoicismo (especialmente a través de Posidonio), el platonismo y el neopitagorismo. Además de las obras mencionadas escribió: *Hipótesis de los planetas* y *Las fases de las estrellas fijas*.

tro de la propia teoría que la hacían no encajar totalmente con los datos observables. Así, el movimiento del Sol sobre la elíptica es ligeramente más rápido en invierno que en verano, y para sortear la dificultad se plantearon una serie de hipótesis *ad hoc*: 1ª. Un epiciclo menor para el Sol. 2ª. Un deferente cuyo centro no sea la Tierra (que geométricamente es el equivalente al epiciclo menor), cuyo nombre es «excéntrica». 3ª. La teoría de los ecuantes, propia de Ptolomeo, en la que se dice que la velocidad de la deferente no es igual con respecto al cuerpo geométrico, sino con respecto a un punto denominado «ecuante»[34].

La idea fundamental (la idea de un cuerpo que se mueve en un círculo cuyo centro se mueve en otro círculo) se debía a Hiparco, igual que muchas de las observaciones correctamente recogidas por su teoría. Pero Hiparco mismo no elaboró el detalle de la teoría de los epiciclos más que para el Sol y la Luna. Por eso, el sistema se llama «ptolemaico» con justicia, pues Ptolomeo fue el que ajustó los epiciclos planetarios hasta que recogieran exactamente los hechos observados y el que escribió la descripción completa de la teoría.

Ésta fue descrita por Ptolomeo en su gran obra, el *Almagesto*, en la que elaboró y describió de manera completa el sistema astronómico geocéntrico que estuvo vigente hasta Copérnico. Otra pensadora que, como Ptolomeo, mantuvo viva la tradición de la astronomía griega en Alejandría en los primeros siglos de la era cristiana, fue Hipatia, discípula de Platón. Escribió comentarios sobre temas matemáticos y astronómicos y está considerada como la primera científica y filósofa de Occidente.

2. 2. La biología griega

Dedicaremos un apartado a los precedentes de la biología aristotélica dentro de la cultura griega, y un segundo a la propia biología de Aristóteles. El objetivo de estos apartados, además del inte-

34. El ecuante es un punto excéntrico al círculo deferente, que se convierte en el punto en torno al cual gira un planeta (por ejemplo, Júpiter) alrededor de la Tierra.

rés que pueda tener en sí misma la biología griega y la aristotélica en particular, es doble. Por una parte, facilitarán la exposición posterior de la biología del diecinueve, por otra, nos ayudarán a plantear la filosofía de la ciencia de Aristóteles en contraposición con su práctica científica. De dicho contraste pueden emerger consecuencias filosóficas interesantes.

2.2.1. *La biología griega anterior a Aristóteles*

La obra biológica previa a la aristotélica se refleja, de modo sumario, en los siguientes tópicos:

a) Conocimientos populares obtenidos en la práctica de la pesca, caza, agricultura, cría de ganado, muchas veces conservados en obras de arte (decoración de ánforas, literatura homérica...), sabiduría popular griega sobre los caracteres de los animales, y medicina y farmacia popular griega cuyos orígenes hay que buscar en los conocimientos de los recolectores de raíces medicinales (*rizotomoi*) y vendedores de remedios (*pharmakopolai*).

b) Primera historiografía jonia, con sus observaciones geográficas y etnográficas ligadas al comercio, colonización y primeros viajes de exploración. Cabe mencionar, en especial, a Demócrito, Herodoto y Ctesias. El saber biológico obtenido durante estos viajes se incorporaba a los periplos o descripciones de costas.

c) Los escritos de los filósofos presocráticos. Existe una auténtica biología presocrática, cargada de implicaciones filosóficas que esperan ser rescatadas del olvido, pero que Aristóteles conoció muy bien. Hay que destacar a Anaximandro de Mileto, Jenófanes de Colofón, Pitágoras y el pitagórico Alcmeón de Crotona, Parménides, Empédocles de Acragas, Anaxágoras, Diógenes de Apolonia y Demócrito de Abdera.

d) Los estudios clasificatorios que se llevaron a cabo en la Academia, bajo la dirección de Platón y Espeusipo, muy criticados por el propio Aristóteles.

e) La medicina científica griega, entre la que destaca la escuela hipocrática.

f) Las doctrinas sobre la procreación y la herencia debidas a varios de los presocráticos y a médicos como Pólibo o Hipón de Regio.

g) Los escritos sobre cría y selección de caballos, las obras sobre dietética y la literatura botánica especializada.

Muchas de las teorías particulares que los filósofos presocráticos propusieron en relación con fenómenos biológicos, fisiológicos y médicos, se basaban en opuestos. Hay ejemplos notables entre las teorías ofrecidas para explicar la diferenciación sexual. Parménides mantuvo probablemente la opinión de que el sexo del niño viene determinado por el lugar que ocupa en el lado derecho o en el lado izquierdo del útero de la madre (la derecha corresponde al sexo masculino; la izquierda, al femenino)[35]. Empédocles parece haber sostenido que el factor determinante es la temperatura del útero en el momento de la concepción del embrión (los embriones masculinos se forman cuando el útero está más caliente; los femeninos, cuando está más frío)[36]. Anaxágoras hace una tercera sugerencia, la de que el factor predominante es el lado desde el que se ha secretado el semen del progenitor masculino (el derecho se reserva una vez más para los varones; el izquierdo, para las hembras)[37].

Fue un lugar común de la teoría médica griega la opinión de que la salud consiste en el equilibrio entre ciertos factores opuestos existentes en el cuerpo. Una doctrina así parece haber sostenido Alcmeón (s. VI a.C.), pues Aecio informa que este autor mantuvo que la salud estriba en la isonomía o «iguales derechos de factores opuestos diversos en el cuerpo: húmedo-seco, frío-calor, amargo-dulce, etc.», y que la enfermedad proviene de la monarquía o «gobierno supremo» de uno de ellos. El término «isonomía» se asocia a menudo con ideales democráticos, lo que no nos debe llevar necesariamente a inferir del uso de ese lenguaje que Alcmeón fuera un demócrata o estuviera apelando encubiertamente a la democracia. Sencillamente, como advierte Lloyd, no tenemos evidencia de sus inclinaciones políticas en ningún sentido[38].

35. Cfr. PARMÉNIDES: *De la Naturaleza*, en KIRK, G.S. y RAVEN, J.E.: *Los filósofos presocráticos*, op. cit., frag. 17.

36. Cfr. EMPÉDOCLES: *De la Naturaleza*, en *Los filósofos presocráticos*, op. cit., frag. 65 y 67.

37. Cfr. ARISTÓTELES: *Sobre la generación de los animales*, 763 b 30 ss.

38. Cfr. LLOYD, G.E.R.: *Adversaries and Authorities. Investigations into Ancient Greek and Chinese Science*, op. cit., p. 131.

La medicina antigua está dominada por la figura de Hipócrates de Cos. Nació Hipócrates el 460 a.C., de tal modo que fue contemporáneo de Pericles, Sócrates y Platón y algo posterior a Empédocles. Hipócrates creía ante todo en la importancia del estudio clínico, en la observación paciente a la cabecera del enfermo. Pensaba que el cuerpo estaba hecho con los cuatro elementos de Empédocles: tierra, aire, agua y fuego. Con esos elementos estaban asociados los cuatro humores: bilis negra, bilis amarilla, sangre y flema. Esos humores existen en el cuerpo en ciertas proporciones, y cada uno en su lugar. La enfermedad consiste en la desproporción, el desplazamiento o la impureza de los humores.

El cuerpo tiene una tendencia natural a curarse por sí mismo, eliminando humores superfluos, desplazados o impuros. La enfermedad se hace grave sólo cuando esos humores no pueden ser eliminados con la rapidez suficiente. El médico, dice Hipócrates, no puede eliminar la malformación originaria de los humores. Su tarea consiste en vigilar el curso de la enfermedad, observar cómo la naturaleza intenta liberarse de los humores perjudiciales y apoyarla entonces intentando multiplicar sus esfuerzos mediante la administración de los medicamentos o del tratamiento adecuados. El elemento esencial del éxito es la oportunidad de la acción del médico en cada fase de la enfermedad. El método tiene que identificar el momento en que la enfermedad hace crisis mediante la observación cuidadosa de los síntomas del paciente; en ese momento su ayuda sería sumamente eficaz. En resolución, el médico tiene que sorprender el momento en que la naturaleza está haciendo su esfuerzo decisivo, y ayudarla enérgicamente en él.

Hipócrates prestó también alguna atención a la medicina preventiva, prescribiendo una dieta adecuada y ejercicio como medios de evitar la enfermedad. Su práctica, que realmente manifiesta la mano maestra del gran artista de la ciencia, estaba tajantemente basada en la observación, eliminando tanto la superstición cuanto la común tendencia griega a establecer principios generales aventurados. Tenía la flexibilidad y la sensibilidad suficientes para recoger los cambios de situación, virtudes que son características de la medicina propiamente científica. Su medicina fue efectivamente la creación más científica de la época.

Los tratados hipocráticos hicieron amplio uso de los pares de opuestos en teorías y explicaciones y suministran muchos ejemplos

de teorías que presentan una configuración general similar. Hipócrates propone una teoría cosmológica basada en lo caliente, lo frío, lo húmedo y lo seco. El autor afirma que la generación sólo puede tener lugar cuando esos opuestos se hallan debidamente equilibrados y que, al morir, cada uno de los cuatro opuestos coexistentes en el cuerpo retorna a su elemento afín, «lo húmedo a lo húmedo, lo seco a lo seco» [39].

Sobre la dieta I es una obra, entre otras varias, que formula teorías acerca de los elementos de que se componen nuestros cuerpos. Su autor dice que todos los seres vivos están hechos de Fuego y Agua, siendo el primero caliente y seco (aunque «hay humedad en el Fuego»), y la segunda fría y húmeda (si bien «hay sequedad en el Agua»). Incluso en *Sobre la medicina antigua*, un tratado que impugna el uso en medicina de teorías basadas en lo caliente, lo frío, lo húmedo y lo seco, se sostiene que el cuerpo consta de componentes de muchos tipos, entre los que el autor incluye pares de opuestos tales como lo dulce y lo amargo, lo astringente y lo insípido.

2.2.2. *La obra biológica de Aristóteles* [40]

Aquí se estudiarán las teorías biológicas de Aristóteles [41], que abarcan desde el terreno de la anatomía, fisiología, reproducción y

39. CORPUS HIPOCRÁTICO: *Sobre la naturaleza del hombre*, c. 3. L VI 36 17 ss.

40. Acerca de las obras científicas de Aristóteles es útil J. MOSTERÍN: *Historia de la Filosofía*, vol. IV, Alianza, Madrid, 1984. En especial, para la biología, puede verse DEVEREUX, D. y PELLEGRIN, P., (eds.): *Biologie, Logique et Métaphysique chez Aristote*. C.N.R.S., París, 1990; GOTTHELF, A. y LENNOX, J. (eds.): *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987; A. MARCOS: *Aristóteles y otros animales. Una lectura filosófica de la Biología aristotélica*, prefacio de G.E.R. Lloyd, P.P.U., Barcelona, 1996; y JAHN, I., LOTHER, R. y SENGLAUB, K.: *Historia de la biología*, Labor, Barcelona, 1989.

41. Aristóteles (Estagira, 384 a.C.-Calcis, 322 a. C.), polifacético pensador griego del siglo IV a.C., destacó por la amplitud de sus intereses y por el alcance de sus logros. Fue él quien inventó la lógica formal. Sus contribuciones a la filosofía de la ciencia, a la filosofía del lenguaje y a la filosofía de la mente fueron fundamentales, al igual que lo fueron sus trabajos en ética, política y metafísica. Su cosmología y su filosofía natural probablemente han ejercido más influencia

etología de los animales, hasta ciertas ideas sobre ecología. Para explicar estas cuestiones tendremos que referirnos a los tratados *Sobre las partes de los animales*, *Sobre el movimiento de los animales*, *Sobre la locomoción de los animales*, *Sobre la generación de los animales*, *Sobre el alma*, *Historia de los animales* y *Parva Naturalia*. Gran parte de lo mejor de Aristóteles se encuentra en el terreno de la biología. Fue ésta la primera biología teórica importante y sus grandes trazos siguieron influyendo sobre el desarrollo de esta ciencia hasta el siglo XIX. Éste fue el único campo en el que realmente hizo uso de la observación. Después de abandonar la Academia platónica y antes de convertirse en preceptor de Alejandro, pasó bastante tiempo en el Asia Menor estudiando y disecando animales y plantas. Estudió también embriología y el problema de la herencia. Escribió luego sobre diversos temas zoológicos y botánicos. Sus conocimientos son considerablemente precisos cuando se basan en observaciones personales suyas, pero admitió además algunas observaciones de menor confianza, por testimonio de los acompañantes de Alejandro en las campañas de Oriente.

De la obra aristotélica conservada, una gran parte está constituida por escritos de carácter biológico. Tres de ellos son grandes tratados a los que solemos referirnos por el nombre latino: *Historia Animalium* (Historia de los animales), *De Partibus Animalium* (Sobre las partes de los animales) y *De Generatione Animalium* (Sobre la generación de los animales). A éstos hay que añadir el tratado *De Anima* (Sobre el alma), que puede ser considerado como un puente entre la biología general, y la metafísica y la ética. Conservamos también dos pequeñas monografías: De *Incessu Animalium* (Sobre la locomoción de los animales) y *De Motu Animalium* (Sobre el movimiento de los animales).

Historia Animalium[42], con sus diez libros, fue, al parecer, el primero de los escritos biológicos de Aristóteles, redactado en su exi-

que las de ningún otro pensador. En crítica literaria y teoría retórica, sus ideas fueron con mucho las más sistemáticas e intelectualmente provocadoras de las producidas en la Antigüedad. Y, en cuanto biólogo, Aristóteles supo más sobre los animales que ninguna otra persona antes que él en la cultura grecorromana y, por cierto, también más que cualquiera hasta el siglo XIX.

42. Cfr. ARISTÓTELES: *Investigación sobre los animales* (trad. de J. Pallí), Gredos, Madrid, 1992.

lio en Asia Menor, cuando gozó de tiempo libre para dedicarse a la zoología. En rigor, constituye un tratado sólo descriptivo y ofrece una amplia clasificación del reino animal. Por eso, será la base de los otros escritos biológicos de Aristóteles, en los que el Estagirita explicará lo que aquí está solamente descrito. La primera parte —libros I a IV— expone los modos de clasificación de los seres vivientes y luego estudia sus anatomías, comenzando por el hombre, puesto que «es más fácil de conocer». La segunda parte —libros V a VII— muestra las diversas maneras en que los seres vivientes se reproducen, terminando por la reproducción del hombre que es la más compleja —a la que consagra la totalidad del libro VII. Finalmente, en los libros VIII y IX, Aristóteles describe la manera en que viven los animales, su nutrición, costumbres, enfermedades, hábitos y caracteres. El libro X —*Sobre la esterilidad*— no formaba originalmente parte de la obra, sino que se añadió tardíamente.

Aristóteles ha creado la anatomía comparada y ha empezado la clasificación sistemática de los seres vivos según su estructura. Su clasificación fue respetada hasta el siglo XVI, y fue la base de partida desde la cual Ray y Linneo desarrollaron el sistema moderno. Distinguía entre «animales con sangre» y «animales sin sangre», clases que corresponden a las modernas de vertebrados e invertebrados. Los animales con sangre se dividían en cuatro subclases: mamíferos, aves, reptiles y peces. También indicaba cuatro clases de animales sin sangre: animales de cuerpo blando, animales con escamas (crustáceos), animales de concha e insectos.

De Partibus Animalium enuncia las causas de los fenómenos que la *Historia Animalium* no había hecho más que describir y clasificar. El tratado consta de cuatro libros, cuya autenticidad no ha sido puesta en duda, aunque sí su cronología. De los cuatro libros, el primero —como suele suceder con las introducciones— fue el último en ser redactado. En este tratado, Aristóteles llega a establecer una de las leyes que regulan la formación de los seres vivientes, al descubrir que la naturaleza actúa respetando el principio del equilibrio: el enriquecimiento de ciertos órganos implica, según este autor, el empobrecimiento de otros. Se adopta una concepción «termodinámica» del funcionamiento del organismo. El ser vivo consta de un polo caliente, el corazón, centro también de la sensación, y de dos sistemas de refrigeración que mantienen el equilibrio térmico: la respiración y la acción refrigerante del cerebro.

Tras convertir los nutrientes en sangre, mediante un proceso de cocción alimentado por el calor que se origina en el corazón y llevado a cabo en el estómago, aquélla se transforma, también mediante algo parecido a la cocción, en los diversos tejidos que forman los órganos y los miembros. También el semen es visto como un residuo elaborado mediante procesos de cocción a partir de la sangre. El fujo menstrual responde a semejante origen, pero tras una cocción realizada a más bajas temperaturas, dado que, según Aristóteles, el corazón de la hembra es más frío. Sobre esta concepción fisiológica, comenta Jesús Mosterín, catedrático de Lógica y profesor de Historia y Filosofía de la Ciencia en la Universidad de Barcelona, que «es totalmente falsa, pero no irracional. No contiene elementos misteriosos o sobrenaturales, ni apela a otros conceptos o principios que los habituales en el estudio de los fenómenos empíricos»[43],

De Generatione Animalium[44], con sus cinco libros, está considerado una prolongación del tratado *Historia Animalium*, puesto que en él se estudian las modalidades de un fenómeno que éste último no hacía más que describir: la reproducción. Su estructura es la siguiente: El libro I versa sobre la reproducción en general, estableciendo algunas precisiones sobre la teoría de la causalidad, donde se caracteriza al macho como causa formal y a la hembra, como causa material en la reproducción. El libro II examina la reproducción de los animales vivíparos y el III la de los ovíparos y no sanguíneos. El libro IV se centra en la embriología y en la herencia, aludiéndose a la diferenciación del sexo durante el desarrollo del embrión, a cuestiones relacionadas con los errores hereditarios y otros asuntos próximos. El libro V trata de los caracteres congénitos, muchos de los cuales —color de los ojos, timbre de voz o aspecto del pelo— pueden no responder a causa final discernible y deben ser explicados, en ese caso, únicamente en virtud de la necesidad y la eficiencia.

Como su propio nombre indica, *De Anima*[45] está consagrada al estudio del alma, su esencia, atributos y facultades. A continuación

43. Mosterín, J.: «Aristóteles», *Historia de la Filosofía*, vol. IV, op. cit., p. 261.

44. Cfr. Aristóteles: *Reproducción de los animales* (Trad. de E. Sánchez), Gredos, Madrid, 1994.

45. Cfr. ídem: *Acerca del alma* (trad. de T. Calvo), Gredos, Madrid, 1994.

de una exposición general y de una breve historia de las doctrinas sobre el alma que han precedido a la suya, el Estagirita descarta la hipótesis del alma automotriz para avanzar su propia definición: el alma es sustancia, «entelequia» (potencia y acto), o también noción, forma, por oposición a materia, substrato. El alma es vegetativa, sensitiva o racional. En fin, el alma es «los seres mismos». El tratado se compone de tres libros. El libro I expone programáticamente las cuestiones. Recorre y critica las opiniones de sus predecesores, la teoría platónica, la del alma como armonía y la que le atribuye una constitución material, al tiempo que establece la posibilidad de la psicología (como saber acerca del alma). El libro II ofrece la teoría del alma sustentada por el propio Aristóteles. Sobre las nociones de acto y potencia, de materia y forma, edifica el Estagirita su doctrina del alma como sustancia y de su unidad con el cuerpo. Tras esto comienza el estudio de las facultades del alma, la nutritiva, el conocimiento sensible y los cinco sentidos. El libro III trata de la sensibilidad común, de la imaginación, de la memoria y de la facultad pensante. Establece aquí la famosa distinción entre el intelecto activo y el pasivo, y su conexión con la imaginación y la sensación. Trata también acerca del movimiento y la voluntad e introduce observaciones suplementarias sobre nutrición y percepción.

Para Aristóteles, no existe una entidad global llamada «vida», de la que cada viviente sería una ejemplificación, sino, al contrario, para él, el mundo está poblado básicamente por vivientes concretos, cuyo ser es vivir y lo despliegan en forma de nutrición, crecimiento y reproducción, percepción y locomoción, o conocimiento intelectual, cada uno a su modo. Comprenderlos y explicarlos implica saber de cada ser qué es y cómo ha llegado a ser y, en orden a ello, captar las causas de su ser y de su devenir.

Aristóteles estaba firmemente convencido de *que todos los seres naturales tienden a alcanzar la perfección que les es propia*: así, por ejemplo, un embrión realiza un proceso complejo de operaciones vitales (nutrición, desarrollo, etc.) encaminadas a la consecución de la forma y perfección característicos del adulto. Esta convicción fundamental de que los seres naturales tienden a alcanzar su propio estado de perfección surgió y fue elaborado por Aristóteles bajo la influencia de sus estudios biológicos. Aristóteles no albergó ninguna duda de que los procesos biológicos se encuentran

presididos por una finalidad interna que los orienta y dirige. El modelo aristotélico de *physis* —basado en la biología— es, pues, un modelo teleológico. Aristóteles fue discípulo y colaborador de Platón durante 20 años y jamás abandonó el espíritu del platonismo. Abandonó, eso sí, la teoría de las Ideas cuando llegó a su madurez intelectual. Negada la existencia de las Ideas, no podía ya concebirse el Bien del mundo como una realidad trascendente, es decir, existente fuera del mundo y que desde fuera se proyecta sobre él. En consecuencia, el Bien pasó a ser interpretado por Aristóteles como el cumplimiento de la tendencia que lleva a todos los seres a su propia perfección. En la filosofía aristotélica la teleología es, pues, inmanente, es decir, el fin al que tienden los seres naturales es interno a ellos mismos, no es otra cosa que su propia perfección.

Entre los actuales filósofos de la biología e historiadores del darwinismo es frecuente la caracterización de la biología aristotélica como la antítesis del evolucionismo. Se le atribuye habitualmente una concepción fijista y esencialista de la especie. No obstante, una lectura más meditada de la obra del Estagirita está alejando a sus estudiosos progresivamente de ese cliché que se despacha a menudo con demasiada ligereza. Así, D. Balme considera que la calificación de la biología aristotélica como esencialista y fijista debe atenerse a severos matices, o incluso ser abandonada [46]. J. Lennox concibe que el no evolucionismo es, en la obra del Estagirita, menos radical de lo que frecuentemente se ha sugerido [47].

2.3. La medicina helenística

En el siglo III a.C., durante la época helenística, se llevaron a cabo grandes investigaciones sobre anatomía y fisiología, gracias a la protección dada por Ptolomeo Filadelfo para realizar disecciones y vivisecciones. Sus descubrimientos no tienen una superación seria hasta el siglo XVI, ya que también crearon los manuales princi-

46. Cfr. Balme, D.: «Aristotle's Biology was not essentialist», en Gotthelf, A. y Lennox, J. (eds.): *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, op. cit.

47. Lennox, J.: «Are Aristotelian Species Eternal?», en *Aristotle on Nature and Living Things*, Mathesis Publications y Bristol Classical Press, Pittsbrugh, 1985.

pales que se siguieron utilizando y que fueron una de las fuentes fundamentales de Galeno.

Herófilo de Calcedonia y Erasístrato de Cos, ambos de mediados del s. III a.C., son médicos afamados que basaron en la observación y experimentación sus investigaciones anatómicas y fisiológicas llevadas a cabo en el Museo; se les atribuye no sólo la práctica de disección de cadáveres, sino también de vivisección de malhechores, realizada con autorización del monarca. A Herófilo se debe el hecho de considerar el cerebro, y no el corazón, el órgano central de la vida; el descubrimiento de la utilidad clínica del pulso, y la distinción entre nervios sensitivos y motores. A Erasístrato, la distinción entre venas y arterias (éstas transportadoras de aire y aquéllas de sangre), así como la importancia de las circunvoluciones cerebrales. Tras ellos, no obstante, surgió la generación de médicos llamados «empíricos», que despreciaban la teoría y se fiaban sólo de la práctica. La medicina helenística reflorecerá en su período tardío, ya en la época romana, con Galeno, en el s. II d.C.

2.4. Las matemáticas griegas

Los griegos tomaron elementos de las matemáticas de los babilonios y de los egipcios. La innovación más importante fue la invención de las matemáticas abstractas basadas en una estructura lógica de definiciones, axiomas y demostraciones. Los dos elementos principales de las matemáticas elementales son la geometría y la aritmética. La aritmética trata de los números. La geometría se ocupa de la distribución de los hechos en el espacio y en el tiempo. Aritmética y geometría están en conexión a causa de que los intervalos de tiempo y las distancias se pueden medir y pueden, por tanto, representarse mediante números. Las demás ramas de las matemáticas elementales no hacen más que poner algún acento sobre aspectos particulares de la aritmética y de la geometría.

Para entender la obra aritmética de los griegos debemos saber algo de la aritmética griega en general. Una buena notación es, en aritmética y en álgebra, esencial para el éxito. Los griegos no dispusieron nunca de una buena notación; tenían al principio una mala y luego la dejaron por otra peor. En el período clásico utilizaban un sistema análogo al romano, con símbolos que significaban 1, 5, 10,

100 y 1000; hacían combinaciones para representar los números intermedios. Esto era adecuado para expresar resultados, siempre que los números no fueran muy elevados, pero se trataba de un sistema incomodísimo para representar números muy grandes; y no puede decirse precisamente que facilitase el cálculo. No obstante, en Alejandría, modificaron esa notación para crear otra aún más incómoda y desmañada[48].

Los griegos consiguieron en geometría sus éxitos más brillantes, éxitos que pueden atribuirse, principalmente, a su desarrollo en dos técnicas: la abstracción y la generalización. Veamos un ejemplo: Los agrimensores egipcios habían hallado un sistema práctico de obtener un ángulo: dividían una cuerda en 12 partes iguales y formaban un triángulo, en el cual, tres partes de la cuerda constituían un lado; cuatro partes, otro, y cinco partes, el tercero (el ángulo recto se constituía cuando el lado de tres unidades se unía con el de cuatro). No existe ninguna información acerca de cómo descubrieron este método los egipcios y, aparentemente, su interés no fue más allá de esta utilización. Pero los curiosos griegos siguieron esta senda e investigaron por qué tal triángulo debía contener un ángulo recto. En el curso de sus análisis llegaron a descubrir que, en sí misma, la construcción física era solamente incidental; no importaba que el triángulo estuviera hecho de cuerda o de lino o de tablillas de madera. Era simplemente una propiedad de las líneas rectas, que se cortaban formando ángulos.

Al concebir líneas rectas ideales independientes de toda comprobación física que pudiera existir sólo en la mente, dieron origen al método llamado «abstracción», que consiste en despreciar los aspectos no esenciales de un problema y considerar sólo las propiedades necesarias para su solución. ¿Podría hallarse alguna propiedad común que describieran todos los triángulos rectángulos? Mediante detenidos razonamientos, los griegos demostraron que un triángulo es rectángulo únicamente en el caso de que las longitudes de los lados estuvieran en la relación $x^2 + y^2 = z^2$, donde z es la longitud del lado más largo. El ángulo recto se formaba al unirse los lados de longitud x e y. Por ese motivo, para el triángulo con lados 3, 4 y 5 m, al elevar al cuadrado su longitud, daba por resultado 9+16 = 25.

48. Cfr. Hull, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 113.

Este es únicamente un caso de entre una infinita posibilidad de ellos. Lo que intrigaba a los griegos era el descubrimiento de una prueba de que la relación debía satisfacerse en todos los casos. Y prosiguieron el estudio de la geometría como un medio sutil para descubrir y formular generalizaciones. Varios matemáticos griegos aportaron pruebas de las estrechas relaciones entre las líneas y los puntos de las figuras geométricas. La que se refería al triángulo fue, según la opinión general, elaborada por Pitágoras de Samos hacia el 525 a.C., por lo que aún se llama, en su honor, «teorema de Pitágoras». Este último enseñó la importancia del estudio de los números para poder entender el mundo. Algunos de sus discípulos hicieron importantes descubrimientos sobre la teoría de números y la geometría, que se atribuyen al propio Pitágoras.

Según los cronistas griegos, la geometría comenzó en el siglo VI a.C. con Tales de Mileto. Le fue atribuido a Tales el descubrimiento de ciertos teoremas geométricos específicos; por ejemplo, que el diámetro de una circunferencia la divide en dos partes iguales, que los ángulos de lados perpendiculares dos a dos son iguales, y que los ángulos de la base de un triángulo isósceles son, asimismo, iguales. Durante las Guerras Médicas, la obra científica griega fue continuada por los pitagóricos en el ambiente, menos agitado, de la Italia meridional. En el siglo V a.C., algunos de los más importantes geómetras fueron el filósofo atomista Demócrito de Abdera, que encontró la fórmula correcta para calcular el volumen de una pirámide, e Hipócrates de Cos, que descubrió que el área de figuras geométricas en forma de media luna limitadas por arcos circulares es igual a la de ciertos triángulos. Este descubrimiento está relacionado con el famoso problema de la cuadratura del círculo (construir un cuadrado de área igual a un círculo dado). Otros dos problemas bastante conocidos que tuvieron su origen en el mismo período son la trisección de un ángulo y la duplicación del cubo (construir un cubo cuyo volumen es dos veces el de un cubo dado). Todos estos problemas fueron resueltos, mediante diversos métodos, utilizando instrumentos más complicados que la regla y el compás. Sin embargo, hubo que esperar hasta el siglo XIX para demostrar finalmente que estos tres problemas no se pueden resolver utilizando solamente estos dos instrumentos básicos.

Platón tenía dos motivos principales de interés por la matemática. Ante todo, acaso no haya habido otro hombre que haya admi-

rado tanto las matemáticas por su carácter ideal, no sensorial, por su contexto de ideas y no de cosas. En segundo lugar, Platón consideraba las matemáticas como el mejor de todos los instrumentos de educación. En el frontispicio de la Academia había, según la tradición, un letrero que decía «Nadie entre aquí que no sea geómetra». Platón prescribe los estudios matemáticos como primera preparación para los guardianes, la clase gobernante de su República. Consideraba la matemática como una disciplina académica, y estableció un código que precisaba lo que no debe hacer un matemático respetable: no debe rebajarse al cultivo de la matemática aplicada, no debe considerar curvas diversas del círculo, curvas a las que Platón denominaba «mecánicas», con un término que en su lenguaje es claramente condenatorio. De ello se seguía que los únicos instrumentos legítimos del geómetra eran la regla y el compás. No hay duda de que en este código platónico para matemáticos distinguidos hay un eco de la mística admiración pitagórica por el círculo.

A finales del siglo V a.C., un matemático griego descubrió que no existe una unidad de longitud capaz de medir el lado y la diagonal de un cuadrado, es decir, una de las dos cantidades es *inconmensurable*. Esto significa que no existen dos números naturales m y n cuyo cociente sea igual a la proporción entre el lado y la diagonal. Dado que los griegos sólo utilizaban los números naturales (1, 2, 3...), no pudieron expresar numéricamente este cociente entre la diagonal y el lado de un cuadrado (este número, $\sqrt{2}$, es lo que hoy se denomina *número irracional*). Debido a este descubrimiento, se abandonó la teoría pitagórica de la proporción, basada en números, y se tuvo que crear una nueva teoría no numérica. Ésta fue introducida en el siglo IV a.C. por el matemático Eudoxo de Cnido, y la solución se puede encontrar en los *Elementos* de Euclides.

El máximo matemático del siglo IV a.C. fue precisamente Eudoxo de Cnidos. Eudoxo fue fundador de la teoría de las proporciones aplicables a todas las magnitudes y descubrió el método de *exhaustión* o de aproximaciones sucesivas para la medición de líneas y superficies que, ampliado por Arquímedes, es la base del cálculo infinitesimal. En este contexto tenemos que citar también a Menecmo, miembro de la escuela de Eudoxo y también preceptor de Alejandro Magno. Menecmo ha sido el primer matemático del que sa-

bemos con seguridad que ha estudiado las secciones cónicas. Estas curvas son resultado de secciones del cono. En el momento de su creación, la geometría de las cónicas carecía de utilidad científica. Se cultivó durante generaciones en Grecia por un interés puramente matemático. En el siglo XVII recibió inesperadamente una aplicación llena de éxitos en astronomía. Si no hubiera existido la teoría de las cónicas, es posible que la gran revolución científica moderna hubiera muerto estrangulada apenas nacida.

El siglo posterior a Euclides estuvo marcado por un gran auge de las matemáticas, como se puede comprobar en los trabajos de Arquímedes de Siracusa y de un joven contemporáneo, Apolonio de Perga. Arquímedes utilizó un nuevo método teórico, basado en la ponderación de secciones infinitamente pequeñas de figuras geométricas, para calcular las áreas y volúmenes de figuras obtenidas a partir de las cónicas. Éstas aparecían como tema de estudio en un tratado de Euclides; sin embargo, la primera referencia escrita conocida aparece en los trabajos de Arquímedes. El siracusano también investigó los centros de gravedad y el equilibrio de ciertos cuerpos sólidos flotando en agua. Casi todo su trabajo es parte de la tradición que llevó, en el siglo XVII, al desarrollo del cálculo. Su contemporáneo, Apolonio, escribió un tratado en ocho tomos sobre las cónicas, y estableció sus nombres: elipse, parábola e hipérbola. Este tratado sirvió de base para el estudio de la geometría de estas curvas hasta los tiempos del filósofo y científico francés René Descartes en el siglo XVII.

En paralelo con los estudios sobre matemáticas puras hasta ahora mencionados, se llevaron a cabo estudios de óptica, mecánica y astronomía. Muchos de los grandes matemáticos, como Euclides y Arquímedes, también escribieron sobre temas astronómicos. A principios del siglo II a.C., los astrónomos griegos adoptaron el sistema babilónico de almacenamiento de fracciones y, casi al mismo tiempo, compilaron tablas de las cuerdas de un círculo. Para un círculo de radio determinado, estas tablas daban la longitud de las cuerdas en función del ángulo central correspondiente, que crecía con un determinado incremento. Eran similares a las modernas tablas del seno y coseno, y marcaron el comienzo de la trigonometría. En la primera versión de estas tablas —las de Hiparco, hacia el 150 a.C.— los arcos crecían con un incremento de 7 1/2°, de 0° a 180°. En tiempos del astrónomo Tolomeo, en el siglo II d.C., la maestría griega en el manejo de los números había avanzado hasta tal punto que Tolo-

meo fue capaz de incluir en su *Almagesto* una tabla de las cuerdas de un círculo con incrementos de 1/2° que, aunque expresadas en forma sexagesimal, eran correctas hasta la quinta cifra decimal.

Mientras tanto, se desarrollaron otros métodos para resolver problemas con triángulos planos y se introdujo un teorema —que recibe el nombre del astrónomo Menelao de Alejandría— para calcular las longitudes de arcos de esfera en función de otros arcos. Estos avances dieron a los astrónomos las herramientas necesarias para resolver problemas de astronomía esférica, y para desarrollar el sistema astronómico que sería utilizado hasta la época del astrónomo alemán Johannes Kepler.

2.4.1. *La escuela pitagórica*

La escuela pitagórica está plenamente vinculada a la persona de Pitágoras, de quien se conocen pocos datos biográficos[49]. Los pitagóricos tenían el entusiasmo propio de los primeros estudiosos de una ciencia en pleno progreso y les cautivó la importancia del nú-

49. Nacido en Samos en 570 a.C., hacia los 40 años emigró a Crotona, sur de Italia, donde desplegó su principal actividad. Se estableció por fin en Metaponto y allí murió en 496. Su figura está aureolada por la leyenda. No debió de escribir nada. Pero, en torno a él, reunió a un grupo de hombres, formando una especie de comunidad o asociación, que conservó fiel y tenazmente las ideas del maestro y las transmitió oralmente. La comunidad tenía una estructura filosófica y ético-religiosa con un fuerte tono ascético. De la fisonomía espiritual de esta sociedad hemos de concluir que Pitágoras se movió en la dirección del dualismo órfico, que tomó de los órficos la doctrina de la transmigración de las almas, que cultivó toda clase de ciencias y que personalmente poseyó un marcado temperamento de jefe moral y político. El orfismo estaba en conexión con el culto de Dioniso, culto que pasó a Grecia procedente de Tracia o la Escitia y era ajeno al espíritu del culto olímpico, aunque su carácter «entusiasmador» y «extático» halló eco en el alma griega. Pero no es lo «entusiástico» de la religión dionisíaca lo que vincula al orfismo con el pitagorismo sino, más bien, el que los iniciados órficos eran instruidos en la doctrina de la transmigración de las almas, de tal modo que, para ellos, lo importante del hombre era el alma y no el cuerpo que la aprisiona. De aquí la importancia de ejercitar el alma y de purificarla, ascesis que incluía preceptos tales como el de la abstención de carnes, la práctica del silencio, la influencia de la música y el estudio de las matemáticas.

mero en el cosmos. El número es el *arjé* de todas las cosas. Con ello se pone el principio de los seres no en la materia, como hasta entonces, sino en la forma. El número es lo que da forma, lo que hace de lo indeterminado algo determinado. Los pitagóricos fueron, ante todo, matemáticos. Supusieron que todos los seres del Universo eran formulables matemáticamente. Y esto es así porque —pensaban— los principios de las matemáticas son también los principios de los seres reales. Y como los principios de las matemáticas son los números, éstos constituyen la naturaleza del universo.

El interés de los pitagóricos por la aritmética fue considerable. Pitágoras atribuía una importancia mística a los números enteros, y la aritmética pitagórica era más teorética que práctica. No se interesaba la escuela por métodos de cálculo, sino que empezó a cultivar lo que hoy llamaríamos «teoría de números», teoría que pertenece más a la parte artística de la matemática que a su vertiente científica. Para los pitagóricos, los elementos o principios de las cosas son opuestos. De la consideración aritmética del número se tiene la siguiente pareja de opuestos elementales: lo par y lo impar, con ello se establece una explicación dualista de la naturaleza. Desde el punto de vista geométrico, los números están constituidos de lo Ilimitado (que se corresponde con lo Par) y de lo Limitado (que se corresponde con lo Impar). La unidad, el uno, procede de ambos (pues es a la vez, par e impar), y el número procede del uno.

Parece cosa clara que los pitagóricos consideraron los números espacialmente. No quiere decir esto que los pitagóricos afirmasen una recíproca reductibilidad entre la aritmética y la geometría, sino más bien, que descubrieron algunos isomorfismos entre ellas. Así, la unidad es el punto, el dos la línea, el tres la superficie, el cuatro el volumen, etc. Decir, por tanto, que todas las cosas son números significaría que «todos los cuerpos constan de puntos o unidades en el espacio, los cuales, cuando se los toma en conjunto, constituyen un número»[50]. Que los pitagóricos consideraban así los números lo indica la *tetraktys*, figura que se tenía por sagrada. Esta figura muestra que el 10 resulta de sumar: 1+2+3+4, que es la suma de los cuatro

50. STÖCKL cit. en COPLESTON, F.: *A History of Philosophy*, vol. I: *Greece and Rome;* trad. esp.: *Historia de la Filosofía*, vol. I, Grecia y Roma, 2ª ed., Ariel, Barcelona, 1986, p. 47.

primeros números enteros. Cuando se trató de asignar un número determinado a cada cosa concreta, quedó campo abierto para toda suerte de fantásticas arbitrariedades. Así, el 2 lo femenino, el 3 lo masculino, el 4 la justicia, el 5 el matrimonio, el 6 el principio vital, el 7 la salud, etc. No obstante, a pesar de todas estas fantasías, los pitagóricos contribuyeron positivamente al desarrollo de las matemáticas.

Debió de ser en extremo simple la observación que originariamente condujo a la consideración del número como fundamento de todo lo existente. En la música se podía apreciar cómo los diferentes sonidos estaban en una relación determinada con la longitud de las cuerdas de la lira y, particularmente, cómo las armonías del sonido se caracterizaban por ciertas relaciones fijas y numéricas. Sin embargo, como dice Heisenberg, «el descubrimiento pitagórico hay que contarlo entre los más decisivos impulsos que ha recibido la ciencia humana». Pues bien, lo mismo que la armonía musical depende del número, se puede pensar que la armonía del Universo depende también del número. Las esferas cósmicas, al moverse, producen un sonido armónico. Diez es el número de cuerpos o esferas celestes, puesto que la década es el número perfecto absolutamente; por esta razón, inventaron la *antitierra*. La Tierra no ocupa el centro del Universo. La Tierra y los planetas giran —a la vez que el Sol— en torno al fuego central o «corazón del Cosmos» (identificado con el número Uno). El mundo aspira aire de la masa sin límites que lo envuelve, y se habla del aire como de lo Ilimitado. Vemos aquí la influencia de Anaxímenes.

Es abundante la documentación existente en los fragmentos de los filósofos presocráticos que tiende a corroborar la utilización de polaridades en la elaboración de sus doctrinas. Alcmeón de Crotona, filósofo y naturalista griego, presunto alumno de Pitágoras, concibe lo real como compuesto de caracteres antagónicos (bien, mal, finito e infinito, etc.). La doctrina general de que «la mayoría de las cosas humanas van en parejas» es atribuida por Aristóteles a Alcmeón, comparando la teoría de éste con la Tabla de Opuestos de los pitagóricos. Según Filolao «todas las cosas que se conocen tienen número; sin éste no sería posible pensar ni conocer nada»[51]. Para los pitagó-

51. Filolao de Crotona: Diels-Kranz, 44 B 11.

ricos, los elementos del número son, por tanto, como apunta Aristóteles, elementos de todas las cosas, ya que todo el Universo es armonía y número. Dichos elementos son, ante todo, lo impar y lo par, a los que corresponden lo determinado (*péras*) y lo indeterminado (*ápeiron*). Un grupo de pitagóricos hizo referencia a diez pares concretos de principios opuestos: limitado e ilimitado, par e impar, uno y múltiple, derecha e izquierda, macho y hembra, en reposo y en movimiento, recto y curvo, luz y oscuridad, bien y mal, cuadrado y rectángulo[52]. La teoría de Alcmeón, por su parte, era menos categórica y recurría a «oposiciones cualesquiera», como «blanco y negro, dulce y amargo, bueno y malo, grande y pequeño»[53].

Elaborar un cuerpo doctrinal como consecuencia inevitable de una serie de axiomas (deducción) es un juego atractivo. Los griegos, alentados por los éxitos de la geometría, se entusiasmaron con él hasta el punto de cometer dos serios errores. En primer lugar, llegaron a considerar la deducción como el único medio respetable de alcanzar conocimiento. Tenían plena conciencia de que, para ciertos tipos de conocimiento, la deducción resultaba inadecuada; por ejemplo, la distancia desde Corinto a Atenas no podía ser deducida a partir de principios abstractos, sino que forzosamente tenía que ser medida. No obstante, siempre se avergonzaron de esta necesidad, y consideraban que el conocimiento más excelso era simplemente el elaborado por la actividad mental. Tendieron a subestimar aquel conocimiento que estaba demasiado directamente implicado en la vida diaria. Grecia no fue estéril por lo que se refiere a contribuciones prácticas a la civilización, pese a lo cual, hasta su máximo ingeniero, Arquímedes de Siracusa, rehusó escribir acerca de sus investigaciones prácticas y descubrimientos; para mantener su *status* de aficionado, transmitió sus hallazgos en forma de matemáticas puras. Y la carencia de interés por las cosas terrenas fue sólo uno de los factores que limitó el pensamiento griego. El énfasis puesto por los griegos sobre el estudio en geometría los condujo al segundo gran error y, eventualmente, a la desaparición final.

En el ámbito de la geometría, Tales se había dedicado a estudiar la posibilidad de deducir teoremas menos obvios de premisas de

52. Cfr. ARISTÓTELES: *Metaphysica*, A 5 986 a 22 ss.
53. Ibídem, 986 a 31 ss.

más fácil aceptación. Pero sus cortas cadenas de razonamientos estaban aisladas las unas de las otras; cada demostración se presentaba por sí misma. Tales nunca hizo el intento de derivar todo teorema de un conjunto único de proposiciones, ni de reducir al mínimo ese conjunto. Pitágoras y sus discípulos se dispusieron, en cambio, a construir un sistema coherente en el que todos los teoremas se siguieran demostrativamente de unos pocos axiomas explícitamente afirmados. Si los axiomas eran verdaderos, lo serían entonces todas las demás proposiciones. No habría logros inconexos en el conocimiento. El gran sistema lógico de la geometría ofrecido más tarde al mundo por Euclides era una versión revisada y ampliada del sistema pitagórico, pero idéntica con éste en espíritu.

La geometría pitagórica ha sido el arquetipo de todos los sistemas deductivos y es, por tanto, la primera matemática genuina. Es fácil comprender por qué los intelectuales griegos consideraron tan atractiva la nueva geometría. Ante todo, los círculos perfectos y las rectas perfectas de que se ocupaba esa nueva geometría eran ideas existentes sólo en el espíritu de los geómetras. No eran objetos sensibles, aunque existían seres físicos que se les parecían groseramente. Por tanto, la geometría era una empresa connatural con aquella cultura de hombres amantes de la vida de contemplación, o que consideraban que el trabajo práctico era contrario a la dignidad del hombre distinguido en una sociedad esclavista. Además, la matemática parecía ofrecer certeza. Sin duda, la da hasta cierto punto, pero no del modo como han creído muchos pensadores griegos. En conclusión, los pitagóricos cultivaron la geometría deductiva con un éxito asombroso, como naturalmente ocurre con todo aquel que se dedica de todo corazón a algo para lo cual está muy bien dotado[54].

2.4.2. *Euclides*

Euclides[55] es uno de los primeros científicos que se establecen en Alejandría y se aprovecha de las condiciones favorables que se

54. Cfr. HULL, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 42.

55. Euclides de Megara (c. 330 a.C.-c. 277 a.C.). Probablemente, es el más famoso matemático de la Antigüedad. Poco se sabe con seguridad de su vida. Es pro-

dan. Sistematiza en el Museo toda la obra matemática que le precede en la más famosa obra de matemáticas de todos los tiempos: *Stoikheia* (Elementos). Se trata, fundamentalmente, de una obra que reúne de forma sistemática el conjunto del saber matemático de la Antigüedad, expuesto en forma deductiva, de acuerdo con el concepto de ciencia expresado por Aristóteles en sus *Analíticos Posteriores*; partiendo de axiomas, postulados y definiciones se deducen teoremas o se resuelven problemas. La materia de su exposición se debía en su mayor parte a matemáticos anteriores tales como Pitágoras, Eudoxo e Hipócrates de Cos.

La principal contribución de Euclides es obra de su genio para la organización y la disposición lógica del material. Ensambló los teoremas conocidos cubriendo hiatos lógicos y suministrando nuevas demostraciones cuando le resultaba necesario, y llegó así a construir un gran sistema deductivo. Redujo considerablemente el número de proposiciones indemostradas de las que depende el resto demostrado. Estableció un nuevo criterio de rigor y también, a veces, de elegancia en la demostración. La importancia de este autor supera el campo de las matemáticas para convertirse en el creador del espacio que ha de regir toda la física moderna. Sin su obra, la mecánica clásica carecería de fundamento, por lo que, cuando se plantea la teoría de la relatividad, como limitación de los planteamientos newtonianos, primero se destruye el mundo geométrico que Euclides nos había dejado, en el que se basa toda su forma de interpretar y comprender la naturaleza. Los *Elementos* son la obra clásica y el texto por excelencia de la historia de las matemáticas, que ha mantenido su valor conceptual hasta el s. XIX y, en algunas partes, hasta comienzos del XX.

De acuerdo con el testimonio de Proclo, Euclides incorporó numerosos descubrimientos de Eudoxo y de Teeteto; así, la teoría de

bable que se educara en Atenas y que estudiase en la Academia platónica. Sí está constatado que enseñó en Alejandría durante el reinado de Ptolomeo I Soter. De Euclides se recuerda, entre otras, la anécdota de haber respondido a la pregunta de su monarca Ptolomeo acerca de si no habría otra forma más fácil de acceder a las matemáticas que leyendo sus *Elementos*, diciendo que «no hay una vía regia para la geometría». Oportuno es también recordar que mandó dar limosna a un alumno que le preguntaba si todo aquello servía para algo. Además de *Elementos*, Euclides escribió los tratados *Fenómenos*, sobre astronomía, *Óptica*, sobre perspectiva, y *Cálculos*.

la proporción es del primero, mientras que el segundo es el autor de buena parte de lo que se dice a propósito de los poliedros regulares. Se ha defendido, incluso, que la obra podría ser el resultado de reunir las contribuciones de toda una escuela de matemáticos que trabajaran bajo la dirección de un fundador, o que siguieran desarrollando sus enseñanzas tras su desaparición.

Los trece libros que componen sus *Elementos* contienen la mayor parte del conocimiento matemático existente a finales del siglo IV a.C., en áreas tan diversas como la geometría de polígonos y del círculo, la teoría de números, la teoría de los inconmensurables, la geometría del espacio y la teoría elemental de áreas y volúmenes. En síntesis, el programa de la obra era el siguiente: teoría de planos (libros I-IV), teoría de proporciones (V), aplicación de la teoría de proporciones a los planos (VI), teoría de los números (VII-IX), irracionalidad de los números no algebraicos (X) y teoría de la geometría del espacio (XI-XIII). Los seis primeros libros corresponden a lo que hoy se entiende todavía como geometría elemental; los libros del séptimo al décimo tratan de cuestiones numéricas y los tres restantes se ocupan de la geometría de los cuerpos sólidos, concluyendo la obra con la construcción de los cinco poliedros regulares y sus esferas circunscritas. Diversos autores de la Antigüedad, como Proclo y Simplicio, escribieron comentarios a los *Elementos*; la revisión de la obra a cargo de Teón de Alejandría en el s. IV de nuestra era introdujo algunas variaciones y añadidos, y fue la base de todas las demás hasta bien entrado el s. XIX.

Euclides desarrolló en su obra una serie de principios sobre los que se fundamentó la geometría hasta tiempos recientes, en que fueron modificados con la aparición de las geometrías no euclidianas. Se trata de los cinco postulados siguientes: En el primero se establece que, dados dos puntos cualquiera, siempre se puede trazar una línea recta que los une. El segundo postula que toda línea recta se puede prolongar infinitamente. Según el tercero, dado un punto cualquiera, se puede trazar una circunferencia de radio cualquiera tomando dicho punto como centro de ésta. El cuarto establece que todos los ángulos rectos son iguales. Finalmente, el quinto enuncia que dada una recta y un punto exterior a la misma, sólo se puede trazar una recta, y sólo una, que pase por dicho punto y sea paralela a la recta dada. Este último postulado es precisamente el que se modifica en las geometrías no euclidianas.

El procedimiento utilizado en los *Elementos* es el del cálculo axiomático. Es un método basado en unos principios indemostrables (axiomas), a partir de los cuales siguen necesariamente otras afirmaciones, concatenadas estructuralmente. Este procedimiento está inspirado en la lógica aristotélica, que había sido completada y perfeccionada por los estoicos. Este sistema implicaba definiciones, axiomas y postulados específicos para cada ciencia. Las definiciones sirven para calibrar los términos que entran en cada razonamiento, los axiomas son concreciones del principio de no contradicción, principio en el que ha de basarse todo discurso lógico según Aristóteles. Los postulados son supuestos fundamentales de carácter intuitivo (indemostrables y no mediables por otro concepto) que configuran el substrato último de la argumentación.

Las líneas de argumentación seguidas son: a) La reducción al absurdo, método que era ya famoso desde Zenón con sus *Elenchos*. Parte de la negación de lo que suponemos, para llegar a una contradicción, y así poder afirmar aquello que habíamos negado y, por tanto, confirmar nuestra suposición. b) El método de «exhaustiones» aplicado, sobre todo, en sus últimos libros. Se formula de forma paradigmática en el Libro X del siguiente modo: «Suponiendo que tenemos dos magnitudes desiguales, si se sustrae de la mayor una magnitud más grande que la mitad de ésta; a lo que queda se le quita otra magnitud mayor que la mitad y así sucesivamente, quedará una magnitud menor que la que se ha dado o supuesto como menor». Por este procedimiento, somos capaces de encontrar una magnitud más pequeña que cualquiera dada, por lo que existe un continuo, ya que no hay mínimo.

2.4.3. *Arquímedes*

Arquímedes de Siracusa[56] ha sido el matemático más fino de la Antigüedad, y acaso la inteligencia más aguda de toda la humani-

56. Arquímedes (Siracusa, Sicilia, 287 a.C.-íd. 212 a.C.) fue físico, matemático e inventor griego. Sus aportaciones en física, a las que debe su fama por encima de todo, se centran en la mecánica y en la hidrostática. En la memoria colectiva ha quedado su aforismo sobre la aplicación de la ley de la palanca por

dad hasta el Renacimiento. Para comprender, en efecto, la profundidad y la agudeza de su mente hay que ponerse a resolver con potentes métodos de cálculo moderno los difíciles problemas que él resolvió sin esos métodos. Arquímedes ha hecho inventos y descubrimientos en cuatro campos: geometría, aritmética, física e ingeniería. En geometría llegó a ser el más grande matemático de la época y, anticipándose en el cálculo, inventó métodos generales para encontrar las áreas de figuras planas de contorno curvilíneo (cuadratura de la parábola) y los volúmenes limitados por superficies curvas. Aplicó estos métodos a muchos casos especiales, tales como el círculo, la espiral, la esfera, y a superficies de revolución engendradas por rectángulos (cilindros), triángulos (conos), parábolas (paraboloides), hipérbolas (hiperboloides) y elipses (esferoides), al girar alrededor de sus ejes principales; todo ello fundamental para el posterior estudio de las matemáticas. También mejoró el sistema griego de numeración.

En su obra utilizó con asombrosa habilidad el método de *exhaustiones* inventado por Eudoxo. Podemos considerar brevemente cómo lo aplicó para hallar la circunferencia y el área del círculo. Se inscribe en el círculo un hexágono regular, ABCDEF. Trazando tangentes al círculo por los puntos A, B, C, D, E, F, podemos formar otro hexágono regular que está circunscrito al círculo. Los perímetros de los hexágonos circunscrito e inscrito son respectiva-

él descubierta: «Dadme un punto de apoyo y levantaré el mundo». A él se debe, además, la invención de máquinas simples como el tornillo y el polipasto, empleado para mover cuerpos pesados. Pero el descubrimiento más conocido es el llamado principio de Arquímedes: «Todo cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje hacia arriba igual al peso del volumen del fluido desalojado». Para defender la ciudad inventó la polea compuesta y los espejos ustorios, mediante los cuales incendió la flota romana. Murió a manos de un soldado en el saqueo romano de Siracusa comandado por Marcelo. Mucho después, cuando Cicerón ocupó el cargo político de cuestor en Sicilia (75 a.C.), hizo restaurar la tumba de Arquímedes y manifestó gran admiración por el sabio. Su figura y sus obras, poco conocidas en la Edad Media, fueron redescubiertas durante el Renacimiento y ejercieron gran influencia sobre Galileo, Torricelli y Huygens, en especial sus tratados sobre los centros de gravedad y sobre los fluidos. Otras obras destacables son: *Sobre la esfera y el cilindro; Sobre la medida del círculo; De la cuadratura de la parábola; Sobre las espirales* y *El método, o carta a Eratóstenes.*

mente mayor y menor que la circunferencia del círculo. Por tanto, calculando esos perímetros, podemos poner un límite superior y un límite inferior a la circunferencia del círculo. En sus obras *Sobre la esfera y sobre el cilindro* y *Sobre los conoides y los esferoides*, planteó las secciones utilizando elementos de la geometría euclidiana y legándonos su estudio sobre las espirales.

Concibió la ciencia como un método deductivo y recurrió a los llamados experimentos mentales. En su *Arenario*, o *El reloj solar*, plantea el problema de qué cantidad de granos de arena podría contener la esfera de las estrellas fijas e indicaba que, por muy grande que fuese este número (que él calculó), se trataría siempre de un número determinado. Este libro fue de gran importancia para la aritmética, ya que, en él, Arquímedes ideó un nuevo simbolismo para expresar números muy grandes, superando el sistema griego que daba a cada cifra una palabra. (Históricamente, por este libro se conoció la hipótesis heliocéntrica de Aristarco de Samos).

Arquímedes fue el primero en obtener resultados de problemas de medición por métodos experimentales, como la pesada. De modo que tenía ya una noción bastante precisa de la solución antes de empezar a construir la demostración matemática. Dos sólidos del mismo material tienen pesos proporcionales a sus volúmenes, de modo que el volumen desconocido de uno de ellos puede ser estimado a partir del volumen conocido del otro mediante pesadas. Este método de descubrimiento «matemático» habría sido sin duda objeto de los más furiosos anatemas por parte de Platón, pero Arquímedes era hombre moderno en materia de libertad heurística. Sus demostraciones matemáticas eran, por lo demás, impecables cuando llegaba a ellas.

Además de gran matemático, Arquímedes destacó como ingeniero e inventor. Ideó máquinas balísticas para la defensa de Siracusa del asedio romano y, en dicho asedio, aplicó sistemas de espejos ustorios para quemar a distancia las velas de las naves romanas, aprovechando la concentración de los rayos solares. También construyó un planetario, que más tarde fue transportado a Roma. Se le atribuyen, además, otros varios inventos mecánicos. Descubrió el principio de flotación y las densidades relativas, hallando que la corona del rey Hierón, según cuenta la tradición, había sido falsea-

da[57]. En su *Tratado sobre los cuerpos flotantes*, establece los principios de la hidrostática y da una base teórica para explicar la construcción de barcos.

En el campo de la mecánica, sus investigaciones se centraron en el equilibrio de planos, donde establece las bases teóricas de la estática y en particular las leyes de la palanca. Establece que un plano recto apoyado sobre un punto y con dos puntos iguales en sus extremos, a distancias iguales del centro los pesos mantendrán un equilibrio; a distancias desiguales del centro, se inclinarán hacia el peso más alejado del centro. Arquímedes descubre, mediante estas investigaciones, la proporcionalidad entre las distancias y los pesos específicos en una palanca. Desde esta teoría, desarrolló los aspectos técnicos con los que hacía sus máquinas. Arquímedes, a pesar de ser un hombre especialmente dotado para la mecánica, no pudo escapar de su tiempo, y se consideró más un matemático que otra cosa. Por ello, se muestra más orgulloso de sus estudios de matemáticas que de las obras que tanto impresionaron.

2.4.4. *Apolonio de Pérgamo*

El otro gran matemático es Apolonio de Pérgamo (260-200). Estudió en Alejandría, enseñó en Pérgamo y, al igual que Euclides, se dedicó a estudiar, sistematizar y replantear problemas anteriores. Menecmo y Euclides se habían limitado a iniciar el estudio del tema de las secciones cónicas. En su obra sobre secciones cónicas, considerada como un documento base actualmente, Apolonio lo replantea a fondo, introduciendo la terminología necesaria para la explicación de estas secciones, nombrándolas como elipses, parábolas e hipérboles. Gracias a Apolonio, esta rama de la geometría estuvo lista cuando la necesitaron los astrónomos.

Después de Euclides, Arquímedes y Apolonio, Grecia no tuvo ningún geómetra de la misma talla. Los escritos de Herón de Ale-

57. La historia probablemente apócrifa recuerda cómo celebró Arquímedes haber descubierto que la corona de Hierón II había sido adulterada: observando el agua que, al bañarse, rebosaba de su bañera y saltando desnudo a la calle gritando *éureka*: «¡lo encontré!».

jandría en el siglo I d.C. muestran cómo elementos de la tradición aritmética y de medidas de los babilonios y egipcios convivieron con las construcciones lógicas de los grandes geómetras. Los libros de Diofante de Alejandría en el siglo III d.C. continuaron con esta misma tradición, aunque ocupándose de problemas más complejos. En ellos Diofante encuentra las soluciones enteras para aquellos problemas que generan ecuaciones con varias incógnitas. Actualmente, estas ecuaciones se denominan *diofánticas* y se estudian en el *análisis diofántico*.

3
Ciencia antigua: China

Introducción

La inmensa China, separada de Occidente por altas mesetas, estepas y desiertos, elaboró aisladamente una civilización original que se difundió después hacia Japón, Corea y Vietnam. La historia de China es, en lo esencial, la historia de un pueblo único que usa una sola lengua y cuyo sistema de escritura no ha cambiado fundamentalmente desde su aparición, hace más de tres mil años. Nadie se asombra ante la antigüedad de tal tradición cultural más que los mismos chinos.

Los restos de un *Homo erectus* hallado en la cueva de Zhoukoudian, cerca de Pekín, asociado a huesos de animales, útiles líticos usados para cortar, raer y hendir y huellas de hogares, han sido datados con una fecha que se remonta a casi medio millón de años. La mayor parte de los huesos encontrados en la cueva fueron posiblemente llevados allí por animales carnívoros, seguramente hienas. Los sencillos hogares en este lugar representan el testimonio más antiguo del uso del fuego por seres humanos, al margen de escasos y controvertidos casos en África. El hombre llegó al Lejano Oriente procedente de Asia central o del sureste asiático, donde se han hallado ejemplares de *Homo erectus* primitivos de hace 1,8 millones de años. Poblaciones de este homínido quizá persistieran hasta unos 250.000 años en China, mucho más que en ninguna otra parte. Es reducido el número de testimonios de grupos de cazadores y recolectores a finales del pleistoceno en China; tan sólo en el norte se

han encontrado algunos yacimientos, como el de Sjara-osso-gol, zona que hace unos 30.000 años estaba ocupada por grupos que establecieron campamentos cercanos a recursos acuíferos al aire libre y que vivían, probablemente, en sencillas chozas y empleaban útiles líticos para raer y cortar; se han conservado algunos restos de animales. Durante la época posglacial, proliferaron los asentamientos a lo largo de ríos y lagos, especialmente en el sur, cuyos habitantes explotaron las plantas y animales que había a su alrededor; con el paso del tiempo acabarían por plantar semillas.

En el noroeste de China y hacia el IV milenio, se localizan los poblados agrícolas de la cultura de Yangshao, en torno al valle del río Yang-tsé (o río Amarillo), que han sido también asociados a la cerámica cordada impresa. Los investigadores dudan sobre el grado de desarrollo de la agricultura en esta cultura. Los pobladores explotaron las plantas silvestres y la fauna de la zona, en especial el cultivo del panizo común y la domesticación de perros y cerdos. El yacimiento de Banpocun en la provincia de Shaanxi, prototipo de asentamiento de esta cultura, estaba rodeado por un foso y poseía numerosas construcciones de habitación de zarzo recubiertas de barro y parcialmente subterráneas. En el centro del poblado había una estructura grande y elaborada que acaso fuera la casa de un importante personaje o quizá un edificio público. Además de la agricultura, los pobladores criaron gusanos de seda, tejieron hilo, tallaron jade y en las últimas fases elaboraron una característica cerámica pintada. Dado que los objetos hallados en los distintos yacimientos son sorprendentemente similares, algunos investigadores piensan que surgieron grupos socioeconómicos de artesanos especializados.

Tras una serie de complejos cambios sociales, políticos y económicos que afectaron a los grupos de la cultura de Yangshao, surgió la cultura de Longshan en el norte de China. Como en la cultura anterior, existe una gran similitud entre los objetos hallados en los distintos poblados de la cultura de Longshan, especialmente en la bella cerámica negra. Los poblados aumentaron de tamaño, los rodearon de grandes murallas y estuvieron habitados durante más tiempo. Continuó el cultivo de cereales y se introdujo el arroz, procedente del sur. También hay testimonios de la fabricación de armas y de muertes violentas, lo que induce a pensar en la existencia cada vez más frecuente de conflictos sociales. Aparece, por vez pri-

mera, la escritura sobre huesos y caparazones de tortugas, que servía de oráculos y símbolos cuyo significado está relacionado con técnicas adivinatorias. La excelencia de los objetos de artesanía, la escritura, las murallas y la variada riqueza de ajuares funerarios sugieren la compleja estratificación social de la cultura de Longshan.

Los cambios internos que se produjeron en la cultura Longshan permitieron su evolución gradual hasta dar origen a la primera civilización china, que engloba las dinastías Xia y Shang. La mayor parte de la información sobre este período procede de los yacimientos cercanos a Zhengzhou, y, durante la dinastía Shang (1480-1050 a.C.), aparecen los primeros documentos escritos, al igual que la arquitectura monumental, la especialización artesanal, las ciudades y una notable jerarquización social y política: Anyang, la segunda capital de la dinastía Shang, tenía un recinto amurallado que aislaba las residencias nobiliarias, mientras que los artesanos y los agricultores vivían en el exterior; estos artesanos fabricaron los objetos característicos de este período, entre los que destacan las manufacturas de bronce.

Cerca de Anyang, se han excavado el centro administrativo y ceremonial de Xiaotun y la necrópolis real de Xibeigang; estos yacimientos de la dinastía Shang han proporcionado miles de huesos utilizados para la adivinación que ofrecen nueva información sobre esta cultura. Los espectaculares objetos de arte y otros signos de riqueza, además de los indicios de numerosos sacrificios humanos aparecidos en el cementerio real, muestran el poder político y económico de la nobleza. Todos los rasgos característicos de la civilización china estaban ya establecidos en el momento en que la dinastía Shang fue sustituida por la Zhou a finales del II milenio a.C. Los Zhou (1122 a.C.-256 a.C.) expandieron su poder por el norte hasta Manchuria y por el sur más allá de la cuencia del Yangtsé. Dentro de estos límites, los avances agrícolas (irrigación) y tecnológicos (elaboración del hierro) permitieron mantener a gobernantes locales poderosos, a sus cortes y a sus guerreros. Con el paso de los siglos, el poder se concentró en esos estados menores que, a partir del s. V a.C., se convirtieron en los «Estados Combatientes» (481 a.C.-221 a.C.).

Cuando no hacían la guerra, los gobernantes de los feudos de la China Zhou tenían tiempo para reflexionar sobre la naturaleza del

poder y del gobierno. En sus cortes se desarrollaron las teorías esenciales chinas sobre la sociedad. El filósofo más destacado fue Kungfu-tsé (Confucio), quien hacia 500 a.C. estableció la base de una ética de la vida civilizada que ha influido en la sociedad china hasta el siglo XX. Confucio pretendió basar su filosofía política y moral en el carácter y las leyes de los primeros reyes de la dinastía Zhou.

El más occidental de los Estados Combatientes, el de Qin resultó el vencedor final. En el 221 a.C. se convirtió en su soberano Shi Huang Di —el «Primer Emperador»—, quien a sus once años de reinado estableció el marco del mayor estado que el mundo había visto hasta entonces. Su reino se extendía hasta alcanzar el mar de China Meridional y Asia central. Por el norte, su frontera con los nómadas quedaba definida por la máxima construcción humana: la Gran Murralla. Con una media de 9 m de alta, se extiende 2.400 km por el norte de China. Dentro de estos límites, los habitantes fueron reclutados para construir un extenso sistema de carreteras, así como la Muralla. Se reorganizaron y estandarizaron las leyes, la administración, la escritura, la moneda y los pesos y medidas del imperio.

El gobierno Qin no sobrevivió mucho a Shi Huang Di, pero los cimientos del imperio se habían establecido con firmeza. Bajo la dinastía siguiente, Han, el imperio chino estableció sus fronteras tradicionales. A finales del s. II a.C., se extendía al oeste hasta Asia central, al sur hasta Vietnam, y al este hasta Corea. Sin embargo, estos países estaban demasiado alejados como para poder ser retenidos mucho tiempo y, aunque siempre mantuvieron una fuerte influencia china, siguieron su propio camino político. Durante la dinastía Han (202 a.C.-220 d.C.), el acontecimiento cultural y religioso más relevante es, sin duda, la expansión del budismo. El budismo había nacido en la India y se extendió desde este país, a lo largo de las rutas comerciales asiáticas que florecieron durante este período. Aunque nunca desplazaron a las filosofías nativas, las creencias budistas se mantuvieron como un componente importante de la religión y de la cultura popular china. El imperio Han estableció también el esquema del gobierno chino. En el centro estaba el emperador con su corte. Gobernaba a través de una burocracia de gran formación, seleccionada a través de rigurosos exámenes. El emperador desempeñaba también su papel político: el bienestar del

imperio y de su pueblo estaba ligado a su bienestar y a la realización correcta de las obiligaciones religiosas. La ciudad imperial era el foco del ritual, de la burocracia, de la riqueza y de la cultura. Las capitales chinas —con poblaciones de hasta medio millón de habitantes— fueron, con seguridad, las ciudades mayores y más espléndidas del mundo desde la caída de Roma y el apogeo de Londres.

Durante este período histórico, éstos son los acontecimientos científicos más relevantes:

-2701. Se desarrollan algunas nociones de aritmética y astronomía en China.

-2383. Finaliza la redacción del tratado farmacológico coreano *Pon Cho*, que contiene una extensa variedad de pociones y remedios curativos.

c.-1765. Se adopta, en China, un nuevo calendario con la división del año en 365 días, repartidos en doce meses.

c.-1200. Datación de inscripciones médicas sobre hueso o caparazones de tortuga halladas en China.

c.-1000. Se inventa, en China, la cometa, que constituye el artefacto volador más primitivo que conocemos.

c.-540. Se redacta el *Tso-chuan*, primera gran recopilación de textos médicos realizada en China.

-500. De esta época datan las primeras menciones conocidas sobre la fundición del hierro.

-350. Se escriben los primeros tratados de medicina china.

-350. Es compuesto, en China, el tratado sobre el arte de la guerra *Sun-tsu ping-fa*.

-132. Se construye, en China, el más antiguo sismógrafo conocido.

-126. El viajero Chang Ch'ien regresa a China de su viaje por Asia central con abundante información geográfica.

-122. Se redacta el texto chino del alquimista *Huai-nan-tzu*, en el que se atestigua la creencia de una metamorfosis precipitada de los metales.

-110. Se-ma Ts'ien hereda, tras la muerte de su padre, el cargo de gran astrólogo de la corte imperial china y con-

tinúa la obra *Shi-ki*, por la que se le considera «el padre de la Historia».

-90. Fallece Pien Ts'io, primera gran figura de la medicina china, y fundador legendario de la pulsología.

208. Muere Hua T'o, considerado como gran cirujano y descubridor de los métodos anestésicos.

212. Fallece el médico chino Chang Choing-king, reputado como inventor de la sintomatología y terapéutica chinas.

c. 220. Muere el astrónomo Lu Chi, autor de un mapa celeste.

229. Nace el futuro matemático y astrónomo Wang Fan.

232. Fecha tradicional de la invención de la carretilla en China.

3.1. Por qué no hubo ciencia *stricto sensu* en China

Es fundamental definir las diferencias entre la ciencia antigua y medieval por una parte y la ciencia moderna por otra. Cuando decimos que la ciencia moderna se desarrolló solamente en la Europa occidental en la época de Galileo, a finales del Renacimiento, queremos decir que solamente allí y en aquel momento se colocaron las bases fundamentales de la estructura de las ciencias naturales tal como hoy las conocemos, es decir, la aplicación de hipótesis matemáticas a la naturaleza, la total comprensión y utilización del método experimental, la distinción entre cualidades primarias y secundarias, la geometrización del espacio y la aceptación del modelo mecánico de la realidad.

En conexión con esto, se debe matizar el significado de la palabra «ciencia». Si definimos «ciencia» como «ciencia moderna» exclusivamente, es cierto que no surgió en Europa occidental hasta los siglos XVI y XVII, a finales del Renacimiento. Pero no es ésta la totalidad de la ciencia, pues en todas partes del mundo, los pueblos de la Antigüedad y del medievo habían puesto los cimientos del gran edificio que había de levantarse. Cuando decimos que la ciencia moderna se desarrolló en Europa occidental en la época de Galileo, queremos decir que sólo allí se desarrolló el principio fun-

damental de la aplicación de hipótesis matemáticas a la naturaleza, la combinación de las matemáticas con la experimentación.

Albert Einstein apuntó en una ocasión que no era difícil comprender por qué China o la India no crearon ciencia en sentido estricto. El problema es más bien por qué Europa lo hizo, pues la ciencia es una de las más arduas y desagradables empresas. La respuesta a esta cuestión, a juicio de C. C. Gillispie, reside en Grecia:

> «La ciencia deriva, en último término, del legado de la filosofía griega. Es cierto que los egipcios desarrollaron técnicas de agrimensura y llevaron a cabo ciertas operaciones quirúrgicas con una finura notable. Los babilonios disponían de artificios numéricos de gran ingeniosidad para predecir los modelos de planetas. Pero ninguna civilización oriental fue más allá de la técnica o la taumaturgia para alcanzar la curiosidad sobre las cosas en general. Entre todos los triunfos del genio especulativo griego, el más inesperado, el más realmente nuevo fue precisamente su concepción racional del cosmos como un todo ordenado que funciona según leyes cognoscibles por el pensamiento» [1].

No cabe duda de que en las primeras fases de la ciencia moderna, cuando la mecánica, la dinámica y la física celeste y terrestre tomaron su forma moderna, la contribución griega fue la principal. La geometría deductiva euclidiana y la astronomía planetaria ptolemaica fueron ciertamente los principales factores en el nacimiento de la ciencia moderna. Pero, a pesar de Ptolomeo y Arquímedes, los antiguos occidentales, en general, no experimentaron. La mayor objeción a quienes —como Gillispie— basan la superioridad europea en su raíz helenista es probablemente ésta: el hecho de que los griegos no fueron realmente experimentadores. En palabras del sinólogo J. Needham:

> «La experimentación controlada es, con seguridad, el mayor descubrimiento metodológico de la revolución científica del Renacimiento, y nunca se ha demostrado de modo convincente que ningún grupo anterior de occidentales la comprendiese totalmente. No me

1. GILLISPIE, C.C.: *The Edge of Objectivity; an Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton New Jersey, 1960.

propongo reclamar este honor tampoco para los chinos medievales, pero teóricamente estuvieron tan cerca de ella como los europeos, y en la práctica en muchas ocasiones fueron más allá (...) Seguramente sería mejor prestar más atención a la historia y a los valores de las civilizaciones no europeas, de hecho no menos elevadas y geniales que la nuestra. Renunciemos, pues, a ese orgullo intelectual que se precia de que "nosotros somos la gente, y la sabiduría nació con nosotros". Enorgullezcámonos del innegable hecho histórico de que la ciencia moderna nació en Europa y sólo en Europa, pero no reclamemos por eso una patente perpetua. Porque lo que nació en tiempos de Galileo fue un paladín universal, la saludable ilustración de todos los hombres sin distinción de raza, color, fe, ni patria, que a todos nos cualifica y de la que todos participamos. ¡Ciencia moderna universal, sí; ciencia occidental, no!»[2].

No se ha de limitar, pues, el mundo de la ciencia y la tecnología a Europa, y a lo que Europa recibió de esas transmisiones. Durante los primeros catorce siglos de la era cristiana, China transmitió a Europa una verdadera abundancia de descubrimientos, que Occidente recibía muchas veces sin tener una idea clara de dónde se habían originado. Las contribuciones asiáticas, es fuerza reconocerlo, no estuvieron ausentes del cambio decisivo, pues, aparte del álgebra y de las técnicas básicas de numeración y computación indo-chinas, este último país aportó todos los conocimientos básicos sobre los fenómenos magnéticos, un campo de estudio radicalmente distinto del que había cultivado la física griega, y cuyo efecto sobre las etapas iniciales de la ciencia moderna, a través de Gilbert y Kepler, fue de importancia capital.

Por lo que hace a la técnica, China ocupa una posición de absoluto dominio. En el conjunto de sus contribuciones, mencionaremos, entre otras cosas, los útiles arreos para caballos, la tecnología del hierro y del acero, el invento de la pólvora y el del papel, la mecánica de relojería y otros ingenios básicos, tales como la correa de transmisión, la tracción en cadena, y el método normal de convertir el movimiento rotatorio en rectilíneo, junto con puentes en arco de segmento y técnicas náuticas, como el timón de codaste. En

2. NEEDHAM, J.: *La gran titulación. Ciencia y sociedad en Oriente y Occidente*, Alianza Universidad, Madrid, 1977, pp. 49-53.

suma, el mundo debe mucho más a los modestos artesanos de la China antigua y medieval que, pongamos por caso, a los mecánicos alejandrinos. Pero, en este punto tropezamos con una paradoja sorprendente: mientras que muchos de estos inventos, incluso la mayoría de ellos, tuvieron un efecto revolucionario sobre la sociedad occidental, China tuvo una extraña capacidad para absorberlos y permanecer relativamente inalterada. Trataremos de dar respuesta a este enigma más adelante.

Ahora deberíamos tratar de responder a esta cuestión: «¿Por qué la ciencia moderna, con la matematización de las hipótesis acerca de la naturaleza y los subsiguientes efectos sobre la tecnología avanzada, consiguió este auge meteórico solamente en occidente durante la época de Galileo?» —se preguntaba el sinólogo Joseph Needham hace casi ya tres décadas. Es cierto que hasta que se universalizó, gracias a su fusión con las matemáticas, la ciencia natural no fue patrimonio común del género humano. Las ciencias medievales estaban estrechamente unidas al medio ambiente étnico en el que surgían, y era muy difícil, si no totalmente imposible, que pueblos de culturas distintas pudieran encontrar una base común para el diálogo. Además, la mutua incompatibilidad de los sistemas conceptuales de origen técnico restringió gravemente los posibles contactos y transmisiones en el campo de las ideas científicas. Esta es la razón por la cual los factores tecnológicos se difundieron a lo largo y ancho del mundo antiguo, mientras que los científicos no lo hicieron.

Y añadía otra interesante cuestión: «¿Por qué, entre el siglo II a.C. y el siglo XVI d.C., la cultura asiática oriental fue mucho más eficaz que la europea occidental en su aplicación del conocimiento de la naturaleza a fines prácticos?» Y respondía: «Solamente un análisis de las estructuras sociales y económicas de las culturas oriental y occidental —sin olvidar el gran papel jugado por los sistemas ideológicos— podrá finalmente sugerirnos la explicación de ambos problemas»[3]. Profundicemos, pues, en estos factores.

3. Ibídem, p. 17.

a) Análisis de las estructuras sociales

Es doctrina común que la civilización china tiene sus orígenes en el feudalismo que se desarrolló a partir de 1500 a.C., aproximadamente. Debemos recordar que la civilización china fue bien diferente de todas las otras grandes civilizaciones. Sabemos que la mesopotámica y egipcia estuvieron estrechamente ligadas entre sí desde fecha muy temprana, e, igualmente, que la antigua civilización india tuvo contacto con la babilónica. La única civilización ribereña que no se relacionó íntimamente con aquéllas fue la del *Río Amarillo*, cuna del pueblo chino. Esta civilización se relacionó algo más con la Edad del Bronce en Europa, pero siempre tuvo más independencia que contactos con Occidente.

Sobre la posición social de los científicos, ingenieros y artesanos en la sociedad feudal-burocrática china, llama la atención el carácter relativamente «oficial» de la ciencia, básica y aplicada. Según se ha hecho notar, el astrónomo chino no era un ciudadano al margen de las convenciones de la sociedad, como quizá sí lo era en las ciudades helénicas el astrónomo griego. Aquél, en cambio, era un funcionario civil alojado a veces en un ala del palacio imperial y perteneciente a una oficina que era parte integrante de la burocracia oficial.

La sociedad china antigua y medieval estaba dividida en cinco grupos: en primer lugar, los altos funcionarios, los científicos que habían conseguido el éxito en su trabajo; en segundo lugar, los plebeyos; en tercer lugar, los miembros de los grupos semiserviles; en cuarto lugar, los esclavos, y en quinto lugar, un grupo muy significativo de oficiales inferiores, es decir, letrados que no habían podido ascender por los peldaños de la burocracia.

A los altos funcionarios provinciales se deben importantes progresos técnicos. Así, la introducción del fuelle metalúrgico movido por agua se atribuye a Tu Shih, que fue prefecto de Nanyang en el año 31 d.C. Entre los altos funcionarios, se debe mencionar también a Chang Hêng. Este fue, no sólo el inventor del primer sismógrafo aparecido en cualquier civilización, sino además el primero en aplicar potencia motriz a la rotación de los instrumentos astronómicos, uno de los más sobresalientes matemáticos de su tiempo y el padre del diseño de las esferas armilares. Llegó a ser presidente de la Cancillería Imperial.

Es bastante probable que los primeros molinos de agua y fuelles metalúrgicos se debiesen al trabajo de los técnicos al servicio de Tu Shih. Un sobresaliente ejemplo de ello lo constituye Shen Kua, una de las más grandes cabezas científicas de la historia china. En su interesante y polifacético libro científico, el *Mêng Chhi Pi Than* («Ensayos sobre la laguna de los sueños»), describe la invención de la imprenta de tipos móviles por Pi Shêng alrededor de 1045, y dice que, al morir dicho plebeyo, su colección de tipos «pasó a poder de mis seguidores, que lo han guardado como una preciosa posesión hasta ahora». Esto proporciona una evidencia de los técnicos reunidos en torno a patronos que eran funcionarios importantes. Sin embargo, el mayor grupo de inventores está representado por plebeyos, maestros artesanos que no eran ni funcionarios, ni peones, ni pertenecían a las clases semiserviles. Junto a Pi Shêng, ya citado, tenemos al gran constructor de pagodas Yü Hao, que seguramente tuvo que dictar su famoso *Mu Ching* («Manual del trabajo en madera») a un escribano.

Yü Hao vivió en el siglo X de nuestra era, pero en cada dinastía podemos encontrar una figura semejante. En el siglo II vivió Ting Huan, de gran renombre por su trabajo de predecesor de la suspensión de Cardano. El siglo VII fue la época de Li Chhun, el constructor de puentes de arco escarzano; y el siglo XII, la época del mayor arquitecto naval de la historia china, Kao Hsüan, que se especializó en la construcción de barcos de guerra con múltiples ruedas de paletas.

El tercer grupo lo constituyen brillantes científicos y técnicos, cuyo nivel social en su época fue, sin embargo, muy bajo. El único de ellos que, al parecer, perteneció a la clase semiservil fue Hsintu Fang. En su juventud entró al servicio de un príncipe de la dinastía nórdica Wei como dependiente o asistente. Este príncipe había coleccionado muchas piezas de aparatos científicos —esferas armilares, globos celestes, vasos hidrostáticos, clepsidras, anemómetros, etc.— y había heredado también una extensa biblioteca. Las circunstancias políticas obligaron al príncipe a huir, y Hsintu Fang escribió libros científicos y militares que aquél había proyectado.

El cuarto grupo lo componían los esclavos. Son muy raros los ejemplos de tecnólogos que fuesen positivamente esclavos, aunque no podemos olvidar a Kêng Hsün, el cual comenzó como cliente

del gobernador de Ling-nan, pero cuando murió su protector, en lugar de regresar a su casa, se unió a algunas tribus del sur y finalmente capitaneó una sublevación. Cuando ésta fue sofocada y Kêng Hsün capturado, un general, Wang Shih-Chi, percatándose de su habilidad técnica, le salvó de la muerte y le admitió entre los esclavos de su familia. Su posición allí no era, sin embargo, tan baja que no pudiese recibir instrucción de un antiguo amigo, Kao Chih-Pao, que, entretanto, se había convertido en el astrónomo real y, como resultado de ello, Kêng Hsün construyó una esfera armilar o globo celeste que giraba continuamente por energía hidráulica. El emperador le recompensó por ello, convirtiéndole en esclavo del gobierno y adscribiéndolo al *Departamento de Astronomía y Calendario.*

Finalmente, encontramos el último grupo de técnicos y uno de los más numerosos, el de funcionarios de baja graduación. Eran hombres con la suficiente formación, aunque fuesen de origen modesto, para entrar en las escalas de la burocracia, pero cuyos peculiares talentos o personalidades frustraban toda esperanza de una carrera brillante. Entre ellos, debemos incluir a Li Chieh, quien, apoyándose en las antiguas obras de Yü Hao y otros, compuso el mayor y definitivo tratado de cualquier época sobre la tradición milenaria de la arquitectura china y de la tecnología de la construcción, el *Ying Tsao Fa Shih.* Yen Su fue una figura semejante a la de Leonardo —investigador, pintor, tecnólogo e ingeniero— bajo el emperador Jen Tsung de la dinastía Sung. Diseñó el tipo de clepsidra[4] con rebosadero que continuó utilizándose durante largo tiempo; inventó cerraduras y llaves especiales y legó especificaciones para vasos hidrostáticos, podómetros y carros que se dirigían automáticamente al sur. Sus escritos incluían tratados sobre relojería y sobre las mareas, pero la mayor parte de su vida transcurrió en puestos administrativos provinciales. También son dignos de mención dos hombres de la mayor importancia en la historia preeuro-

4. Clepsidra (del griego *kleptein*, «robar», e *hydro*, «agua»), también llamado *reloj de agua*, antiguo instrumento para medir el paso del tiempo a partir del flujo de agua a través de un pequeño orificio. Las horas estaban marcadas en las paredes de la vasija en la que caía el agua o en el recipiente desde donde fluía. Algunos relojes de agua indicaban la hora mediante el nivel de un flotador.

pea del reloj mecánico. Liang Ling-Tsan, asistente de I-Hsing en el siglo VIII, fue un oficial de baja graduación en el ministerio de la guerra, y Han Kung-Lien, el principal colaborador de Su Sung, 350 años después, fue solamente un secretario interino en el ministerio de personal. Fue este grupo de funcionarios de baja graduación el que proporcionó uno de los más sorprendentes textos sobre la vida de los tecnólogos y científicos en la China medieval que han llegado hasta nosotros.

Pero lo cierto es que, a pesar de la superioridad de la antigua filosofía china y de la importancia de los descubrimientos tecnológicos hechos por los chinos a lo largo de toda la historia subsiguiente, la civilización de aquel país estuvo básicamente imposibilitada para dar origen a la ciencia y tecnología modernas. Un factor poderosamente explicativo de tal hecho es, a juicio del sinólogo Joseph Needham, que la sociedad que se desarrolló en China tras el período feudal no era la adecuada para tal evolución. En palabras de Needham:

> «Cuando, hacia el siglo XVI, el feudalismo europeo decayó, el capitalismo lo sustituyó. Entonces ocurrió el acceso de los comerciantes al poder, que dio lugar primeramente al capitalismo mercantil, y más tarde al industrial. Pero en China, cuando el feudalismo de la Edad de Bronce terminó y vino la Edad Imperial, no tuvo lugar una suspensión temporal del feudalismo por una ciudad-estado imperialista, como Roma. Sucedió algo muy distinto. El antiguo feudalismo chino fue sustituido por una forma especial de sociedad que no ha tenido su paralelo en occidente. Se ha llamado *burocracia asiática*, y en ella se suprimen todos los señores, excepto uno, el Hijo del Cielo, el Emperador, que gobierna el país y recauda todos los impuestos a través de un gigantesco aparato burocrático»[5].

Los que construyeron ese aparato llamado *mandarinato* fueron los confucianos, y durante dos mil años los taoístas ejercieron una acción de control colectivista, que no encontraría justificación hasta la llegada del socialismo en nuestros días. Todo esto era algo desconocido en Occidente, y requiere un estudio intenso y especial, pero tuvo, ciertamente, un gran efecto: evitó que la clase mercantil

5. NEEDHAM, J.: *La gran titulación*, op. cit., pp. 178-179.

se hiciera con el poder. Preguntarse por qué la ciencia y la tecnología moderna nacieron en nuestra sociedad y no en China es lo mismo que preguntarse por qué no hubo allí Renacimiento, ni Reforma, ni ninguno de los fenómenos cruciales de aquel gran período de transición, de los siglos XV a XVIII. Tan importante como éste son, a juicio de Needham, los factores ideológicos, materia de nuestro próximo apartado.

b) *Análisis de los factores ideológicos y jurídico-teológicos*

El taoísmo es uno de estos decisivos factores ideológicos. El «taoísmo» designa a la vez un sistema filosófico y una religión organizada, derivados ambos de las enseñanzas de uno de los grandes filósofos chinos de la Antigüedad, Lao-tsé, que la tradición considera contemporáneo de Confucio (s. VI-V a.C.). El *Tao Tê Ching* («Canon de la Virtud del *Tao*»), en el que se hallan recogidos pensamientos y máximas de Lao-tsé, constituye la base del taoísmo, junto con los escritos de dos de sus mayores discípulos, Chuang-Tsé y Lieh-Tsé. El punto de partida de los pensadores taoístas no es exclusivamente filosófico, sino también mágico-religioso, y se basa en disciplinas (alimentarias, respiratorias e higiénicas) mucho más antiguas, ya practicadas por los chamanes, con el fin de retrasar indefinidamente el envejecimiento del individuo, asegurando una inmortalidad espiritual y material al mismo tiempo, y de fortalecer el cuerpo hasta hacerlo capaz de afrontar, en el universo, «viajes» en estado de éxtasis. Sobre esta base de tradiciones mágico-chamánicas, se habría desarrollado la filosofía taoísta, que opone al rigor moral y a los ritos y a la organización socio-política confucianos, un ideal de vida autónoma, natural, libre y alegre.

No obstante, tampoco los taoístas, a partir de Lao-Tsé, escapan a la preocupación, común a todo el pensamiento chino, de impartir reglas de vida válidas para la convivencia social humana: si un gobernante quiere atenerse al *Tao*, debe reducir al mínimo la injerencia de la política en la vida de sus súbditos, según la máxima «si yo practico el no-actuar, el pueblo se transforma por sí sólo». El taoísmo, cuyas ideas eran demasiado utópicas para que un gobierno pudiese adoptarlas, fue reconocido como doctrina oficial solamente por un corto período, en el siglo VIII, mientras durante

dos mil años el estado chino tuvo, por el contrario, un carácter confuciano.

El taoísmo ejerció, no obstante, una profunda influencia sobre todo el pensamiento chino, contribuyendo a la concepción del poder (fundado en parte en la posesión de requisitos mágico-religiosos especiales) y de las teorías de gobierno. Notable ha sido posteriormente la aportación del pensamiento taoísta al arte, a la literatura y, sobre todo, a la poesía. Muchos autores reconocen en el taoísmo el mérito de haber hecho progresar la química y la medicina a través de la alquimia y la investigación de hierbas medicinales que debían asegurar la inmortalidad. Pero los taoístas se dedicaron sólo a dichas prácticas cuando, en el siglo II a.C., con Chang Tao-Ling (famoso taumaturgo que se convirtió en el primer «Maestro celeste») el taoísmo se estructuró como religión.

Todas las miserias de este mundo derivan de trabas, de añadidos superfluos y deformaciones, impuestas a la naturaleza por la cultura, que debilitan el «principio vital». Es, por lo tanto, indispensable, con el fin de llevar una vida mejor, encontrar la perfecta sencillez del ser en el estado primordial, adaptándose a los ritmos de la vida universal. Hay que ser como el Gran Todo, el cual es silencio, serena y perfecta indiferencia. Partiendo del ejemplo de la naturaleza que se caracteriza, al menos en apariencia, por el no-actuar (*wu wei*), los filósofos taoístas se dedicaron a la reflexión sobre el principio cósmico, que da origen a la substancia y a la forma del ser en su persistir y en su mudar. Dicho principio se identifica con el *Tao* y en él actúa una virtud o fuerza vital, el *teh*, que se explica plenamente en que se identifica lo más posible con el *Tao*, adoptando un comportamiento inactivo, pasivo. Es, así pues, puramente vitalista y amoral.

Ello no significa que el *Tao*, el orden cósmico de todas las cosas, no actuara de acuerdo con una medida y una norma, sino que los taoístas tendían a considerarla como inescrutable para el entendimiento humano. Quizá no resulte aventurado decir que esa fue la razón por la cual, cuando se les confió la tutela de las ciencias a lo largo de la historia china, aquella ciencia tuvo que desarrollarse a un nivel eminentemente empírico. Además, no es irrelevante el hecho de que sus ideas sociales tuvieran menos utilidad que las de cualquier otra escuela de derecho positivo, puesto que intentaban

volver al colectivismo tribal primitivo, en el que nada se formulaba ni escribía. Como todo funcionaba perfectamente en la cooperación comunal, no podían sentir interés por la ley abstracta de ningún legislador.

El *Tao* es un elemento fundamental del pensamiento chino. Junto con la doble noción de yin y yang, constituye una constante de la historia de la religión y de la filosofía chinas, desde la más remota antigüedad. El término significa todavía hoy, en el lenguaje corriente, «la vía, el camino», y, por extensión, «el curso de las cosas», sirviendo para indicar el principio del movimiento que actúa en todo proceso natural: movimiento entendido no como movimiento mecánico, sino como flujo vital y continuo que forma el tejido mismo de la realidad. El elemento dinámico del *Tao* se debe a la alternancia de las dos fuerzas complementarias y opuestas, el yin (principio femenino, tenebroso, húmedo, pasivo, frío, negativo, etc.) y el yang (principio masculino, activo, cálido, seco, luminoso, positivo, etc.), cuya acción combinada preside los cambios de todo el Universo.

Yin y yang originariamente significan las zonas de sol y umbría de una montaña o los márgenes de un río. En realidad, ése es su uso principal hasta finales del siglo IV a.C.[6]. Todas las substancias, los objetos, los ritmos del universo están dominados por esta alternancia polar. El mundo no presenta ninguna apariencia que no responda a un orden cíclico, a la alternancia de dos manifestaciones opuestas y complementarias, y ni siquiera el tiempo se escapa a esta polaridad. El *Tao*, suprema conjunción de los opuestos, constituye el elemento primero con el que es preciso identificarse con absoluta entrega para escapar a las limitaciones de la vida social.

En la sección Nei Ching (que sobrevivió en el *Yüeh Chüeh Shu*) encontramos un pasaje bastante iluminador acerca de la concepción del yin y del yang dentro de la filosofía china:

> «El rey de Yüeh dijo: "Puesto que analizas los acontecimientos humanos con tanta brillantez y predicas una cuidadosa reflexión antes de actuar, quizás puedas decirme si los fenómenos naturales tienen un significado adverso o favorable (en relación con el hombre)"

6. Cfr. Lloyd, G.E.R.: *Adversaries and Autorities. Investigations into ancient Greek and Chinese Sciences*, Cambridge University Press, 1996, pp. 122-123.

Chi Ni respondió: "Ciertamente lo tienen. Son el Yin y el Yang presentes en todas las cosas los que les dan todo su *chi-kang* (es decir, sus composiciones fijas y sus movimientos en relación con otras cosas, en la tela de araña de las relaciones de la naturaleza). De lo que dependen la suerte y la desgracia es de los movimientos cíclicos del sol, de la luna, de las estrellas y los planetas, y de las alteraciones recurrentes de destrucción y generación (en las estaciones del año). Pues (los *chhi* de los elementos) el Metal, la Madera, el Agua, el Fuego y la Tierra dominan alternativamente (en su amplia rotación), y la (influencia de la) luna en su creciente y su menguante es especialmente fuerte (en momentos que se repiten regularmente). Pero todos estos cambios no son más que (fluctuaciones) en la regularidad fundamental cíclica (del Yin y el Yang en el Gran *Tao*), que no obedece a nadie (o que no tiene nadie que la gobierne, a quien, por ejemplo, pudiéramos rezar). Si lo sigues tendrás la prosperidad, si vas contra él, encontrarás el infortunio. Así pues, el (gobernante) prudente rechaza las tentaciones a las que los hombres mezquinos sucumben, y actúa calladamente como le conviene, con la esperanza de influir al que no ha recibido tal iluminación. Pero la mayoría de los hombres se esfuerzan por conseguir riquezas y honores, ignorando por completo el equilibrio (del Yin y del Yang que decidirán su destino)"» [7].

Como ha observado Lloyd, en la esfera del uso de los opuestos, la relación entre el yin y el yang es una relación de interpendencia mutua y recíproca. Incluso cuando el yang está en su estado más fuerte, el yin empieza a reafirmarse a sí mismo. En el momento máximo del yin, el yang comienza a emerger. El yin y el yang son opuestos, naturalmente, pero correlativos; son aspectuales y relacionales. Lo que es yin, por una parte, puede ser yang, por la otra. Aunque mutuamente se excluyen uno a otro, ninguno existe aisladamente del otro [8].

Con el yin y el yang estaba relacionado el concepto de las cinco fases («wu xing»), que tradicionalmente se denominó «teoría de los cinco elementos». En realidad, no se trata de substancias, sino de procesos o, mejor aún, de fases de un proceso en las transformaciones perpetuas de *qi* («energía»).

Según esto, la síntesis cosmológica del yin-yang y las cinco fases tuvieron una función particular en un punto de cambio en la his-

7. Cit. en NEEDHAM, J.: *La gran titulación*, op. cit., p. 316.
8. Cfr. LLOYD, G.E.R.: *Adversaries and Autorities*, op. cit., p. 121.

toria china. El rasgo clave del sistema es la unidad de los órdenes político y natural, con el Emperador haciendo el papel de mediador entre el Cielo y la Tierra. El orden humano y social, las relaciones jerárquicas debidas que se aplican desde el Emperador y sus ministros hacia padres e hijos, fue naturalizada como una imagen-espejo del orden cósmico: la reciprocidad del Cielo y la Tierra. Algunas ideas sintetizadas así llegaron mucho antes al pensamiento chino. Lo que era nuevo era la síntesis. Ésta sirvió muy bien a las funciones duales de ayudar a afianzar la posición del Emperador y a lograr proporcionar una razón de ser a los literatos que habían contribuido a proporcionar ese afianzamiento[9].

Aunque sin duda se deben introducir reservas, el punto crucial para la comprensión del uso chino del sistema de oposiciones es que a menudo sirve para propósitos políticos, o más bien, que en sentido amplio es político él mismo. Para propósitos analíticos se puede distinguir el orden natural y el orden social, pero en la mentalidad china clásica son partes de un único todo. El papel del Emperador no es político en sentido estricto. Para estar seguro, su gobierno garantiza directamente el orden social, pero él tiene una función cósmica más importante: el bienestar del Imperio como un todo depende de la armoniosa relación entre Cielo y Tierra, que el Emperador con su propio comportamiento y virtud tiene que garantizar. Una consecuencia de esto es el interés directo que tenía el Emperador por el estudio de los cielos (la astronomía).

Dicho de otro modo, el papel que representaban los literatos e intelectuales para legitimar la posición del Emperador y el apoyo directo que los emperadores prestaban a aquéllos en esa situación política general, la intención sobre la interdependencia, reciprocidad y complementariedad, que tan a menudo se encuentra en referencias chinas a los pares de opuestos, puede verse como un reflejo de lo que era percibido como prerrequisitos de orden social. Esta fue una idea que ganó importancia con la consolidación gradual del orden imperial bajo la dinastía *Han*. Incluso si el ideal de complementariedad en las relaciones humanas era uno que recibía una expresión elocuente con Confucio. El énfasis no era tanto el de opo-

9. Cfr. LLOYD, G.E.R.: *Adversaries and Autorities*, op. cit., p. 125.

sición de funciones distintas jerárquicamente pero complementarias, como sobre el apoyo mutuo que podía prestarse uno a otro.

Aludamos ahora a la influencia de los denominados «factores jurídico-teológicos». Sin duda, uno de los acontecimientos trascendentales que hay que situar en el origen de la ciencia moderna es el concepto de «ley natural». En nuestra civilización, las ideas sobre ley natural en el sentido jurídico y sobre las leyes de la Naturaleza en el sentido de las ciencias naturales proceden, según puede demostrase fácilmente, de una raíz común. Una de las nociones más antiguas de la civilización occidental fue que del mismo modo que los legisladores terrenales elaboraban códigos de leyes positivas que los hombres habían de obedecer, la celeste y suprema deidad creadora había dictado una serie de leyes que debían ser obedecidas por los minerales, cristales, plantas, animales y por las estrellas en curso. Con toda seguridad esta idea estuvo íntimamente unida al desarrollo de la ciencia moderna occidental en el Renacimiento.

En cambio, como es bien sabido, los chinos de la época antigua y medieval, aunque fueron muy prolíficos en inventos prácticos —tales como la correa de transmisión, la transmisión en cadena, la conversión del movimiento rotatorio en longitudinal, los cohetes, la brújula, la fabricación del papel, la imprenta de bloques y de tipos móviles, la pólvora y las armas de fuego, etc., etc.— no lograron formular ni una sola ley física. Además del feudalismo medieval chino, el fracaso científico de los chinos debe achacarse sobre todo a la ausencia de la creencia en un Creador personal y racional, ausencia que puede apreciarse en el pensamiento religioso chino. Con la antigua pérdida de esa creencia se perdió también la fe, la confianza de los chinos en la racionalidad última del Universo. Citando a Needham: «Entre los chinos no existía el convencimiento de que los seres personales racionales fueron capaces de explicar, en su lenguaje terreno inferior, el código de leyes decretado por el Creador en otro tiempo» [10].

Muy probablemente, la idea de un legislador universal celestial dictando leyes sobre los fenómenos naturales no humanos tuvo sus primeros orígenes entre los babilonios. El dios del Sol Marduk vie-

10. NEEDHAM, J.: *Science and Civilization in China, History of Scientific Thought*, vol. II, Cambridge Univ. Press, 1956, p. 581.

ne representado en esta tradición como «el legislador de las estrellas». Esta concepción no encontró tanta continuidad entre los presocráticos como entre los estoicos, cuya doctrina de una ley universal inmanente en el mundo incluía tanto a la naturaleza humana como a la no humana. Por influencia hebrea, durante el cristianismo se afirmó la concepción de la mente legisladora de Dios, llegándose a convertir durante la Edad Media en un lugar común la idea de la legislación divina sobre la naturaleza no humana. Durante el Renacimiento, esta idea comenzó a tomarse muy en serio. El cambio ocurrió entre Copérnico, que nunca empleó la expresión «ley», y Kepler, que lo hizo, si bien extrañamente no la aplicó a ninguna de sus tres grandes leyes del movimiento planetario.

Los antiguos pensadores taoístas (Tao Chia, siglos IV y III a.C.), profundos e inspirados como eran, no desarrollaron, quizá a causa de su profunda desconfianza en los poderes de la razón y de la lógica, nada que se pareciera al concepto de «leyes de la Naturaleza». Con su apreciación del relativismo y de la sutileza e inmensidad del Universo, buscaban a tientas una visión del mundo «einsteiniana», sin haber puesto los cimientos para una visión «newtoniana». Por ese camino no se podía desarrollar la ciencia.

Por otra parte, los mohístas (Mo Chia), los seguidores de Mo Ti, juntamente con los lógicos (Ning Chia) se esforzaron denodadamente en los procesos lógicos perfectos, e hicieron un inicio de aplicación de los mismos a la clasificación zoológica y a los elementos de la mecánica y la óptica. No sabemos por qué fracasó este movimiento científico, aunque quizá fuera debido a que el interés de los mohístas por la Naturaleza estaba relacionado casi exclusivamente con sus objetivos prácticos en el ámbito de la tecnología militar. Al parecer no se aproximaron más que los taoístas a la idea de las «leyes de la Naturaleza». La traducción más aproximada de su término técnico *fa*, (idéntico al de «ley» en el sentido en que lo usan los legalistas) en la lógica del *Mo Ching* (Canon mohísta) es un asunto muy discutible, pero, hasta donde podemos deducir, se utiliza con un sentido bastante similar al de las causas aristotélicas.

En conclusión, podemos decir que en Europa la concepción de un Dios Creador y Legislador contribuyó eficazmente al desarrollo de la ciencia moderna, porque fomentaba la idea de la existencia de

una ley que regía en todas partes donde hubiera cosas materiales. Este no es el caso de la civilización china, que carecía del concepto de Dios como ser personal y legislador. Las conclusiones que extrajo Needham y que hizo públicas en la conferencia Hobbhouse, Londres, 1951, apuntan en esa dirección:

1. Que el ser espiritual más elevado que se conoció y adoró en la antigua China no fue un Creador en el sentido de los hebreos o cristianos.
2. Que la idea de un dios supremo personal del antiguo pensamiento chino, por lejos que llegara, no incluía la concepción de un divino legislador celestial que impone sus órdenes a la naturaleza no humana.
3. Que el concepto de suprema deidad se despersonalizó muy pronto [11].

Las palabras más antiguas para expresar la idea de Dios en chino eran *Thien* (Cielo) o *Shang Ti* (el que gobierna arriba), aunque en *Chunag Tzu* se usan otros términos, como por ejemplo *Tsai* (el que gobierna). *Thien* es, sin duda, en su forma más antigua, un carácter antropomórfico —presumiblemente, representación de una deidad— y *Ti*, aunque no es muy claro, es indiscutiblemente antropomórfico también.

Las posturas de los sinólogos discrepan sobre qué alcance se debe dar a estos términos. Creel, por ejemplo, piensa que *Shang Ti* era una trascendentalización de la función del emperador. Granet considera, en cambio, que era una personificación del orden de las estaciones según el calendario. Otra opinión es la de Fitzgerald, para quien este término así como el de *Thien* simbolizan el Primer Padre. Creel expresa la convicción de que *Shang Ti* es el más antiguo de los dos, y está relacionado con la dinastía Shang, mientras que *Thien* es más bien una palabra de finales de la dinastía Chou. Tai Kuan-I cree, por su parte, que los chinos adoptaron el nombre de *Shang Ti* de los pueblos *miao*.

11. Cfr. NEEDHAM, J.: Conferencia Hobbhouse, Bedford College, London, 1951, publicada por primera vez en *Journ. History of Ideas*, 1951, 12, p. 3.194, revisada y reimpresa en *La gran titulación*, op. cit., p. 325.

No se niega que, para los chinos, hubiera un orden en la naturaleza, sino más bien, que no era una garantía de que otros seres personales racionales pudieran propagar en sus propios lenguajes terrenos el preexistente código de leyes divinas que aquél había formulado previamente. No se confiaba en que el código de la Naturaleza pudiera ser desvelado y leído porque no había seguridad de que un ser divino, aún más racional que nosotros, hubiera formulado jamás un código que se pudiese leer. Se tiene la impresión de que los taoístas, por ejemplo, hubieran despreciado una idea así, porque sería demasiado ingenua como para convenir a la sutileza y complejidad del Universo, tal como ellos lo intuían.

3.2. Matemáticas chinas

El pensamiento y la práctica matemática chinos eran invariablemente algebraicos, no geométricos. Entre ellos no se desarrolló espontáneamente una geometría euclidiana y esto inhibió, sin duda, los avances que realizaron en óptica, donde, por el contrario, no se encontraron nunca con la absurda idea griega de que los rayos eran enviados por el ojo. La geometría euclidiana fue introducida en China probablemente en el período Yuan (mongol), pero no se enraizó allí hasta la llegada de los jesuitas.

Aunque hablamos de números indoarábigos, en realidad fueron los chinos los primeros capaces de expresar, ya en el siglo XIV, cualquier número deseado, de cualquier magnitud, con un máximo de nueve signos. La matemática china, desarrollando la primitiva tradición babilónica, fue siempre principalmente aritmética y algebraica, y generó conceptos e instrumentos tales como el valor decimal según su posición, las fracciones decimales y el sistema métrico decimal, los números negativos, el análisis indeterminado, el método de diferencias finitas y la solución de las ecuaciones numéricas superiores.

En época muy temprana se calcularon valores muy aproximados de π. Los matemáticos de la época Han se anticiparon al método de Horner en la obtención de raíces de índices elevados. Durante los siglos XIII y XIV los tratadistas de álgebra chinos estaban en vanguardia como lo habían estado sus colegas árabes en los siglos

anteriores y también los matemáticos indios, cuando crearon la trigonometría, según conocemos, aproximadamente mil años antes. Y si examinamos las transmisiones, es patente que entre el 250 a.C. y el 1250, a pesar de todo el aislamiento e inhibición de China, fue mucho mayor la influencia matemática que ejerció su cultura que la que recibió.

3.3. Astronomía china

También fueron los funcionarios-astrónomos chinos los primeros en establecer —por lo menos en el s. VII— la ley constante (Schhang tsê) de que las colas de los cometas apuntan en dirección contraria al sol. Los astrónomos del Renacimiento, que discutieron tanto entre ellos acerca de la prioridad del estudio de las manchas solares, se hubieran avergonzado si hubieran sabido que éstas habían sido observadas en China desde el siglo I a.C., y no solamente observadas, sino registradas en documentos cuidadosamente transmitidos. Asimismo, es muy destacable el grado de precisión en la observación. En realidad es una faceta vital, pues surge por la preocupación de la medida cuantitativa que constituye una de las características más esenciales de la verdadera ciencia. Las antiguas listas astronómicas chinas daban las posiciones estelares en grados medidos[12].

Existen tres modos de determinar la posición de una estrella en el cielo, y la moderna astronomía no emplea las coordenadas eclípticas de los griegos, ni las medidas árabes del azimut, sino el sistema ecuatorial de los chinos. Las medidas de posición sobre la superficie de la esfera terrestre (la aparente bóveda de los cielos) se efectuaba en todas las civilizaciones construyendo una esfera armilar a base de círculos graduados. El mayor astrónomo helenístico, Ptolomeo (siglo II de nuestra era), disponía de un instrumento de este género, y aún pervive en el mecanismo de localización del telescopio moderno, pues éste no es tal mecanismo, sino simplemente un anteojo de tamaño y fuerza enormemente aumentados. El anteojo y los anillos graduados eran los dos elementos esenciales para determinar las posiciones celestes.

12. Cfr. Needham, J.: *La gran titulación*, op. cit., p. 47.

La astronomía china fue siempre ecuatorial y diurna, en lugar de eclíptica y anual, de modo que tenía poco de aquella astronomía planetaria para la cual los griegos habían necesitado a Euclides, pero, por otra parte, esto supuso algunas ventajas en compensación —los chinos nunca se enamoraron del círculo como la más perfecta de las figuras geométricas, y por tanto no fueron nunca prisioneros de las cristalinas esferas concéntricas del cielo, que los occidentales consideraban necesarias para explicar el movimiento de los planetas y la aparente rotación de las estrellas fijas. Por lo tanto, su influencia fue liberadora cuando los europeos se evadieron de esta prisión. Es un dato extraordinario en la historia de la ciencia que los chinos fueran capaces de lograr tan brillantes avances, y que fueran mucho más lejos que Occidente —excepto en lo que se refiere al complicado astrolabio— sin un conocimiento perfecto de la geometría en su forma deductiva euclidiana. En cualquier caso, fue el padre de la moderna astronomía de observación, Tycho Brahe, quien introdujo en el siglo XVI los dos usos chinos, el montaje y las coordenadas ecuatoriales, en la ciencia moderna, que, desde entonces, no los ha abandonado. Su razón explícita era la mayor exactitud instrumental, pero él poseía libros astronómicos árabes, y los árabes conocían bien la práctica china.

3.4. Alquimia china

Los primeros procesos alquímicos conocidos fueron realizados por los artesanos de Mesopotamia, Egipto y China. Al principio, los forjadores chinos trabajaban con metales nativos como el oro y el cobre, que a veces se encontraban en la naturaleza en estado puro, pero rápidamente aprendieron a fundir menas (principalmente los óxidos metálicos y los sulfuros) calentándolas con madera o carbón de leña para obtener los metales. El uso progresivo del cobre, bronce y hierro dio origen a los nombres que los arqueólogos han aplicado a las distintas eras. Todas las razones apoyan la convicción de que las ideas básicas de la alquimia china se abrieron paso hacia Occidente a través del mundo árabe.

Naturalmente, no podemos hablar con verdad de la alquimia en sentido estricto antes de la contribución de los árabes, pero algunos pretenden que la palabra misma y también otros términos de alqui-

mia son derivados de los originales chinos. Hasta nosotros han llegado muchos utensilios químicos del período Han, tales como vasijas de bronce, probablemente usadas para la sublimación del protocloruro de mercurio; el vapor se elevaría por los dos brazos, y se condensaría en el centro. Algunas formas de aparatos para la destilación son también típicamente chinas, y muy diferentes de las utilizadas en Occidente. El destilado, condensado por la vasija de agua fría colocada encima, gotea en un recipiente central y sale por un tubo lateral. Este es un antepasado del aparato que se usa en la química moderna. Además, la primera composición de una mezcla explosiva surgió en el curso de una exploración sistemática china de las propiedades químicas y farmacéuticas de una gran variedad de sustancias, guiada por la esperanza de alcanzar la longevidad o la inmortalidad material.

3.5. Medicina china

Las exigencias de la piedad tradicional convirtieron a la medicina en un estudio respetable para los hombres cultos, mientras que, por otra parte, su necesaria asociación con la farmacia la conectaba con los alquimistas y herboristas afines al taoísmo. De cualquier modo, la medicina es un campo que despertó el interés de los chinos en todas las épocas, y que progresó, en virtud de un genio especial, siguiendo líneas quizá más distintas de las europeas que en el caso de cualquier otra ciencia. Es reseñable que los chinos estuviesen siempre libres del prejuicio, tan llamativo en Occidente, contra los remedios minerales; no necesitaron a ningún Paracelso que les despertase del sueño galénico del que nunca habían participado. Los chinos fueron también los adelantados de las técnicas de inoculación[13].

Sin embargo, al menos en la China antigua, las prohibiciones religiosas de la disección derivaron en un escaso conocimiento de la estructura y función del organismo y, en consecuencia, la técnica quirúrgica era muy rudimentaria. Los tratamientos externos incluían el masaje y la aplicación de ventosas como forma de contra-

13. Cfr. ibídem, p. 34.

irritación, mediante la cual la sangre se trae a la superficie de la piel gracias a la aplicación de una ventosa y, al extraer el aire, se creaba un vacío parcial. Dos formas especiales de esta técnica empleadas en enfermedades reumáticas y de otra índole fueron la acupuntura, o punción de la piel con agujas para aliviar el dolor y la inflamación, y el cauterio o la cauterización de la piel mediante la aplicación de *moxa* candente, una preparación de hojas maceradas en aceite del ajenjo chino. El ruibarbo, el acónito, el azufre, el arsénico, y el más importante, el opio, son importantes fármacos chinos; también se emplearon, como vestigios de los rituales primitivos, las mezclas de órganos y excreciones de animales.

4

Ciencia y saber en la Europa Medieval

Introducción

En este capítulo se contará cómo el mundo occidental perdió la herencia cultural de los antiguos en dos etapas, y cómo se produjo su paulatina reanimación, en una tercera. La primera etapa, desde el siglo sexto de nuestra era, constituyó una lenta decadencia de la cultura; la segunda fue un desplome abrupto de toda actividad intelectual de cierto nivel en el occidente medieval. Cuando los árabes ocupan la cuenca mediterránea allá por el siglo VIII, sólo se topan con los documentos; no queda rastro de actividad científica. Durante la tercera etapa, que comienza a partir del siglo XII, se inicia en Occidente una lenta, pero progresiva recuperación, que culmina en el siglo XIV.

Para algunos historiadores toda la Edad Media se halla comprendida entre la muerte de Teodosio el Grande (395) y el descubrimiento de América (1492). Otros autores toman como referencia la caída de Roma en manos de Alarico (410) y la de Constantinopla ante los turcos (1453), pero no hay grandes diferencias entre unas y otras fechas. Los medievalistas suelen distinguir dos períodos, la Alta Edad Media —siglos VI-XI— y la Baja Edad Media —siglos XII-XIV. En la Alta Edad Media dominó un cierto platonismo tal y como había sido afianzado por los propios Padres de la Iglesia (Tertuliano, Lactancio, San Jerónimo y San Agustín). Durante la Baja Edad Media, en cambio, la influencia aristotélica se torna más predominante.

Teodosio dividió definitivamente el Imperio Romano, dejando la parte oriental a su hijo Arcadio y la occidental a su hijo Honorio. Tras la caída del Imperio Romano, el occidente europeo conoció una situación tan enrarecida que los núcleos más importantes del saber no pudieron sobrevivir o se dispersaron, en tanto que en el último período de la Antigüedad todavía surgieron nuevas escuelas parecidas al Museo en Antioquía, Edesa y otras ciudades de la antigua Mesopotamia. Fue en esos lugares donde principalmente se conservaron copias de los manuscritos de la Biblioteca de Alejandría y en ellos aún se experimentará un nuevo resurgimiento cultural de gran importancia para la historia de la ciencia en los siglos V y VI. Conviene contar además con Bizancio, donde se conservaron también muchos textos alejandrinos.

La recuperación de un nivel semejante al conseguido en la Antigüedad se aprecia en primera instancia entre los árabes, que tras un trabajoso proceso de traducción y asimilación logran hacerse cargo de la cultura científica antigua. El occidente medieval recobra el saber de los antiguos durante la fase de reconquista, aproximadamente a partir del siglo X, en que comienzan a realizarse traducciones al latín a través del árabe, y hasta el llamado Renacimiento del siglo XII. Los factores económicos, sociales e institucionales (escuelas de traducción, primeras universidades) que intervienen en este proceso son dignos de mención. Uno de los puntos de intercambio entre el occidente medieval y la cultura árabe era Toledo. Se puede destacar la importancia del mecenazgo de Alfonso X para el avance de la astronomía.

Lo esencial desde el punto de vista intelectual es observar los nuevos problemas que se crearon al calor de la recuperación de textos. Tras la traducción, la interpretación y la asimilación se hicieron trabajosas, ya que los medievales pensaron en el saber antiguo como en un todo unitario. Esto, unido la aleatoriedad en la recuperación de los textos, hizo que gran parte del esfuerzo se dirigiese a restablecer la presunta coherencia de las obras de distintos autores antiguos. Hoy sabemos que gran parte de los problemas interpretativos con los que se enfrentó la escolástica eran, en realidad, pseudoproblemas forzados por la deformada perspectiva histórica. Mas, en general, la empresa de la asimilación del saber antiguo difícilmente se pudo conducir por otros derroteros y el mismo empeño en la

recuperación de una supuesta coherencia inicial hizo emerger auténticos problemas no resueltos por los antiguos que alentaron la investigación.

a) *La Alta Edad Media*

Marciano Capella suministraría a la cultura de la época, hacia el año 500, una célebre enciclopedia elemental de las siete artes liberales: gramática, dialéctica, retórica, geometría aritmética, astronomía y música, clasificación de la cual no era autor, porque ya la podemos encontrar en Varrón. Utiliza una cosmología de filiación neoplatónica y toda la obra fue considerada como el *desideratum* de la cultura durante muchos años en todo el occidente europeo. Podemos añadir las obras de Casiodoro (490-585) y San Isidoro de Sevilla (560-636). Las *Etimologías* de éste último constituyen tal vez la mejor expresión del saber en este período y tuvieron una difusión amplísima durante siglos. Otros hombres sabios fueron los ingleses Beda el Venerable (673-735) y Alcuino (735-804). Ninguno de ellos llegó a construir un sistema natural de conocimientos, sino más bien toscos tapices hechos de distintos retales.

La cosmología de esta época es la del *Timeo*. No obstante, también sobrevivió Aristóteles, principalmente a través de los tratados de lógica y gracias a Boecio (480-524), que fue el último pensador clásico. Las otras obras de Aristóteles eran prácticamente desconocidas, sobre todo las de mayor interés científico. Además, en esta época, parece ser que se había difundido relativamente la *Historia natural* de Plinio y una serie de tradiciones médicas mantenidas a través de libros apócrifos atribuidos a Dioscórides, Hipócrates y Apuleyo[1].

Durante los siglos VI y VII hubo una gran corriente astrológica por todo el Occidente. La Astrología es un fenómeno paracientífico originado posiblemente en Babilonia y que experimentó un resurgimiento hacia la segunda mitad del Imperio Romano que continuaría hasta el período que consideramos. Durante el siglo IX, te-

1. Cfr. PARÉS, R.: *La Revolución científica. De Tales de Mileto a Einstein*, Ed. Pirámide, Madrid, 1987, p. 107.

nemos en el occidente europeo el denominado Renacimiento carolingio, basado sobre todo en un intento político-militar de restaurar un orden inspirado en el Imperio Romano. Contribuyó a la conservación de unos pocos textos antiguos, pero culturalmente es poco importante, sobre todo en el contexto histórico del desarrollo de la ciencia. El siglo X es un siglo de guerras, de destrucción y de miseria, tanto material como intelectual. Sólo los monasterios solitarios constituyen un remanso de paz y el único refugio seguro. La cultura cristiana queda, además, eclipsada en esta época —siglos X y XI— ante el florecimiento de la cultura musulmana.

Parece evidente que durante el período que acabamos de considerar el nivel intelectual se mantuvo mucho más alto en los países del Oriente Medio. En todo el imperio bizantino se hablaba y se escribía griego, pero un griego que evolucionaría rápidamente. La lengua clásica muy pronto sólo sería accesible a las clases más cultas, dentro de las que hubo comentaristas de Platón y de Aristóteles, pero cada vez se polarizaron más sobre cuestiones teológicas, para las que los libros antiguos no servían de mucho. En Bizancio la medicina se profesionalizó mucho y, aunque conservó un nivel relativamente alto en el orden práctico, escapó de las esferas más cultivadas de la sociedad.

En el sudeste de Persia tuvo lugar un gran florecimiento cultural en la época a que nos estamos refiriendo. Su centro fue Gûndisapûr, la capital de los reyes sasánidas, que fueron aquellos que habían sucedido a los partos. Allí fue a parar lo mejor de los nestorianos —seguidores de Nestorio, un patriarca de Constantinopla, cuyas doctrinas fueron declaradas heréticas— los cuales fueron un elemento decisivo para dicho resurgimiento cultural. Los reyes sasánidas terminaron con la invasión musulmana, pero los nestorianos continuaron después de ésta, constituyendo la verdadera unión entre el mundo antiguo y el Islam. La mayoría de los escritores nestorianos dominaban el griego, el siríaco y el persa. Llegaron a sus manos excelentes copias antiguas, lo que les permitió conocer tanto a Hipócrates y Aristóteles como a Platón, Euclides, Arquímedes y Ptolomeo.

Así llegamos al punto de la historia de Occidente en que los árabes, electrizados por las doctrinas mahometanas de la «guerra santa», invadieron el norte de África y el sur de Europa. Aunque frecuentemente fueron proselitistas violentos, tuvieron también lí-

deres prudentes que optaron por respetar la cultura y las instituciones de los pueblos que pasaron a dominar. La metrópli nestoriana de Gûndisapûr se convirtió en el primer gran centro cultural del nuevo imperio musulmán. Durante los siglos X y XIII los árabes sirven de intermediarios entre la ciencia griega y el occidente medieval. Los textos científicos griegos que contribuyeron a renovar el mundo intelectual de Occidente pasaron a través de los árabes. En consecuencia, la ciencia árabe suele ser vista como un mero intermediario entre la Antigüedad y el Occidente medieval. En este apartado trataremos de modificar esa imagen de manera que también se haga justicia, por un lado, a su función como punto de unión de varias tradiciones y, por otro, a sus aportaciones propias.

Otro momento estelar de esplendor cultural de esta época lo constituye la Escuela de Traductores de Toledo. Al frente de ella se encontraba el arcediano de Segovia, Gundisalvo. Su colaborador más importante fue Juan Sevilla, judío converso que con Gerardo de Cremona tradujo *De Coelo et mundo* y *De Anima*, dos obras de Avicena, y *Fons vitae*, de Avicebrón, un judío del siglo XI que escribía en árabe. Acudieron a Toledo hombres de todo el occidente cristiano, que casi nunca conocían el árabe y que tenían que traducir al latín con la ayuda de colegas españoles. Así, Roberto de Chester (1110-1160), ayudado por Domingo González, tradujo el *Corán*, tablas astronómicas, el que sería el primer texto de alquimia en latín y obras de matemáticas de Al-Khwarizmi. Alberto de Bath (1090-1150) tradujo también a Al-Khwarizmi y Euclides, además de escribir *Quaestiones naturales*, una obra propia de síntesis de la ciencia arábiga.

Mención aparte merecen las dos Sicilias: la isla de Sicilia y el sur de Italia. En estos territorios siempre había permanecido cierta tradición griega y, después de la conquista musulmana, se estableció también la cultura arábiga. El ulterior dominio normando no fue obstáculo para que se constituyera un centro intelectual alimentado a la vez de saber griego y árabe. Allí el desarrollo de la medicina tuvo una gran importancia a partir del año 1050. Encontramos figuras como Constantino el Africano (1017-1087), natural de Cartago, que llegó a Salerno en el año 1070 y tradujo al latín varias obras científicas y de medicina escritas en árabe.

De este centro del sur de Italia surgió un número bastante importante de traducciones al mismo tiempo que en España durante

los siglos XII y XIII. Entre ellas encontramos las de *Óptica* y el *Almagesto* de Eugenio de Palermo (1160), y el *Liber continens* de Al-Razi o Razés, que tradujo el judío Moisés Farachi (1285). La figura más destacada fue, empero, Miguel Escoto (1175-1235), que vivió tanto en España como en Sicilia. Tradujo al latín la *Astronomía* de Alpetragius, las obras científicas de Aristóteles y algunos escritos de Averroes.

El hecho de que el árabe fuera la lengua de transmisión de las obras griegas durante la segunda parte de la Edad Media no es casual. Por una parte, las versiones árabes eran más abundantes que los mismos originales, debido a las sucesivas traducciones que hicieran los primeros nestorianos; y, por otra parte, entre los siglos X y XIV, la enseñanza musulmana estaba mucho mejor organizada y tenía más fuerza que en el imperio bizantino. Las *Madrazas* árabes han sido consideradas como las precursoras directas de las Universidades de los siglos XII y XIII[2].

Si el bizantino era muy diferente del griego clásico, en cambio el árabe clásico se comprendía perfectamente bien por los que hablaban el árabe vulgar. Éste se podía aprender fácilmente en España y en otros lugares, mientras que el griego sólo podía aprenderse en pequeños reductos del sur de Italia.

Estamos sobre el panorama intelectual de fines del siglo XII y principios del XIII, esto es, en la transición hacia la llamada Baja Edad Media, donde todo el Occidente se reanima y toma nuevo aspecto. El fenómeno intelectual más importante de la Baja Edad Media es la Escolástica. Con ella se retorna a una vieja aspiración de la Antigüedad clásica: la de un sistema unitario y completo de conocimientos. Naturalmente que entonces esto requería también una estricta armonía con el dogma y la moral.

b) *La Baja Edad Media*

El comienzo del siglo XIII viene marcado por la fundación de dos grandes órdenes religiosas, la de los dominicos y la de los fran-

2. Cfr. ibídem, p. 120.

ciscanos. Entonces se sintió también la necesidad de internacionalizar la vida cultural, de acuerdo con la movilidad de los hombres de las referidas órdenes, y de centralizar los estudios, de lo que surgieron las universidades, promovidas por el Papa en su primera época. Las más antiguas son las de Salerno, Bolonia, Reggio, Montpellier, París y Oxford. Esta última se originó a partir de unos disidentes de París, como más tarde se originará Cambridge de unos disidentes de Oxford: las universidades españolas más antiguas son del comienzo del siglo XIII. Así, tenemos la de Palencia en 1212, Salamanca en 1215, Valladolid en 1260 y Lérida en 1300.

Los dominicos y los franciscanos son los primeros grandes profesores de esta nueva institución. La orden de los dominicos o hermanos predicadores fue fundada en Tolosa por Domingo de Guzmán (1170-1121). Los dominicos se llamaban «*Domini canes*» que quiere decir «perros del Señor», aludiendo a su misión de vigilancia permanente de los errores y herejías. De ahí su importancia en el establecimiento de la Inquisición en los reinos cristianos, dentro de la cual florecieron durante siglos grandes figuras de triste memoria. Pero también fueron dominicos los hombres más preclaros del Renacimiento cristiano del siglo XIII, como San Alberto Magno (1206-1280) y Santo Tomás de Aquino (1227-1274).

San Alberto Magno, aparte de ser uno de los pilares de la filosofía escolástica, se encuentra también dentro de los pocos hombres que vuelven a interesarse por la Naturaleza. Nos ha dejado obras de historia natural que, además de permitirnos conocer lo que se sabía en aquel tiempo, atestiguan un despertar del pensamiento que trascenderá a los tiempos venideros. Discípulo de San Alberto fue Santo Tomás de Aquino, autor de una impresionante obra filosófica y teológica. Tomás de Aquino no realizó contribuciones a las ciencias naturales, pero formuló una síntesis filosófico-teológica de enorme fuerza, en donde cada uno de los distintos saberes es respetado en su autonomía propia, y estimuló poderosamente el trabajo intelectual posterior, en el que ocupaba un lugar central la idea de un mundo racional e inteligible.

Es sabido que la orden de los franciscanos fue fundada por San Francisco de Asís, con un espíritu muy diferente del de la orden dominica. Entre los franciscanos tienen interés, en relación a nuestro objeto, figuras como Grosseteste que tiene estudios de física y matemá-

ticas basados en fuentes árabes, y Bacon. Roberto Grosseteste (1175-1253) defendía una mística de la luz, en la que las esferas celestes y terrestres (fuego, aire, agua y tierra) estaban compuestas de luz según diferentes procesos de agregación, disgregación y difusión, y que todos los fenómenos se explicaban a partir de aquí con claras reminiscencias neoplatónicas. Sus investigaciones se centraron en las lentes y en la geometría, en la que plantea la necesidad de estudiar los elementos geométricos de la materia para entender la Naturaleza.

Más importante es Roger Bacon (1214-1294), franciscano, discípulo del anterior, que fue profesor en París y en Oxford. Es interesante lo que escribió de matemáticas y óptica, sobre todo por reflejar la convicción de que los conocimientos naturales podían experimentar grandes progresos en beneficio del hombre, entre los cuales nos habla hasta de aparatos para volar, explosivos, obras de ingeniería y vehículos de propulsión mecánica. En el campo de la óptica, hay que señalar sus investigaciones de la luz, en las que plantea las leyes de la reflexión y de la refracción, y la combinación de éstas para lograr telescopios y antiparras. El interés por la óptica que se observa en éste y otros autores de su tiempo está relacionado con el uso de cristales ópticos y la introducción de las gafas en Europa que tuvo lugar en esta época.

También hemos de referirnos a Ramón Llull, que nació en la ciudad de Mallorca en el año 1235. Fue un hombre de la corte de Jaime I, que dejó de súbito la familia y la vida cortesana para dedicarse al estudio, ingresando en la orden franciscana. Aprendió árabe y latín y fomentó el estudio de la lengua de los infieles para formar misioneros. Sus obras son muy numerosas y variadas, pero algunas, como el *Arbre de Ciència, Nova geometria* y *Tractatus novus Astronomiae* son realmente importantes desde el punto de vista de la historia de la ciencia.

Se ha dicho que Llull entrevió lo que hoy se conoce como *Ley de Weber y Fechner*, en relación con el estímulo y la respuesta biológica, aunque quizá ya lo había hecho Al-Kindí en el siglo IX. También se ha sugerido que Leibniz encontró en la obra de Llull la inspiración para desarrollar la teoría combinatoria. Lo cierto es que, a través de sus escritos, influyó sobre el pensamiento occidental de la Baja Edad Media y del Renacimiento primitivo, por lo que constituye una figura que puede parangonarse con Nicolás de Cusa.

En el terreno de la tecnología, la Edad Media conoció algunos progresos notables. Comenzando con nuevos métodos de aprovechamiento de la energía animal, hidráulica y eólica, se desarrollaron nuevas máquinas para fines variados, que en ocasiones exigían una precisión notable. Algunos inventos técnicos, por ejemplo, el reloj mecánico y las lentes de aumento, iban a ser utilizados como instrumentos científicos. Instrumentos de medida, como el astrolabio y el cuadrante, serán enormemente perfeccionados como consecuencia de la necesidad de medidas precisas. En la química se estableció el empleo habitual de la balanza. Se hicieron progresos empíricos, y el hábito experimental condujo al desarrollo de aparatos especiales.

En las ciencias biológicas, se realizaron progresos técnicos considerables. Se escribieron obras importantes sobre medicina y cirugía, sobre los síntomas de las enfermedades, y se hicieron descripciones de la flora y la fauna de distintas regiones. Se inició la clasificación y se facilitó la posibilidad de tener ilustraciones exactas gracias al arte realista. Pero quizá la contribución más importante de la Edad Media a la biología teórica fue la elaboración de la idea de una escala de la Naturaleza animada. En Geología se hicieron observaciones y la auténtica naturaleza de los fósiles fue captada por algunos autores.

Para acabar esta síntesis, se pueden añadir dos contribuciones medievales respecto de la cuestión del objeto y de la naturaleza de la ciencia. La primera es la idea, expresada tácitamente por vez primera en el siglo XIII, de que el objeto de la ciencia era obtener un dominio sobre la naturaleza útil para el hombre. La segunda idea es la de que ni la acción de Dios ni la especulación del hombre podían ser constreñidas dentro de los límites de un sistema concreto del pensamiento científico o filosófico. Cualesquiera que pudieran haber sido sus efectos en otras ramas de la ciencia, la consecuencia de esta idea sobre la ciencia de la naturaleza fue la de poner de relieve la relatividad de todas las teorías científicas y el hecho de que podían ser reemplazadas por otras que tenían más éxito en cumplir los requisitos de los métodos racionales y experimentales[3].

3. Cfr. CROMBIE, A.C.: *Augustine to Galileo, vol II: Science in the Later Middle Ages —and Early Modern Times— 13 th-17 th centuries;* trad. esp.: *Histo-*

Los hitos científicos más sobresalientes en esta época serán sintetizados a continuación:

529. El emperador bizantino Flavio Anicio Justiniano I ordena la disolución de la Academia de Atenas, por considerarla el último baluarte intelectual del paganismo. Benito de Nursia funda, en la Península Itálica, la abadía benedictina de Montecassino, poseedora de una biblioteca de extraordinario valor.

c.540. Muere el monje y cronista latino Dionisio el Exiguo, que introdujo el concepto de «era cristiana», tras fijar el nacimiento de Jesucristo en el 25 de diciembre del año 753 de la fundación de Roma.

600. Es introducida la numeración hindú en Siria. Se crea una academia hipocrática en Gûndisapûr, en la antigua Persia.

615. Isidoro, arzobispo de Sevilla, termina *De Natura*, tratado de astronomía y geografía.

625. El astrónomo y matemático hindú Brahmagupta escribe el tratado *Siddhânta*, en el que desarrolla importantes estudios de álgebra y geometría.

662. El obispo monofisita de Siria, Severo Sebockt hace la primera mención en Occidente del sistema numérico con notación posicional.

773. Los astrónomos persas Ja'qûb ibn Tariq y Abû Ishâq Ibrâhîm al-Fazârî traducen al árabe el tratado astronómico *Siddhânta*, del matemático hindú Brahmagupta.

c.777. Muere el astrónomo y matemático persa Abû Ishâq Ibrâhîm al-Fazârî, que había construido el primer astrolabio esférico. Por primera vez, los árabes emplean nafta como materia incendiaria, en una de sus razzias en la India.

ria de la Ciencia: De San Agustín a Galileo. La Ciencia en la Baja Edad Media y comienzos de la Edad Moderna: siglos XII al XVII, Alianza Editorial, Madrid, 1974, p. 103.

c.780. Alquimistas árabes obtienen, por primera vez, el ácido sulfúrico. Abû Jahja traduce al árabe el *Tetrabiblos* del astrónomo y matemático griego Claudio Ptolomeo.

786. El califa Hârûn al-Rasîd decreta que toda nueva mezquita deberá tener anejo un centro hospitalario.

800. El astrónomo árabe Al-Khwarizmi redacta una introducción al cálculo hindú.

Se traduce al árabe la *Geografía* del astrónomo y matemático griego Ptolomeo.

805. El emperador de occidente Carlomagno ordena que se introduzca la medicina en el programa de las escuelas catedralicias con el nombre de física.

810. El alquimista árabe Yâbir ibn Hayyân establece la teoría de la Balanza.

960. El médico judío Hasday ibn Saprut, establecido al servicio del califa de Córdoba, traduce al árabe la obra del médico y naturalista griego del siglo I Dioscórides, con la ayuda de un monje griego.

961. Abderramán Al-Sufí publica *El libro de las estrellas fijas*.

965. Nace en Basora (Iraq), el gran físico y matemático Abû 'Alî Muhammad ibn al-Hasan ibn al-Haytam, llamado Alhazen por los latinos.

966. Se construye el primer reloj de pesas móviles, atribuido al matemático y físico Gerberto de Reims.

970. El califa omeya Al-Hakem II funda, en Córdoba, una academia de estudios astronómicos, dotada de una bibilioteca especializada.

978. El astrónomo cordobés Maslama ibn Ahmad elabora una tabla con la situación de las estrellas fijas siguiendo el método de Al-Battânî y teniendo en cuenta sólo las estrellas del astrolabio.

988. Se construye un observatorio astronómico en los jardines del palacio real de Bagdad (Iraq) por orden del califa Sharaf al-Dawla.

990. Gerberto de Aurillac compone un tratado de matemáticas. Ibn Yûnus, uno de los más grandes astrónomos musulmanes, comienza a preparar, en El Cairo, las llamadas *Tablas hakemitas*.

999. El médico cordobés Abû al-Qâsim publica un tratado de medicina en treinta volúmenes.

1013. Muere Abû al-Qâsim, médico cordobés, primer gran cirujano de la época, que estudió Anatomía y disección.

1022. El médico Abû 'Alî al-Husayn Ibn Sinâ (Avicena) escribe su obra principal, *La curación* (Al-shifa), en la que trata detenidamente la lógica, la matemática, la física y la metafísica.

1037. Muere el filósofo y médico persa Abû al-Husayn Ibn Sinâ, llamado Avicena.

1044. Se documenta, en Venecia, la existencia de molinos de agua que funcionan con el flujo y reflujo del mar.

1050. Funciona, en Salerno (Italia), la primera escuela médica europea.

1054. El matemático Franco de Lieja escribe un tratado sobre la cuadratura del círculo.

1080. El astrónomo cordobés Al-Zarqali —Azarquiel— compone las *Tablas toledanas*, célebre compendio de observaciones astronómicas.

1087. Fallece en Sevilla el astrónomo y matemático árabe Azarquiel.

1100. Publicación del *Regimen Sanitati*, compendio de preceptos médicos e higiénicos basados en las doctrinas de la Escuela de Salerno (Italia). Por esta época se funda la Escuela de Medicina de Montpellier (Francia).

1126. Adelardo de Bath, filósofo y matemático anglosajón, traduce al latín las *Tablas de senos* compuestas por el matemático árabe Al-Khwarizmi.

1142. Juan de Sevilla compila el *Epitome totius astrologiae*. Muere el filósofo inglés Adelardo de Bath, que contribuyó a difundir en Occidente las ciencias griega y musulmana.

1145. Se documenta, en China, la primera disección de un cadáver humano. Gerardo de Cremona traduce al latín la *Física*, de Al-Kindi y Roberto de Chester *El álgebra*, de Al-Khwarizmi.

1169. El médico y filósofo cordobés Averroes compone *El libro general de medicina.*

1179. Fallece Hildegarda de Bingen, teóloga y física germana que tomó notables apuntes sobre las setas y peces del Rin.

1188. El filósofo judío cordobés, Salomón ben Maimón (Maimónides) escribe *Fusul Musa*, compendio de los aforismos de Moisés, en los que divulga las ideas médicas de Galeno.

1190. Primeros testimonios de la existencia de la brújula magnética en Europa. El médico Roger de Frugardo de la escuela de Salerno (Italia) compone un tratado de cirugía.

1202. El matemático Leonardo da Pisa recoge en su obra *Liber abbaci* buena parte de los principios matemáticos árabes.

1204. Muere Alpetragius, astrónomo y filósofo árabe, cuya obra capital, *Astronomía*, desarrolla una nueva teoría de los movimientos de los astros que contradice las tesis de Ptolomeo.

1220. El matemático Leonardo da Pisa escribe la *Practica geometriae.*

1252. Alfonso X el Sabio, rey de Castilla y León, manda compilar la astronomía musulmana y hebrea en *Las tablas alfonsinas.*

1269. Guillermo de Moerbeka, arzobispo de Corinto, traduce buena parte de la obra de Arquímedes. El astrónomo, matemático y físico flamenco Pedro de Maricourt escribe *Epístola de Magnete.*

1280. El astrónomo árabe Muhammad Ibn Abû Bakr Al-Fârisi realiza buena parte de sus más famosas investigaciones este año.

1297. El filósofo mallorquín Ramon Llull escribe *Tractatus novus de astronomía.*

1311. Muere Arnau de Vilanova, médico y astrólogo valenciano, autor del libro *Sobre la conservación de la juventud.*

1316. El anatomista Mondino de Luzzi realiza una disección de cadáver humano en Bolonia (Italia).

1317. El papa Juan XXII condena la alquimia dedicada a destilar y transformar minerales.

1328. El filósofo de Oxford (Inglaterra) Thomas Bradwardine escribe *Tratado de las proporciones.*

1329. Fallece el astrónomo judío Isaac Israelí, autor de *Los principios del mundo* y *Las puertas del cielo.*

1330. El médico de Ferrara (Italia) Pedro Bueno escribe *Pretiosa margarita novella*, célebre obra de alquimia. El astrónomo bizantino Teodoro Metoquita predice la aparición de dos eclipses con gran precisión. Fallece Henri de Mondeville, cirujano francés.

1332. Fallece el astrónomo bizantino Teodoro Metoquita, que comentó a Ptolomeo y estudió los eclipses.

1333. Sadr al-Sharî al-Thani, de Bujara, termina una enciclopedia.

1337. El astrónomo Juan de Génova concluye *Canon eclipsium* e *Investigatio eclipsis solis anno christi 1337.*

1338. El astrónomo italiano Hugo de Città de Castello escribe *De diebus criticis secundum astrologos.* Florece el matemático bizantino Nicolás Rhabdas.

1339. Publicación del famoso portulano del mallorquín Angelino Dulcert. Muere Shams al-Dîn Mîrak, matemático y astrónomo persa, autor de diversos tratados y comentarios astronómicos.

1340. Muere al-Qazwini, el «Plinio» musulmán, autor de una importante enciclopedia.

Fallece el matemático inglés Walter Burley.

1342. Levi Ben Gerson de Montpellier introduce el uso de la ballestilla, instrumento para calcular la altura de los astros.

1343. Época de florecimiento de al-Jazûlî, autor de un tratado sobre el astrolabio.

1344. El italiano Jacopo de Dondi inventa el reloj con esfera.Fallece el cartógrafo genovés Juan de Carignano.

1345. Juan de Murs y Fermín de Belleval componen la epístola *Super reformatione antiqui calendarii*, base de la reforma del calendario aprobado por Gregorio XIII en 1582. Publicación de *Anatomía*, de Guido de Vigevano, obra cumbre de la medicina quirúrgica medieval.

1354. Fallece el matemático inglés Richard Wallingford, uno de los introductores de la trigonometría en Occidente.

1355. Muere Iacopo Dondi, que construyó un complejo reloj de torre con pesas en Padua (Italia).

1358. Joseph Ben Isaac Ibn Waqar de Sevilla compone unas tablas astronómicas.

1359. Fallece Nicéforo Gregoras, erudito bizantino, autor de varios tratados sobre los eclipses, el astrolabio y la música.

1360. Muere al-Jiloaki famoso alquimista de su época. También lo hace el médico Tomás del Garbo, autor de una obra dedicada a la prevención de la peste y el naturalista iraquí Ibn al-Duraihim, que realizó numerosas descripciones de la fauna occidental y oriental.

1361. El matemático francés Nicolás de Oresme, obispo de Lisieux, escribe un tratado en el que aparece la primera representación gráfica de las magnitudes. Guy de Chauliac, «padre de la cirugía francesa», describe la hernia femoral.

1364. Giovanni da Dondi, hijo del célebre relojero Iacopo, termina el famoso reloj de Padua (Italia), que combinaba este objeto con un planetario.

1365. El médico francés Jean de Borgoña escribe *Tratado sobre las enfermedades epidémicas*, dedicado al estudio de la peste.

1369. Primeros testimonios de la fabricación de ballestas de acero en Europa.

1371. Desarrolla un importante actividad el teólogo e historiador Konrad von Hegenberg, canónigo de Regensburg (Alemania), autor del *Libro de la naturaleza.*

1373. Por primera vez en Europa, los holandeses construyen compuertas de desagüe. Francesco Pizzigani dibuja una carta marítima.

1374. El cirujano barcelonés Sixtus Fort realiza, en Cataluña, la primera laparotomía reglada.

1375. Muere envenenado Liu Chi, astrónomo chino que preparó el primer calendario Ming y también lo hace Ibn al-Shâtir, astrónomo de Damasco (Siria).

1377. Fallece León Grech, médico y astrólogo judío de Pedro IV de Aragón.

1378. Guillermo Sedacer escribe un famoso tratado de alquimia.

1380. Desarrolla su actividad investigadora al-Shâdhilî, último oftalmólogo célebre del Islam medieval. El ingeniero chino Zhan Xi-Yuan crea el reloj con engranajes de reducción.

1381. Primeros testimonios del uso de caracteres móviles de metal en Limoges (Francia). Isaac Alhadîb, astrónomo hispanojudío, escribe *Orah Selulah*, tablas astronómicas.

1382. Muere el matemático Nicolás de Oresme, autor de *Algorismus proportionum*, en el que estudia los exponentes fraccionarios.

1385. John Dombelay, químico inglés, escribe el *Hortus amoris*, famoso libro de alquimia.

1389. Andrea Da Sommeria escribe el tratado de astronomía *De stellis et motu earum.*

1390. Época de trabajo de Abû Sa'id al-Afif, médico de El Cairo (Egipto). Muere el matemático Alberto de Sajonia, autor de *Quaestiones in libros de coelo et mundo.*

4.1. La alquimia

Hay que admitir que los árabes, al menos en cierta manera, fueron los creadores de la alquimia, primera ciencia que se desarrolla

casi exclusivamente como un conjunto de conocimientos experimentales. Quizás los árabes no fueron los primeros que provocaron deliberadamente modificaciones del transcurrir natural de los fenómenos con el fin de conseguir un resultado concreto, pero la ordenación de la experiencia recogida permitirá después el descubrimiento de leyes generales. En este sentido, alcanzaron un nivel mucho más avanzado que sus precedentes. Los árabes debían su interés por la alquimia principalmente a los griegos y hebreos alejandrinos, pero también a los chinos. Los alquimistas árabes y sus sucesores europeos se interesaron en la consecución de tres objetivos: descubrir la piedra filosofal, es decir, la transmutación de metales vulgares en oro, la obtención del remedio o panacea universal y la del elixir de larga vida, medicina para todas las enfermedades, procedente probablemente de la alquimia china.

Es evidente que estas prácticas son anteriores a los árabes y de hecho las hallamos en todas las culturas primitivas. Pero los sabios de la Antigüedad clásica rechazaron en general todas estas quimeras y esto, en cierto modo, es un signo importante de progreso intelectual. Cuando, más tarde, decae su influencia y todo lo vulgar y fantasioso cobra nueva fuerza, se opera una transformación peculiar de una actitud primitiva que da lugar a la alquimia. Ésta se va vistiendo poco a poco de unos objetivos místicos, con la consecución de los cuales se hacen posibles unas operaciones maestras que sólo tienen éxito a través de un ritual complejo. La alquimia era acientífica en sus objetivos, pero fue parcialmente científica en sus métodos basados en el experimento y en la observación[4].

La alquimia fue un arte más que una ciencia, un arte cuyo objetivo no era fácil de obtener, que digamos. Llevaba en sí una cantidad considerable de ocultismo, pero fue de valor para la ciencia a causa de sus productos secundarios. Los alquimistas descubrieron importantes sustancias, como los alcoholes y los ácidos minerales, que luego resultaron de mucho uso en la industria y en el progresivo nacimiento de la química científica.

El gran padre de la alquimia árabe es Gebero (hacia el año 850), que era siríaco y no profesaba la religión islámica. A él se

4. Cfr. HULL, L.W.H. : *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 147.

debe la obtención del aceite de vitriolo, los alumbres, el sublimado corrosivo, el salnitro y el agua regia, entre otros compuestos inorgánicos. Gebero influyó muchísimo durante varios siglos, pero diversas corrientes alquimistas posteriores pueden considerarse más bien como una degradación de la obra de este autor. A través de los alquimistas no solamente se adopta una especie de estrategia experimental que más tarde tomará el método científico, sino que se hacen progresos positivos, entre los cuales hemos de contar la preparación de gran número de compuestos inorgánicos y el conocimiento de operaciones como la evaporación, filtración, sublimación, fusión, destilación y cristalización. De esto resultó la invención del alambique, base de la obtención de los aguardientes que de los árabes pasaron a Europa a través de España.

4.2. La astronomía

Los árabes fueron capaces de hacer muchos progresos a partir del mundo intelectual heredado de la Antigüedad clásica. Quizás en orden de importancia puedan ponerse en primer lugar los relativos a las matemáticas y a la astronomía y, después, los que hacen referencia a la alquimia y a la medicina, cuyas aportaciones resultaron también de primera importancia para el desarrollo de estas disciplinas. Como punto de unión de varias tradiciones habrá que aludir a los contactos de los árabes no sólo con la tradición griega, sino también con la mesopotámica, persa e hindú, que permitieron, por ejemplo, mejorar considerablemente la notación numérica y disponer de tablas y anotaciones de diversas procedencias, lo cual redundó en un evidente beneficio para la astronomía. Nos interesa también presentar la ruta que siguió el *Almagesto* de Ptolomeo, al que todavía hoy nos referimos por su nombre árabe, y las aportaciones propias de astrónomos árabes como Al-Battani o el astrónomo de la escuela de Maraga Nasir al-Tusi. En el terreno de la astronomía observacional es destacable la construcción de instrumentos de precisión y la actividad del observatorio de Maraga.

En astronomía, los árabes se contentaron con la teoría ptolemaica de los epiciclos, si bien los andalusíes usaban modelos homocéntricos. En el siglo XI, el principal astrónomo árabe en Espa-

ña Al-Zarqali o Azarquiel de Toledo[5], hizo la genial indicación de que las órbitas de los planetas podían ser elípticas, pero la idea no se tomó en serio[6]. La observación astronómica fue desarrollada sistemáticamente y se perfeccionaron constantemente sus técnicas. Los árabes son admirables observadores por su extraordinaria precisión. El astrónomo francés Laplace utilizó por ejemplo en su *Exposition du Système du Monde* (1796) muchas de las observaciones hechas por los astrónomos árabes en el siglo XI. Por otra parte, cualquiera que haya consultado un mapa de las estrellas, se habrá dado cuenta del impacto dejado por los árabes en la astronomía: ese mapa está sembrado de nombres árabes como Betelgeuse, Algol, Fomalhaut... Muchas palabras de origen árabe —como, por ejemplo, «cenit», «nadir», «azimut»— se usan aún normalmente en las mediciones astronómicas.

Azarquiel, que trabajó en Toledo y Córdoba, dejó escritas las llamadas *Tablas toledanas* (1080), que son de notable exactitud. Otro hombre notable de la España musulmana fue Al-Bitruji de Sevilla, que en una de sus obras sustituye el sistema ptolemaico por otro sistema planetario absolutamente concéntrico que influyó sobre Copérnico.

La influencia árabe acrecentó también el interés por la astrología. Las estrellas «fijas», que se mueven con toda regularidad, controlarían el curso general de la Naturaleza, como las estaciones, la caída de las hojas y la floración de los vegetales. Los planetas, con sus movimientos irregulares, gobernarían los sucesos azarosos del mundo que nos rodea. Todo esto fue consecuencia de la antigua creencia en la relación entre el macrocosmos y el microcosmos. La astrología se convertirá en el arte de predecir los acontecimientos inciertos. También se desarrolló una medicina astrológica, basada en el convencimiento de que cada signo del Zodíaco rige cierta región del cuerpo humano y que los órganos son sensibles a la influencia de diferentes planetas[7].

5. Azarquiel (Córdoba, 1028 — Sevilla, 1087). Matemático y astrónomo árabe, autor de varios tratados: *El libro del horizonte universal, Safea y reglas para construir un astrolabio universal para las órbitas de los siete planetas*, etc.

6. Cfr. ibídem, p. 143.

7. Cfr. PARÉS, R.: *La Revolución científica*, op. cit., p. 121.

La astronomía griega se transmitió más tarde hacia el este, a los sirios, indios y árabes. Los astrónomos árabes recopilaron nuevos catálogos de estrellas en los siglos IX y X y desarrollaron tablas del movimiento planetario. Sin embargo, aunque los árabes eran buenos observadores, hicieron pocas aportaciones útiles a la teoría astronómica. La astronomía europea del siglo XIII y las traducciones árabes del *Almagesto* que circulaban por Europa estimularon el interés por la astronomía. Los europeos se contentaron en un primer momento con hacer tablas de los movimientos planetarios, basándose en el sistema de Ptolomeo, o con divulgar su teoría. Después, el filósofo y matemático alemán Nicolás de Cusa y el artista y científico italiano Leonardo da Vinci cuestionaron los supuestos básicos de la posición central y la inmovilidad de la Tierra.

Pero no podemos ignorar la figura de Alfonso el Sabio[8], rey de Castilla (1223-1284), en el contexto de este tiempo. Aparte de ser el alma del que se ha llamado «Siglo de Oro de Toledo», conviene señalar que sus tablas astronómicas, conocidas como *Tablas alfonsinas*, se extendieron rápidamente por toda Europa. Fueron calculadas con la ayuda de una serie de sabios judíos y, a pesar de no aportar muchas ideas nuevas, son más completas y exactas que todas las anteriores. Alfonso X recopiló también una extensa enciclopedia de los conocimientos astronómicos de la época, principalmente de fuentes árabes.

4.3. Las matemáticas

Después de un siglo de expansión en la que la religión musulmana se difundió desde sus orígenes en la Península Arábiga hasta dominar un territorio que se extendía desde la Península Ibérica hasta los límites de la actual China, los árabes empezaron a incor-

8. Alfonso X el Sabio (Toledo, 1221-Sevilla, 1284). Rey de Castilla y León, sucedió en 1252 a su padre Fernado III. Aspiró a la Corona imperial y fue proclamado emperador, pero no coronado. Es el creador de la prosa castellana. Entre sus obras, cabe mencionar: *Las siete Partidas*, de carácter jurídico; *Cronica general* y *Grande e general estoria*, de carácter histórico; las *Cantigas* (420 composiciones en gallego); y las *Tablas astronómicas o alfonsinas*.

porar a su propia ciencia los resultados de «ciencias extranjeras». Los traductores de instituciones como la Casa de la Sabiduría de Bagdad, mantenida por los califas gobernantes y por donaciones de particulares, escribieron versiones árabes de los trabajos de matemáticos griegos e indios. Hacia el año 900, el período de incorporación se había completado y los estudiosos musulmanes comenzaron a construir sobre los conocimientos adquiridos. Entre otros avances, los matemáticos árabes ampliaron el sistema indio de posiciones decimales en aritmética de números enteros, extendiéndolo a las fracciones decimales.

En el siglo VII se empezó a utilizar en Oriente Medio la numeración arábiga, que es de origen indostánico. Inicialmente no existía el cero y en su lugar se dejaba un espacio en blanco. Fue Al-Khwarizmi quien expuso por primera vez en un libro árabe, que se ha perdido (se conoce a través de una versión toledana conservada), el sistema de numeración que nosotros utilizamos. Del nombre de este matemático árabe vienen las voces de «guarismo» y «algoritmo». En el siglo XII, el matemático persa Omar Jayyam generalizó los métodos indios de extracción de raíces cuadradas y cúbicas para calcular raíces cuartas, quintas y de grado superior. La numeración decimal entró en Europa en el siglo XI, si bien su uso no se generalizó hasta finales del siglo XIII[9]. Si el matemático árabe Al-Khwarizmi desarrolló el álgebra de los polinomios, Al-Karayi la completó para polinomios, incluso con infinito número de términos. Los geómetras, como Ibrahim ibn Sinan, continuaron las investigaciones de Arquímedes sobre áreas y volúmenes. Kamal al-Din y otros aplicaron la teoría de las cónicas a la resolución de problemas de óptica. Los matemáticos Habas al-Hasib y Nasir ad-Din al-Tusi crearon trigonometrías plana y esférica utilizando la función seno de los indios y el teorema de Menelao. Estas trigonometrías no se convirtieron en disciplinas matemáticas en Occidente hasta la publicación del *De triangulis omnimodis* (1533) del astrónomo alemán Regiomontano[10]. Finalmente, algunos matemáticos árabes lo-

9. Cfr. ibídem, p. 112.

10. Johann Müller, llamado Regiomontano (desconocido, 1436-Roma, 1476). Matemático y astrónomo alemán, autor de *De triangulis omnimodis*, primer tratado de la especialidad publicado en Europa. También fue autor del más antiguo de

graron importantes avances en la teoría de números, mientras otros crearon una gran variedad de métodos numéricos para la resolución de ecuaciones.

Los países europeos con lenguas latinas adquirieron la mayor parte de estos conocimientos durante el siglo XII, el gran siglo de las traducciones. Los trabajos de los árabes, junto con las traducciones de los griegos clásicos fueron los principales responsables del crecimiento de las matemáticas durante la Edad Media. Los matemáticos italianos, como Leonardo Fibonacci [11] —también llamado Leonardo de Pisa, un audaz comerciante que viajó a Oriente y que llegó a ser un matemático notable — y Luca Pacioli [12], se basaron principalmente en fuentes árabes para sus estudios. Es importante recordar que la numeración indo-arábiga se introdujo en Europa por obra del primero, mediante su obra *Liber abbaci*, una especie de enciclopedia de álgebra. Es sorprendente, no obstante, que, a pesar de las ventajas que presenta este sistema de numeración, tardara tres siglos en imponerse. De todos modos, si tenemos en cuenta la cabezonería anglosajona en relación con el sistema

los almanaques que se conserva: el *Kalendarium novum*, ilustrado y de 12 páginas, impreso en Venecia en 1476.

11. Leonardo Fibonacci (Pisa, 1170 - ídem, 1230), matemático italiano que recopiló y divulgó el conocimiento matemático de clásicos grecorromanos, árabes e indios y realizó aportaciones en los campos matemáticos del álgebra y la teoría de números. Fibonacci nació en Pisa, una ciudad comercial donde aprendió las bases del cálculo de los negocios mercantiles. Cuando Fibonacci tenía unos 20 años, se fue a Argelia, donde empezó a aprender métodos de cálculo árabes, conocimientos que incrementó durante viajes más largos. Fibonacci utilizó esta experiencia para mejorar las técnicas de cálculo comercial que conocía y para extender la obra de los escritores matemáticos clásicos, como los griegos Diofante y Euclides. Nos han quedado pocas obras de Fibonacci. Escribió sobre la teoría de números, problemas prácticos de matemáticas comerciales y geodesia, problemas avanzados de álgebra y matemáticas recreativas. Le fue concedido un salario anual por la ciudad de Pisa en 1240 como reconocimiento de la importancia de su trabajo y como agradecimiento por el servicio público prestado a la administración de la ciudad.

12. Luca Pacioli (Borgo San Sepolcro, 1445 - Roma, 1510). Religioso franciscano y matemático italiano. Está considerado uno de los grandes tratadistas del siglo XV en álgebra y aritmética, que desarrollaba para aplicar en el comercio, y autor del primer tratado sistemático sobre la contabilidad por partida doble, fechado en 1494.

métrico decimal, no resulta demasiado extraordinario. En este tiempo se introducen en Europa la brújula y la pólvora, dos inventos de origen oriental cuya importancia no puede dejarse de lado.

4.4. La medicina

A la infiltración progresiva en el mundo romano de una serie de pueblos extranjeros sucedió un período de estancamiento de las ciencias. La medicina occidental en los albores de la Edad Media consistía en una combinación de fisiología antigua, conocimientos empíricos sobre los efectos de algunos fármacos y conjuras supersticiosas. Incluso en la refinada Constantinopla, las epidemias sirvieron para iniciar el resurgimiento de las prácticas mágicas. Sólo algunos médicos griegos extranjeros como Oribasio, Alejandro de Tralles y Pablo de Aegina, mantuvieron la antigua tradición frente a la creciente decadencia moral, la superstición y el estancamiento intelectual.

En el siglo VII, una extensa parte de oriente fue conquistada por los árabes. El primer período del Islam estuvo presidido por la casa de los *Omeyas* (661-749) y durante éste los sabios nestorianos se trasladaron a Damasco, especialmente los médicos. Allí fueron a parar también una serie de judíos, y unos y otros adoptaron a menudo nombres árabes. Con el advenimiento de los *Abbasidas* (750) se llegó al período de mayor esplendor, poder y prosperidad del Islam, si bien culturalmente fuera, asimismo, cuando más saber griego y siríaco se absorbió. En esta época la gran familia nestoriana de los *Bukht-Yasu*, que perdurará hasta el siglo XI, persuadió a los califas de propagar la medicina griega a todos sus dominios [13].

En el ámbito de la medicina, merecen los árabes una mención especial por su conocimiento de las plantas medicinales. En Persia, los árabes aprendieron medicina griega en la escuela de los nestorianos cristianos, miembros de una secta del Imperio bizantino en el exilio. Estas escuelas habían guardado muchos textos perdidos en la destrucción de la biblioteca de Alejandría. Las traducciones

13. Cfr. ibídem, p. 111.

del griego contribuyeron al desarrollo del resurgimiento científico y de un sistema de medicina propio, pero basado en el pensamiento griego y romano que se extendió por todo el mundo árabe. Eran conocidos como *arabistas*. Entre los médicos arabistas más celebres hay que citar a: Al-Razi (860-932 d.C.) o Razés, famoso clínico y escritor, el primero en identificar la viruela, en el año 910, y el sarampión, y que sugirió que la sangre era la causa de las enfermedades infecciosas [14]; Isaac el Judío [15], el autor del primer libro dedicado por completo a la nutrición, y Avicena [16], cuyo famoso *Canon* permaneció como el compendio oficial de las doctrinas de Hipócrates, Aristóteles y Galeno.

Los Omeyas se establecieron en España y constituyeron el califato independiente de Córdoba. En éste se dio un fenómeno parecido al que había tenido lugar en Oriente, que tuvo su máximo esplendor en la época de los califas Abderramán III (912-961) y su hijo Al-Hakem II (961-976). Hay una verdadera cultura musulma-

14. La primera obra árabe original de medicina se debe a Al-Razi o Razés (865-925), discípulo de Honain, que se formó en Bagdag y que puede considerarse como uno de los grandes médicos de la humanidad. En él hay una fusión de las tradiciones médicas griega, persa e hindú. Razés escribió más de 200 obras, de las que la mitad tratan de medicina. La más importante de las que han llegado hasta nosotros es *al-Hawi*, que en la versión latina se llama *Liber continens*, una de las más completas enciclopedias médicas. Describe y distingue por primera vez de forma satisfactoria el sarampión, la escarlatina y la viruela. La obra médica de Razés corresponde al último período de su vida, ya que antes se había dedicado a la alquimia, siguiendo a Gebero. A él se debe la clasificación de las sustancias naturales en las de origen animal, vegetal y mineral, que llegaría pronto a ser un tópico.

15. Entre los médicos célebres del islamismo oriental está también Isaac Judeaus (855-945). Había nacido en Egipto y fue médico de los gobernantes fatimidas de Kairuan en Túnez. Sus obras son las primeras que pasaron al latín. Entre ellas, la titulada *Sobre las fiebres* es uno de los mejores libros de los que dispuso Occidente durante la Edad Media.

16. Otra figura importantísima del Islam fue Abû 'Alî Al-Husayn Ibn Sinâ (Avicena de Bucará, 980-1037). Es, sin duda, uno de los más grandes pensadores del mundo árabe y como médico ejerció una gran influencia en Europa. Ésta se debe principalmente a su obra *Canon de la medicina*, de la que se ha dicho que es la más leída de todos los tiempos. Es un gran comentarista de Aristóteles y a través de sus complicados sistemas de clasificación influyó sobre la Escolástica. Escribió también libros de alquimia.

na en España, en tanto que en el resto de Europa se encuentra sólo la influencia de la cultura árabe. Se fundaron bibliotecas y academias no sólo en Córdoba, sino en otras muchas ciudades como Granada, Sevilla, Málaga, Valencia, Murcia y Toledo. El califa enviaba gente a Oriente para adquirir todos los libros que encontraran y algunos fueron conocidos antes en Andalucía que en el mismo Irak. En suma, la España musulmana llegó a ser el depósito más accesible de la sabiduría de Oriente para los pueblos cristianos; una España donde a través de la lengua árabe se podía encontrar la cultura clásica. Desgraciadamente, el esplendor de Córdoba duró poco. El final del califato vino después de la gran dictadura de Almanzor, quien usurpó el poder de los califas, basándose en la intolerancia religiosa y en la discordia entre berberiscos y árabes, una situación que tiene ciertas resonancias en el Islam actual. Una vez dueño del poder, Almanzor fue un gobernante bastante liberal, pero a su muerte, siguió la desmembración y los reinos de Taifas.

Los arabistas del siglo XII fueron Avenzoar, primero en describir el parásito causante de la sarna y de los primeros en cuestionarse la autoridad de Galeno; Averroes [17], el más grande comentarista de Aristóteles; su discípulo, Maimónides [18], cuyos trabajos sobre nutrición, higiene y toxicología fueron muy leídos; y Al-Quarashi,

17. Averroes (1126-1198). Nacido en Córdoba, su nombre era Ibn Rushd, hijo y nieto de funcionarios de la corte. Como sus antepasados, él también ejerció de juez y también practicó la medicina. Sus escritos influyeron sobre el pensamiento judaico de los siglos XII y XIII. En realidad se trata de un florecimiento del pensamiento judaico en esta época dentro del cual pueden hallarse estos rastros, aunque, en todo caso, Averroes influirá tanto sobre los judíos como sobre los demás pensadores de Occidente durante siglos. Fue uno de los más grandes comentaristas de Aristóteles, de hecho, recibió el sobrenombre de «El Comentador». Supera a Aristóteles en muchos aspectos de tipo científico, como por ejemplo, en la idea de que el mundo no ha sido tal como es ahora, sino que está sujeto a una continua evolución. Averroes representa el final de la cultura islámica en Occidente y fue desterrado a Marruecos por los paladines de la pureza de la doctrina de Mahoma.

18. Cordobés fue también Moisés Ben Maimón (1135-1204), más conocido como Maimónides. Fue médico y consejero del gran sultán Saladino, de modo que pasó la mitad de su vida en El Cairo. En sus obras de medicina se encuentran algunas enmiendas a Galeno. La obra más importante de Maimónides fue, sin embargo, la *Guía de perplejos*, escrita en árabe en 1170, y traducida al hebreo antes de su muerte. El objetivo fundamental de la *Guía* consiste en demostrar el acuer-

también conocido por Ibn al-Nafis, que escribió comentarios sobre la obra de Hipócrates, así como tratados sobre dietética y enfermedades de los ojos, y fue el primero en señalar la circulación pulmonar de la sangre, desde el ventrículo derecho hacia la aurícula izquierda a través de los pulmones. Los arabistas consiguieron elevar mucho los valores profesionales insistiendo en examinar a los médicos antes de la licenciatura. Introdujeron numerosas sustancias terapéuticas químicas, fueron excelentes en los campos de la oftalmología y la higiene pública, y superaron en competencia a los médicos de la Europa medieval. De la época del califato de Córdoba es importante Hadai Ben Saprut, un judío que fue ministro y médico de la corte. Con la ayuda de un monje bizantino, adaptó al árabe la *Materia médica* de Dioscórides. En la misma corte, encontramos a comienzos del siglo XI al médico Abul Kassim [19], que escribió un gran manual de medicina, cuya última parte trata de cirugía, materia que habían obviado hasta entonces los otros médicos del Islam.

Europa sufrió en los comienzos del medievo una completa desorganización de la fraternidad médica laica. Para cubrir la necesidad imperiosa de asistencia médica, apareció una forma de medicina eclesiástica; surgida desde las enfermerías monásticas, se extendió con rapidez por distintas instituciones de caridad destinadas al cuidado de muchos enfermos de lepra y de otras enfermedades. Los benedictinos fueron muy prolijos en esta actividad; recopilaron y estudiaron textos médicos antiguos en su biblioteca de Montecassino, Italia: san Benito de Nursia, fundador de la orden, obligó a sus miembros al estudio de las ciencias, y en especial de la medicina. Un abad de Montecassino, Bertaharius, fue un médico famoso.

Bajo la dirección del teólogo franco Rabanus Maurus [20], Fulda se convirtió en un famoso centro de aprendizaje médico en Alema-

do entre fe y razón, ya que es una sola la verdad que el hombre conoce a través de la revelación y de la filosofía.

19. Abul Kassim (936-1013). Médico y cirujano hispano-árabe, autor de *Tesrif*, célebre enciclopedia médica, muy seguida en la Edad Media.

20. Rabanus Maurus (Maguncia, 780 - ídem, 856). Discípulo de Alcuino, Maurus fue abad de Fulda y arzobispo de Maguncia. Se le llamó *Praeceptor Germaniae*, por su labor educadora.

nia. En el siglo IX, como resultado de los esfuerzos del emperador Carlomagno, la Medicina se incluyó en el currículo de las escuelas catedralicias. Contrastando con ello, el eclesiástico francés san Bernardo de Claraval prohibió a los monjes cistercienses el estudio de libros médicos y el uso de cualquier remedio que no fuera la oración.

Pero lo más destacable en este período es el desarrollo de dos importantes escuelas médicas, la de Bolonia y la de Montpellier. Durante los siglos IX y X el balneario de Salerno, situado cerca de Montecassino, fue cada vez más reconocido como centro de actividad médica. A principios del siglo XI, la escuela médica de Salerno se convirtió en la primera facultad de medicina occidental. La enseñanza fue, al principio, práctica y secular y se centraba en la nutrición y en la higiene personal. El médico italiano y traductor Constantino el Africano, que se convirtió en monje benedictino y se retiró a la abadía de Montecassino, tradujo al latín textos árabes y de muchos médicos griegos clásicos destinados a los estudiantes de Salerno y Montecassino. En el siglo XII, la formación médica era teórica y escolástica en su mayoría y se expandió hasta llegar a la Facultad de Medicina de Montpellier, en Francia, y más tarde a las universidades de París, Oxford y Bolonia.

A fines del siglo XII, el resurgimiento de la medicina laica y las restricciones a las actividades fuera del monasterio conllevaron el declive de la medicina monástica, pero ésta ya había realizado una función inestimable guardando las tradiciones de las enseñanzas médicas. En el siglo XIII, se autorizó y apoyó la disección de cadáveres humanos y se dictaron estrictas medidas para el control de la higiene pública, pese a lo cual, la medicina escolástica permaneció como expresión lógica del antiguo dogma. Científicos representativos de este período son el escolástico alemán san Alberto Magno, que se dedicó a la investigación biológica, y el filósofo inglés Roger Bacon[21], que realizó investigaciones en óptica y refracción y fue el primero en sugerir que la medicina debería basarse en remedios procedentes de la química. El propio Bacon, que ha sido considerado

21. Roger Bacon (Ilchester, 1214-Oxford, 1294). Filósofo y científico inglés, apodado *Doctor Mirabilis*, que escribió, por encargo del papa Clemente IV, el libro *Opus meius*, obra en la que se exponen todos los conocimientos de la época.

un pensador original y pionero de la ciencia experimental, estaba impregnado por la autoridad de los escritores griegos y árabes.

A pesar de los prejuicios populares, prosiguieron los estudios anatómicos. El estatus social del cirujano se consideraba inferior al del médico. Sin embargo, el cirujano Hugh de Lucca realizó impresionantes avances, denunció algunas de las enseñanzas de Galeno y practicó tratamientos simplificados en dislocaciones, fracturas y heridas. Estudió la sublimación (vaporización) del arsénico y se le acredita la fundación de una escuela de cirugía en Bolonia en 1204. Guillermo de Saliceto y su discípulo Lanfranchi fueron pioneros en anatomía quirúrgica, y se ha reconocido a Lanfranchi como el primero que distinguió la hipertrofia del cáncer de mama. Hubo dos figuras destacadas en la cirugía francesa de este período: Henri de Mondeville, cirujano del rey de Francia, que abogaba por el tratamiento aséptico de las heridas y el uso de suturas, y Guy de Chauliac, conocido como el padre de la cirugía francesa, cuyos escritos insistían en la importancia de la disección anatómica en la formación del cirujano y a quien se atribuye ser el primero en reconocer la peste que apareció en Europa en 1348. También se piensa que fue el primero en describir la hernia femoral (1361) e inventó varios instrumentos quirúrgicos. El estudio de la medicina se benefició en gran medida del trabajo del eclesiástico y arzobispo Raimundo, quien, en 1140, fundó en Toledo una escuela para la traducción al latín, entre otros, de los manuscritos médicos árabes, incluyendo los trabajos de Al-Razi o Razés y Avicena: la famosa Escuela de Traductores de Toledo.

Al final del siglo XIII, se establece en Bolonia una tradición de la práctica anatómica que continuará hasta culminar en Vesalio. Las figuras más importantes son Rogelio de Salerno, Rolando de Parma y, sobre todo, Mondino da Luzzi (1276-1328). Encontramos en la obra de éste último una gran aportación original, junto a las ideas de Avicena. Su libro *Anatomía* es la obra más importante sobre este tema en toda la Edad Media. Al final del siglo XIII, empieza a florecer la escuela de Medicina de Montpellier, de la cual la figura más destacada es Arnau de Vilanova. Fue un médico famoso, llamado por papas y por reyes. Nacido probablemente en Valencia en 1235, Vilanova fue un gran viajero y llevó a término una gran actividad como diplomático. Escribía en latín, catalán, árabe y hebreo y dejó muchas obras referentes a medicina. Unas son traducciones

del árabe, otras son comentarios a textos hipocráticos o galénicos. Finalmente, tenemos las obras de medicina originales. Dejando aparte los temas religiosos, cabe destacar sus obras de alquimia, porque Arnau de Vilanova es probablemente el más grande alquimista de esta época en Occidente, siendo naturalmente Gebero su fuente principal. Hacia finales del siglo XIV, se habían fundado miles de hospitales en Europa.

4.5. La «inmensa noche de la barbarie»

A veces se ha dicho que la ciencia se desarrolló cuando se superaron las tinieblas de la Edad Media, pero esto en un cliché falso que se repite por inercia. Por lo que hace a la Edad Media, debemos evitar el error que consiste en considerarla como un mero interludio barbárico en Occidente[22]. Así es frecuente presentarla en los manuales de historia de la ciencia utilizando alusiones peyorativas del tipo de «Edad Tenebrosa», «Oscura Edad Media», «Inmensa noche de la barbarie», etc. En suma, un período esencialmente tan oscuro como improductivo para la ciencia y la cultura.

Ante estas expresiones y otras equivalentes, son precisas tres matizaciones: 1.ª Si la Edad Media es el período histórico comprendido entre los siglos V y XV, constituye una época suficientemente larga —con sus momentos de esplendor y sus momentos de estancamiento o de recesión— como para pretender determinarla en bloque de un modo simplista y uniforme. 2.ª Esta etapa no puede, sin más, ser calificada de «oscura» pues, entre otras razones, nos resulta mucho más conocida que la Edad Antigua, aunque a ésta nadie la llame *oscura*. Hoy día disponemos de una información y de una documentación suficientemente relevantes como para descartar, por inadecuado en extremo, el cliché de que la Edad Media es desconocida. 3.ª El tópico de «inmensa noche de la barbarie» es igualmente desproporcionado. Si se alude a la barbarie como manifestación de brutalidad, guerras, atentados contra los derechos humanos, el siglo XX con sus dos guerras mundiales, el holocausto nazi y las diversas purgas étnicas supera con creces la violencia de toda la historia anterior

22. Cfr. Hull, L.W.H.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, op. cit., p. 154.

y no nos faculta para dar lecciones de ética, ni para emitir un juicio moral tan severo. El historiador británico Paul Johnson ha escrito en *The Times* que «desde 1900, y a instancias del Estado, se ha acabado con más vidas humanas que en toda la historia de la humanidad».

Si se hace referencia a la barbarie cultural, no hemos de perder de vista que es precisamente en la Edad Media cuando se crean las Universidades. Además, ¿no reconocemos como joyas únicas las catedrales góticas? ¿Puede ser producida su belleza por hombres rudos? ¿Se puede levantar, sin conocimientos de matemáticas y geometría, bóvedas de piedra por encima de los treinta y cuarenta metros, destinadas a durar cientos de años?

En el terreno de la tecnología, la Edad Media conoció algunos progresos notables. Comenzando con nuevos métodos de aprovechamiento de la energía animal, hidráulica y eólica, se desarrollaron nuevas máquinas para fines variados, que en ocasiones exigían una precisión notable. Algunos inventos técnicos, por ejemplo, el reloj mecánico y las lentes de aumento, iban a ser utilizados como instrumentos científicos. Instrumentos de medida, como el astrolabio y el cuadrante, iban a ser enormemente perfeccionados como consecuencia de necesidad de medidas precisas. En la química se estableció el empleo habitual de la balanza. Se hicieron progresos empíricos, y el hábito experimental condujo al desarrollo de aparatos especiales.

En las ciencias biológicas, se realizaron progresos técnicos considerables. Se escribieron obras importantes sobre medicina y cirugía, sobre los síntomas de las enfermedades, y se hicieron descripciones de la flora y fauna de distintas regiones. Se inició la clasificación y se facilitó la posibilidad de tener ilustraciones exactas gracias al arte realista. Pero quizá la contribución más importante de la Edad Media a la biología teórica fue la elaboración de la idea de una escala de la naturaleza animada. En geología se hicieron observaciones y la auténtica naturaleza de los fósiles fue captada por algunos autores.

Para acabar esta síntesis, se pueden añadir dos contribuciones medievales respecto de la cuestión del objeto y de la naturaleza de la ciencia. La primera es la idea, expresada tácitamente por vez primera en el siglo XIII, de que el objeto de la ciencia era obtener un dominio sobre la Naturaleza útil para el hombre. La segunda idea es la de que ni la acción de Dios ni la especulación del hombre po-

dían ser constreñidas dentro de los límites de un sistema concreto del pensamiento científico o filosófico. Cualesquiera que pudieran haber sido sus efectos en otras ramas de la ciencia, la consecuencia de esta idea sobre la ciencia de la Naturaleza fue la de poner de relieve la relatividad de todas las teorías científicas y el hecho de que podían ser reemplazadas por otras que tenían más éxito en cumplir los requisitos de los métodos racionales y experimentales [23].

En lo que hace al problema historiográfico descrito más arriba, desarrollaremos el tema siguiendo de cerca la exposición que aporta Kuhn y, en muchos apartados, la explicación se tornará más bien comentario del texto kuhniano [24]. Por lo demás, añadiremos un apartado en el que se recogen las importantes aportaciones de los estudiosos árabes medievales, cuyo papel de meros intermediarios está siendo revisado por la historiografía reciente.

La actitud de la Iglesia ante al saber científico varió a lo largo de la Edad Media. En opinión de Kuhn, la Iglesia fue en un principio hostil o indiferente ante la ciencia de los paganos, en la medida en que ella misma ocupaba una posición de debilidad. Se pueden mencionar en este punto algunos pasajes de San Agustín en los que el saber acerca de la Naturaleza se considera como prescindible para la salvación. Sin embargo, cuando la posición de la Iglesia fue más fuerte, en los últimos siglos de la Edad Media, se convirtió en una de las fuerzas impulsoras del avance intelectual. Así, pensadores como Santo Tomás de Aquino o literatos como Dante, trataron de conciliar la ciencia de los antiguos con la cosmovisión cristiana. El propio Tomás de Aquino argumentó a favor de considerar la Teología como una ciencia en sentido estricto. Sin embargo, esa consi-

23. Cfr. ibídem, p. 103.

24. Gran parte de este tema se ha desarrollado siguiendo el texto de Kuhn (1978, capítulo 4). La mejor aproximación a la historia de la ciencia medieval es CROMBIE, A.C.: *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1974; ed. or.: *Augustine to Galileo*, 1959. Como fuente de datos y obra de consulta, lo más completo que existe es la monumental obra de DUHEM, P.M.M.: *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, 10 vols., Hermann, Paris, 1913-1959. Dado que la ciencia, la filosofía e incluso la teología en la Edad Media estuvieron estrechamente unidas, será de interés para este tema GILSON, E.: *La filosofía en la Edad Media*, 2 vols., Gredos, Madrid, 1958; ed. or.: Payot, Paris, 1952.

deración no se mantuvo por mucho tiempo e incluso P. Duhem ha llegado a señalar que la escisión entre teología y ciencia está en la base del nacimiento de la ciencia moderna.

Los resortes para salvar los problemas conceptuales de la síntesis fueron diversos. En algunos casos hubo de emplearse una nueva interpretación de las Escrituras, en otros fue la ciencia antigua la que resultó modificada. Merece la pena reparar en que, hasta aquí, nos estamos ocupando de los problemas conceptuales generados por la recuperación de la ciencia antigua en un contexto muy distinto de aquél (o aquéllos) en que nació. Los problemas, hasta aquí, no son de carácter empírico. Sin embargo, se puede pensar, como hace Laudan, que es perfectamente razonable el someter a crítica una teoría científica en función de los problemas conceptuales (y no sólo empíricos) con que se enfrenta dado un determinado marco intelectual o una cierta cosmovisión.

Una vez que se ha trabado una nueva cosmovisión, los elementos de ésta se apoyan mutuamente y el cambio en astronomía ya no será meramente eso, sino que dejará en el aire una serie de tesis con las que las teorías astronómicas habían llegado a componerse. Estas tesis pertenecen a campos tan diversos como la teología, la antropología, la moral o la mecánica. Los ejemplos que aporta Kuhn a partir de los textos de Dante son especialmente claros y merecen ser estudiados.

4.6. La ciencia del siglo XIV

El desarrollo y la aplicación física de muchos problemas estudiados en Oxford, París, Heidelberg o Padua, en términos de lógica y de geometría simple, estaban muy limitados por la carencia de matemáticas. Era inhabitual para los estudiantes de la Universidad medieval ir más allá del primer libro de Euclides y, aunque el sistema indo-arábigo era conocido, los numerales romanos continuaron utilizándose, aunque no entre los matemáticos, hasta el siglo XVII[25].

25. Cfr. ibídem, p. 99.

Matemáticos competentes como Leonardo Fibonacci, Jordano Nemorarius, Thomas Bradwardine, Nicolás de Oresme, Richard de Walingford y Regiomontano, estaban, por supuesto, mejor equipados e hicieron contribuciones originales a la geometría, al álgebra y a la trigonometría, pero no existía una tradición matemática continuada comparable con el de la lógica. Las nuevas traducciones realizadas por los humanistas, ofrecidas al público gracias a la imprenta, recién inventada, colocó la riqueza de la matemática griega al alcance de la mano. Algunos de estos autores griegos, como Euclides y Ptolomeo, habían sido estudiados en los siglos anteriores; otros, como Arquímedes, Apolonio y Diofanto, estaban disponibles en traducciones antiguas, pero generalmente no estudiados.

La ciencia del siglo XIV es una ciencia que parte desde Aristóteles, pero que le somete a crítica en tres aspectos fundamentales: 1. Las explicaciones desde una visión puramente necesaria de la metafísica; 2. El problema del motor en los proyectiles; y 3. La visión cosmológica geocéntrica. Los movimientos más importantes de la ciencia en este siglo se sitúan en los «Calculator» del *Merton College* y en los físicos de la Universidad de París. En Oxford, la tradición de Grosseteste y Bacon fue continuada, en el siglo XIV, por autores como Richard Swineshead [26], John Dumbleton, Thomas Bradwardine [27] y William Heytesbury. Destaca la producción matemática del movimiento formulada por Bradwardine y el teorema de la velocidad media de Heytesbury, conocido también como «teorema del Merton College», que desempeñó un papel importante en la formulación de la ley de caída de los graves de Galileo y, por tanto,

26. Richard Swineshead merece ser recordado por haber cuantificado los cambios cualitativos de la forma. También adquiere importancia al poder hablar de mediciones de movimientos, fuerzas, resistencias, cambios de luz, etc., pero entra en sutilezas absurdas cuando aborda problemas propios de la Escolástica.

27. Thomas Bradwardine, matemático, filósofo y teólogo inglés promovió en el *Merton College* un tipo de estudios lógico-matemáticos que seguidamente fueron denominados *Calculationes*. Bradwardine intenta dar una solución matemática al problema de cómo correlacionar una variación de velocidad de un móvil con una variación de las causas que determinan las velocidades. De este modo, llega a afirmar la existencia de una relación matemática entre velocidad, fuerza y resistencia, manteniéndose de acuerdo con el postulado aristotélico, según el cual el movimiento se verifica cuando la fuerza motriz supera la resistencia.

en los comienzos de la física moderna. Y entre los físicos de la Universidad de París, hay que citar fundamentalmente a Buridan y a Oresme.

Jean Buridan, con su teoría del *impetus*, propone que el motor transmite al móvil —no al medio— una fuerza denominada «*impetus*». Esta fuerza despliega la cualidad de «moviente» del móvil, que lo mantiene en la misma dirección y sentido. La fuerza depende de la cantidad de materia y de la velocidad, y su detención depende de la resistencia que reciba. Con esta teoría del *impetus*, Buridan supera la posición aristotélica del motor, convirtiéndose probablemente en un precedente de la ley de la inercia. Aunque el *impetus* era todavía una «causa física» en el sentido aristotélico, fue empleado para explicar muchos fenómenos diferentes, por ejemplo, el movimiento de los proyectiles y de los cuerpos que caen, el rebote de las pelotas, el péndulo y la rotación de cielos y la Tierra. La posibilidad de esta última fue sugerida por el concepto de movimiento relativo, y las objeciones de éste, a partir del argumento de los cuerpos separados, fueron replicadas con la idea de «movimiento compuesto», propuesta por Oresme. El estudio cinemático del movimiento acelerado comenzó también en el siglo XIV, y la solución de un problema concreto, el de un cuerpo que se movía con aceleración uniforme, iba a ser aplicada más tarde a los cuerpos que caen. También comenzaron en el siglo XIV los estudios sobre la naturaleza del continuo y de los máximos y de los mínimos.

Nicolás de Oresme destaca tanto por sus tablas de cuantificación de cualidades como por sus estudios sobre los movimientos. En la investigación del movimiento pone en relación el espacio y el tiempo, llegando a representar el movimiento uniformemente acelerado. Oresme destaca también por sus refutaciones de la teoría geocéntrica, en las que sistematiza los argumentos que más tarde utilizará Copérnico.

Algunos impedimentos para el cambio en la teoría astronómica proceden de su integración con la física aristotélica. Ya hemos visto que, incluso en la Antigüedad, aparecieron críticas pertinentes a esta última (por ejemplo las de Plutarco), pero no así una teoría alternativa. Durante el siglo XIV de nuestra era, algunas de estas críticas se reeditan y aparecen otras nuevas que debilitaron la confianza de los estudiosos en la cosmovisión aristotélica. Todo ello

facilitó —no cabe duda— la revolución copernicana. Las críticas a las que nos referimos surgieron en el contexto de la escolástica nominalista de París y fueron fruto del propio intento de asimilación del saber antiguo. Nos centraremos en las críticas formuladas por Nicolás de Oresme y Jean Buridan y en algunos elementos de su concepción de la naturaleza que facilitaron la transición hacia la nueva ciencia.

Oresme experimenta con la idea de una Tierra planetaria, para lo cual pone en cuestión la teoría aristotélica del movimiento. Introduce la idea de la relatividad de las trayectorias respecto del punto de observación. La noción de *impetus*, propuesta por Jean Buridan, le permite, asimismo, salvar objeciones tradicionales al movimiento terrestre. En estos pensadores se da, por primera vez desde los escritos de Plutarco, el intento de reunificar el mundo sublunar y el supralunar en una misma legalidad.

En conjunto, una nueva imagen del mundo comenzaba a abrise paso. Será muy instructivo apreciar de dónde proceden los modelos con los que será pensado el nuevo Universo. En este sentido, también encontramos interesantes aportaciones en la obra de Oresme, quien apuntó la analogía entre el mundo y un reloj que puede funcionar abandonado a su propio movimiento. La construcción de relojes y autómatas[28], en la época que nos ocupa, hace patente la influencia de los modelos tomados del ámbito de la técnica sobre nuestra forma de concebir el mundo. Esta pauta, por supuesto, seguirá apareciendo hasta nuestros días. En el fondo, parece que entendemos mejor a través de lo que sabemos hacer. Los pensadores del siglo XIV vieron el mundo como una obra de Dios, del mismo modo que la mejor tecnología del momento es obra del hombre.

Cabe, además, señalar que, vistas así las cosas, sale reforzada la idea de que el mundo está sometido a ciertas regularidades y que éstas pueden ser investigadas y, tal vez, conocidas por el hombre. Esta confianza en un orden real y en las posibilidades del conoci-

28. La información sobre la construcción de autómatas y relojes en el siglo XIV puede consultarse en Turró (1985). Para la revolución de la ciencia árabe, véase SERRES, M.: *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid, 1991, capítulo 6. El capítulo 7, es también de gran utilidad para plantear las relaciones entre ciencia y teología en la Edad Media.

miento humano será condición necesaria para el desarrollo de la nueva ciencia. Las tesis de Oresme y de Buridan parece probable que hayan podido llegar, al menos indirectamente, a conocimiento de Copérnico y de Galileo. La conexión histórica se establece a través de la Universidad de Padua, donde se cultivaba la tradición escolástica con gran atención a la importante Universidad de París. En la Universidad de Padua estudió Copérnico y enseñó Galileo. Sabemos, además, que Galileo aprendió la dinámica del *impetus* en Pisa. Sin embargo, los nominalistas parisinos no llegaron a afirmar que la Tierra estuviese en movimiento, sólo que podía estarlo y que los argumentos de carácter mecánico en contra del movimiento terrestre no eran suficientemente poderosos.

4.7. Astronomía y humanismo en el siglo XV

A pesar de habernos referido a diversos aspectos de la ciencia y la cultura en la Edad Media, nuestro centro de interés seguirá siendo básicamente la astronomía, de manera que, tras el presente tema, el lector esté en disposición de entender mejor la revolución copernicana, que se tratará en el próximo. Para cerrar este recorrido que nos dejará en las puertas de la época del propio Copérnico, necesitamos estudiar dos aspectos más que fueron claves para la revolución copernicana. Me refiero, por una parte, a la astronomía de Georg Peuerbach y Regiomontano (Johan Müller) y, por otra, al movimiento humanista.

La asimilación de la obra astronómica de Ptolomeo fue lenta debido a su alta complejidad matemática. Por fin en el quince hubo astrónomos con un nivel suficiente como para entender plenamente la obra ptolemaica y como para percatarse de sus deficiencias. Es el caso de Peuerbach y Regiomontano. Sin embargo, esto no les hizo desconfiar del propio Ptolomeo, cuyo prestigio estaba, por entonces, fuera de duda. Se volcaron en la recuperación de las fuentes griegas originales, pues supusieron que los errores se habían introducido en el curso del proceso de transmisión y traducción. Aquí es donde intervienen varios procesos combinados que acaban con el mítico prestigio de Ptolomeo, que potencian la crítica al aristotelismo y que facilitan, en definitiva, la propuesta de un cambio radi-

cal en la astronomía. Por otra parte, los viajes de portugueses y españoles muestran las deficiencias de la geografía ptolemaica y generan la demanda de un mayor conocimiento astronómico.

Las deficiencias del calendario se hacían patentes y exigían una reforma profunda. El movimiento humanista, si bien poco proclive al espíritu científico, contribuye a la recuperación y traducción esmerada de textos originales griegos (coincidiendo, en parte, con la inmigración de sabios bizantinos a Occidente). La consecuencia es que algunos errores no podrán ser ya atribuidos a copistas o traductores, sino que están ya en los textos originales. En virtud de ello, el estudioso de la naturaleza y, en particular, el astrónomo, no podrá seguir buscando el amparo de los antiguos y tendrá que enfrentarse cara a cara con genuinos problemas. El humanismo, por otra parte, alentó la crítica al aristotelismo y la recuperación de temas de la tradición pitagórica y platónica, como el culto solar, la metafísica de la luz, el aprecio por la armonía y simplicidad, la atención al supuesto orden profundo frente al fenómeno, la fecundidad y omnipotencia de Dios que muy bien pudo haber creado un Universo infinito. El nacimiento de la nueva ciencia se verá facilitado por la combinación medieval de corrientes aristotélicas y platónicas [29].

Copérnico parece ser el heredero directo de Ptolomeo, es decir, entre ambos la astronomía da la impresión de haber cambiado poco, y, sin embargo, trece siglos separan la muerte de Ptolomeo y el nacimiento de Copérnico. La impresión de continuidad, o sea, de que Copérnico arranca donde lo había dejado Ptolomeo, no puede sino esconder profundos cambios históricos, modificaciones en los intereses, preguntas, supuestos y actitudes de los astrónomos. Esconde también la intensa actividad científica que, aunque de modo intermitente, se produjo a lo largo de la Edad Media y, muy especialmente, en los últimos siglos de ella.

29. El artículo de Koyré, «Aristotelismo y platonismo en la filosofía de la Edad Media» (recogido en KOYRÉ, A.: *Études d'histoire de la pensée scientifique*, P.U.F., París, 1966; trad. esp.: *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, Madrid, 1977) es de gran valor para ponderar la importancia de las corrientes platónicas y aristotélicas durante la Edad Media, las combinaciones de ideas procedentes de ambas, y su función en el surgimiento de la nueva ciencia.

5
La revolución copernicana

Introducción

En el siglo XIII la recuperación de obras científicas de la Antigüedad en las universidades europeas llevó a una controversia sobre el método científico. Los llamados realistas apoyaban el enfoque platónico, mientras que los nominalistas preferían la visión de Aristóteles. En las universidades de Oxford y París estas discusiones llevaron a descubrimientos de óptica y cinemática que prepararon el camino para Galileo y para el astrónomo alemán Johannes Kepler.

La gran epidemia de peste y la Guerra de los Cien Años interrumpieron el avance científico durante más de un siglo, pero en el siglo XVI la recuperación ya estaba plenamente en marcha. En 1543 el astrónomo polaco Nicolás Copérnico publicó *De revolutionibus orbium caelestium* (Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes), que conmocionó la astronomía. Otra obra publicada ese mismo año, *De corporis humani fabrica* (Sobre la estructura del cuerpo humano), del anatomista belga Andrés Vesalio, corrigió y modernizó las enseñanzas anatómicas de Galeno y llevó al descubrimiento de la circulación de la sangre. Dos años después, el libro *Ars magna* (Gran arte), del matemático, físico y astrólogo italiano Gerolamo Cardano, inició el período moderno en el álgebra con la solución de ecuaciones de tercer y cuarto grado.

Esencialmente, los métodos y resultados científicos modernos aparecieron en el siglo XVII gracias al éxito de Galileo al combinar

las funciones de erudito y artesano. A los métodos antiguos de inducción y deducción, Galileo añadió la verificación sistemática a través de experimentos planificados, en los que empleó instrumentos científicos de invención reciente como el telescopio, el microscopio o el termómetro. A finales del siglo XVII se amplió la experimentación: el matemático y físico Evangelista Torricelli empleó el barómetro; el matemático, físico y astrónomo holandés Christian Huygens usó el reloj de péndulo; el físico y químico británico Robert Boyle y el físico alemán Otto von Guericke utilizaron la bomba de vacío. La culminación de esos esfuerzos fue la ley de la gravitación universal, expuesta en 1687 por el matemático y físico británico Isaac Newton en su obra *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la filosofía natural). Al mismo tiempo, la invención del cálculo infinitesimal por parte de Newton y del filósofo y matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz sentó las bases para alcanzar el nivel actual de ciencia y matemáticas.

La ciencia del siglo XVII manifiesta una gran unidad. Sus más grandes representantes, Galileo y Newton, fueron capaces no sólo de hacerse cargo de toda la ciencia de su tiempo, sino de producir obras originales en todos los terrenos. De este modo, Newton puede ser considerado como matemático, astrónomo, óptico, mecánico e, incluso, químico. Hooke[1] trabajó también en todos estos campos y además en fisiología y microscopía. Los hombres de aquella época tenían al alcance una visión unitaria de la ciencia que, desgraciadamente, es inaccesible al científico de hoy.

La ciencia del siglo XVII está vinculada a la invención del microscopio y del telescopio. Después del estímulo extraordinario que representaron los grandes descubrimientos geográficos, sigue el del ensanchamiento de nuestra visión a través de los nuevos instrumentos. El telescopio permitirá un desarrollo espectacular de la astronomía de observación, y el microscopio abrirá las puertas del mun-

1. Robert Hooke (Freshwater, 1635-Londres, 1703). Científico y filósofo inglés que investigó sobre la gravedad, la propagación de la luz, la función del oxígeno en la combustión y en la respiración. Estableció la ley que lleva su nombre sobre la elasticidad de los materiales, según la cual es directamente proporcional al esfuerzo que soportan.

do de los microbios y de las células y tejidos de los organismos animales y vegetales. Es curioso comprobar el anonimato de los inventores de estos aparatos, si bien casi siempre los primeros en utilizarlos se los construían ellos mismos. Galileo fue quien descubrió por primera vez los cráteres de la Luna, las fases de Venus, los satélites de Júpiter, algo en torno de Saturno que más tarde se identificó con un anillo, y que la Vía Láctea estaba constituida por un inmenso enjambre de estrellas. Van Leeuwenhoek[2] mostró también por primera vez los glóbulos rojos, los espermatozoides, los ojos compuestos de los insectos, la reproducción partenogenética de los áfidos, los infusorios, los rotíferos, las levaduras y las bacterias.

El empleo sistemático del método experimental por medio del cual podían ser estudiados los fenómenos en condiciones simplificadas y controladas, y de la abstracción matemática que hacía posible nuevas clasificaciones de la experiencia y del descubrimiento de nuevas leyes causales, aceleraron enormemente el ritmo del progreso científico. Un hecho sobresaliente de la revolución científica es que sus etapas iniciales, y en cierto sentido las más importantes, fueron realizadas antes de la invención de nuevos instrumentos de medida, el telescopio y el microscopio, el termómetro y el reloj de precisión, que iban a ser después indispensables para conseguir respuestas precisas y satisfactorias a las preguntas que iban a ponerse en la avanzadilla de la ciencia. De hecho, la revolución científica, en sus etapas iniciales, se produjo más por un cambio sistemático de la concepción intelectual, por el tipo de preguntas planteadas, que por un «progreso en los medios técnicos. El porqué de esta revolución en los métodos de pensamiento es algo que permanece oscuro»[3].

La revolución copernicana o revolución astronómica, es decir, el cambio en astronomía del modelo geocéntrico por modelos aproximadamente heliocéntricos y heliostáticos, fue iniciada por Copér-

2. Anton van Leeuwenhoek (Delft, 1632-ídem, 1728). Naturalista holandés y constructor de microscopios con los que realizó importantes descubrimientos, entre otros, el de las bacterias.

3. Cfr. CROMBIE, A.C.: *Historia de la ciencia: De San Agustín a Galileo. La ciencia en la Baja Edad Media y comienzos de la Edad Moderna: siglos XII al XVII*, op. cit., p. 114.

nico, pero en él intervinieron de modo determinante otros astrónomos posteriores como Tycho Brahe, Kepler o Galileo. La revolución copernicana y la revolución científica son difícilmente separables, se trata de procesos imbricados y afectan tanto a la propia ciencia cuanto a la filosofía de la ciencia. Aun así, por conveniencia expositiva y claridad didáctica, adoptaremos la siguiente división: la nueva astronomía heliostática, desde Copérnico hasta Galileo, Kepler y Newton, será tratada en el presente capítulo. La revolución científica y la gestación de la nueva física serán expuestas en el próximo. Creemos que la división no es arbitraria y que, si se pone cuidado en señalar las conexiones entre astronomía, física y metodología, así como los nexos con los precedentes estudiados, la visión conjunta será más completa y precisa.

Los acontecimientos astronómicos más sobresalientes en la ciencia moderna pueden sintetizarse en el siguiente temporama:

1514. El astrónomo polaco Nicolás Copérnico rechaza una invitación para asistir, en Roma, a la reforma del calendario. Nace el futuro médico Andrea Vesalio en Bruselas.

1541. Fallece el médico y químico suizo Paracelso.

1543. El polaco Nicolás Copérnico publica *De revolutionibus orbium caelestium.*

1545. El médico italiano Girolamo Fracastoro termina de redactar *De sympathia et antipathia rerum.* Se inaugura el Jardín Botánico de Padua. Se establece una polémica entre los matemáticos italianos Scipione del Ferro, Gerolamo Cardano y Ludovico Ferrari sobre las ecuaciones de tercer grado.

1546. Nace, en Dinamarca, el futuro astrónomo Tycho Brahe.

1564. Nace el astrónomo y físico italiano Galileo Galilei, en Pisa.

1571. Nace el astrónomo Johannes Kepler en Weildentadt (Alemania).

1573. El astrónomo danés Tycho Brahe concluye y publica *De nova stella.*

1576. Tycho Brahe construye un observatorio astronómico.

1583. Galileo descubre el isocronismo del movimiento pendular.

1588. El astrónomo danés Tycho Brahe publica *De Mundi aetherei recentiesibus phaenomenis liber secundis.*

1592. Galileo es nombrado profesor de matemáticas en la Universidad de Padua (Italia), poco después descubrirá el termoscopio. El astrónomo danés Tycho Brahe publica *Astronomia instauratae progymnasmata.* Nace el filósofo y matemático francés Pierre Gassend, llamado Gassendi.

1596. Kepler publica *Mystericum cosmographicum.*
Nace el filósofo y matemático francés René Descartes.

1598. Se edita la obra de Tycho Brahe *Astronomiae instauratae mechanica.*

1608. Los ópticos holandeses Hans Lapsey y Jakob Metius solicitan patente de invención del anteojo al Consejo de Estado de los Países Bajos.

1609. El astrónomo y físico italiano Galileo construye el primer telescopio.

1610. Galileo publica, en Venecia, *Sidereus Nuncius*, en que aplica a la astronomía los descubrimientos que hizo sobre las lentes.

1613. Galileo concluye la redacción de *Historia y demostración en torno a las manchas solares y sus accidentes.*

1618. El astrónomo alemán Johannes Kepler publica la primera parte del *Epitome astronomiae Copernicanae* y *Astronomia nova*, en la que formula la primera de las leyes sobre el movimiento de los planetas.

1619. Kepler concluye *Harmonices mundi*, que contiene la tercera ley sobre el movimiento de los planetas.

1627. Kepler publica las *Tablas Rudolfinas.*

1632. Galileo escribe *Diálogo sobre los sistemas principales del mundo.*

1642. Nace el físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton. Muere el astrónomo y físico italiano Galileo Galilei.

1675. Se empieza a construir el Observatorio Astronómico de Greenwich, Inglaterra.

1682. Newton descubre la Ley de la Gravitación Universal. El astrónomo inglés Edmond Halley observa y calcula la órbita del cometa que lleva su nombre.

1689. Se termina el Observatorio de Greenwich.

1695. Muere el físico, matemático y astrónomo neerlandés Christiaan Huygens.

5.1. La Astronomía en la Edad Moderna

Nos ocuparemos aquí, pues, de las aportaciones a la nueva astronomía realizadas por Copérnico[4] y de la recepción de la idea he-

4. Existe edición en español del principal texto de Copérnico, N.: *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Tecnos, Madrid, 1987. Otros textos originales pertinentes para el tema se hallan recogidos en Copérnico, N., Digges, T. y Galilei, G.: *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Alianza, Madrid, 1982 y Kepler, J.: «Conversaciones con el mensajero sideral», en Galilei, G. y Kepler, J.: *El mensaje y el mensajero*, Alianza, Madrid, 1984. De Galileo existe un amplio conjunto de obras traducidas, de las que aquí interesan más propiamente Galileo (1972 y 1984). Para este tema resulta imprescindible Kuhn, T.: *La revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1978; ed.or.: Harvard, Cambridge, Mass., 1957. Los gráficos que se precisan para el desarrollo del mismo pueden extraerse del libro de Kuhn y de Solis, C.: *La revolución de la física en el siglo XVII*, vol 18, Cuadernos de Historia de la ciencia y de la técnica, Puerto (ed.), Akal, Madrid, 1991. También es muy útil la breve y clara exposición de Elena, A.: *La revolución astronómica*, en Puerto (ed.), vol. 12, Akal, Madrid, 1995. Pueden verse, así mismo, Elena, A.: *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Siglo XXI, Madrid, 1985; Ídem: *A hombros de gigantes. Estudios sobre la primera revolución científica*, Alianza, Madrid, 1989, y Sellés, M. y Solís, C.: *Revolución científica*, Síntesis, Madrid, 1991. Battaner, E.: *Planetas*, Alianza, Madrid, 1991, y Crombie, A.C.: *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1974; ed. or.: *Augustine to Galileo*, 1959, siguen siendo de gran ayuda para introducir algunos tópicos. Entre los clásicos, además del libro de Kuhn citado más arriba, hay que remitir también a Koyré, A.: *La révolution astronomique*, Hermann, París, 1961; Ídem: *Études d'histoire de la pensée scientifique*, P.U.F., París, 1966; trad. esp.: *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, Madrid, 1977; Idem: *From the Closed World to the Infinite Universe*, The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1957; trad. esp.: *Del mundo cerrado al universo infi-*

liocéntrica (5.2.), del sistema propuesto por Tycho Brahe y de las mejoras por él introducidas en la astronomía observacional (5.3.), de los desarrollos teóricos de Kepler (5.4.), y de las pruebas en favor del heliocentrismo halladas por Galileo (5.5.). La historia de la astronomía dio un giro drástico en el siglo XVI como resultado de las aportaciones de Nicolás Copérnico. El astrónomo polaco dedicó la mayor parte de su vida a la astronomía y realizó un nuevo catálogo de estrellas a partir de observaciones personales. Debe gran parte de su fama a su obra *De revolutionibus orbium caelestium* (*Sobre las revoluciones de los cuerpos celestes*, 1543), donde analiza críticamente la teoría de Ptolomeo de un Universo geocéntrico y muestra que los movimientos planetarios se pueden explicar atribuyendo una posición central al Sol más que a la Tierra.

En general, no se prestó mucha atención al sistema de Copérnico, o sistema heliocéntrico, hasta que Galileo descubrió pruebas para defenderlo. Gran admirador secreto de la obra de Copérnico, Galileo vio su oportunidad de probar la teoría copernicana sobre el movimiento de la Tierra cuando se inventó el telescopio en Holanda. Construyó en 1609 un pequeño telescopio de refracción, lo dirigió hacia el cielo y descubrió las fases de Venus, lo que indicaba que este planeta gira alrededor del Sol. También descubrió cuatro lunas girando alrededor de Júpiter. Convencido de que, al menos, algunos cuerpos no giraban alrededor de la Tierra, comenzó a hablar y a escribir a favor del sistema de Copérnico. Sus intentos de difundir este sistema le llevaron ante un tribunal eclesiástico. Aunque fue obligado a renegar de sus creencias y de sus escritos, esta teoría no pudo ser suprimida.

Desde el punto de vista científico, la teoría de Copérnico sólo era una adaptación de las órbitas planetarias, tal como las concebía Ptolomeo. La antigua teoría griega de que los planetas giraban en círculos a velocidades fijas se mantuvo en el sistema de Copérnico. Desde 1580 a 1597 el astrónomo danés Tycho Brahe observó el Sol, la Luna y los planetas en su observatorio situado en una isla

nito, Siglo XXI, Madrid, 1979; Ídem: *Études Galiléennes*, Hermann, París, 1940; trad. esp.: *Estudios galileanos*, Siglo XXI, Madrid, 1980. La perspectiva filosófica adoptada por HANSON, N.R. *Constelaciones y conjeturas*, 2ª ed., Alianza, Madrid, 1985; ed.or.: Reidel, Dordrecht, 1973, es también muy sugerente.

cercana a Copenhague y después en Alemania. Utilizando los datos recopilados por Brahe, su ayudante alemán, Johannes Kepler, formuló las leyes del movimiento planetario, afirmando que los planetas giran alrededor del Sol y no en órbitas circulares con movimiento uniforme, sino en órbitas elípticas a diferentes velocidades, y que sus distancias relativas con respecto al Sol están relacionadas con sus períodos de revolución. El físico británico Isaac Newton adelantó un principio sencillo para explicar las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario: la fuerza de atracción entre el Sol y los planetas. Esta fuerza, que depende de las masas del Sol y de los planetas y de las distancias entre ellos, proporciona la base para la explicación física de las leyes de Kepler. Al descubrimiento matemático de Newton se denominó *ley de la gravitación universal.*

5.2. La revolución copernicana

La revolución copernicana consiste en el cambio científico y conceptual que supuso la hipótesis propuesta por Nicolás Copérnico[5], en 1543, con su obra *De revolutionibus orbium coelestium*, según la cual el Sol, y no la Tierra, ocupa el centro del Universo. El paso de un sistema geocéntrico y geoestático, centrado en la posición estática de la Tierra, según la astronomía de Aristóteles y Ptolomeo, a un sistema heliocéntrico, centrado en el Sol, ha sido considerado no sólo como el punto de partida de la denominada revolución científica, llevada a cabo más de medio siglo después por Galileo, Descartes, Kepler, Gassendi y Newton, entre otros, sino

5. Nicolás Copérnico, natural de Torun, Polonia, nació en 1473 en el seno de una rica familia de comerciantes. Al quedar huérfano a los diez años, pasó a estar a cargo de su tío materno, canónigo de la catedral de Frauenburg y luego obispo de Warmia. Siguiendo las directrices de éste, ingresó en 1491 en la Universidad de Cracovia y en 1496 pasó a Italia, donde estudió en las universidades de Bolonia y Padua. Aprendió leyes, lenguas clásicas y astronomía en las universidades de Cracovia, Bolonia y Padua. Nombrado canónigo por influencia de su tío y doctorado en derecho canónico en 1503, regresó a su país como consejero de confianza de aquél y miembro de su corte episcopal. Tras la muerte del obispo en 1512, Copérnico fijó su residencia en Frauenburg, donde se dedicó a la administración de los bienes del cabildo. Allí falleció en 1543.

también de un cambio de perspectivas y valores en la propia concepción del hombre.

Sus estudios de astronomía le permitieron concebir la teoría del sistema heliocéntrico, que fue confirmada con posterioridad, gracias a las observaciones de Galileo, y corroborada por los cálculos de Kepler. Fue el primero en formular coherentemente el movimiento de la Tierra y de los planetas en torno al Sol. Hacia 1507 elaboró su primera exposición de un sistema astronómico heliocéntrico con la Tierra girando en torno al Sol, que tuvo una divulgación limitada entre los estudiosos de la astronomía y le forjó una reputación entre ellos; fue invitado a participar en la reforma del calendario juliano y, en 1533, sus enseñanzas fueron expuestas ante el papa Clemente VII. Tres años más tarde el cardenal Schönberg le instó a que hiciera públicos sus descubrimientos. Por entonces, Copérnico había completado ya la redacción de su gran obra, *De revolutionibus...*, un tratado astronómico basado en la hipótesis heliocéntrica. Consciente de la novedad de sus ideas y temeroso de las críticas que podían suscitar, no lo dio a la imprenta. La publicación se produjo por la intervención de un astrónomo protestante, Georg Joachim von Lauchen, conocido como Rheticus, que visitó a Copérnico de 1539 a 1541 y lo convenció de la necesidad de imprimir el tratado; von Lauchen se encargó de ello. La obra apareció en 1543, precedida por un prefacio anónimo, donde el sistema copernicano se presentaba como una hipótesis de carácter meramente formal contra lo que fue el convencimiento del propio Copérnico.

El contenido fundamental de la cosmología copernicana se halla descrito en los primeros siete folios del primer libro de la edición original de *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* y puede ejemplificarse mediante el conocido diagrama de los ocho círculos concéntricos, que hace del Sol el centro en reposo del universo. La sucesión de los planetas se enumera de la siguiente manera: a partir del Sol, Mercurio, Venus, la Tierra con la Luna, Marte, Júpiter y Saturno. En la concepción, tradicional todavía en este aspecto, de Copérnico, los orbes planetarios eran esferas concéntricas (de Eudoxo) físicamente portadoras del planeta en su período de revolución en torno al Sol (período sideral); de aquí que se afirme que la traducción adecuada de la palabra «orbes» del título de la obra de Copérnico no ha de ser orbes u órbitas, sino «esferas». La

novedad principal es que Copérnico sustituyó la posición central de la Tierra por la del Sol, dejando que la Tierra discurriera libre por el Universo dotada de tres movimientos.

La última de las esferas copernicanas es la tradicional «esfera de las estrellas fijas», que Copérnico puede dejar inmóvil porque su movimiento se explica por la rotación diaria de la Tierra. Los movimientos reales de los planetas los describe Copérnico primero en el llamado *Commentariolus*, primer esbozo del sistema heliocéntrico y luego en su obra definitiva, *De revolutionibus*... Si el sistema del mundo tal como se describe en la primera obra parece que reduce bastante la complejidad del sistema de Ptolomeo (de 80 a 34 círculos), en la segunda la complejidad matemática aumenta. La crítica que Copérnico dirige a Ptolomeo no es porque el Sol no ocupe el centro del Universo (en realidad, para Copérnico el Sol no está absolutamente centrado: la órbita de la Tierra es una excéntrica), sino por no haber explicado los movimientos celestes recurriendo sólo a círculos con movimiento uniforme y, sobre todo, por haber utilizado el ecuante (artificio geométrico que permitía calcular el movimiento no uniforme de un planeta suponiéndolo dependiente de un centro distinto del centro geométrico del círculo). Copérnico insistía en que todos los movimientos debían ser circulares y uniformes, por lo que se opuso terminantemente a toda explicación matemática basada en el uso del ecuante, cosa que hacía entender que «el planeta parece moverse con una velocidad siempre uniforme, pero no con respecto a su deferente ni tampoco con respecto a su propio centro»[6].

Como es sabido, la tensión introducida en el seno de la ciencia por el cambio copernicano fue un factor desencadenante, quizá el principal, de la llamada *revolución científica*. La nueva imagen del Universo que exigía el sistema heliocéntrico —aunque el propio Copérnico no alcanzase a verlo plenamente— implicaba un cambio radical en cosmología y mecánica. El resultado, a la larga, sería la acomodación de esas tensiones entre la nueva astronomía y la antigua física dentro del marco de la física newtoniana. La secuencia que nos lleva aproximadamente desde la revolución copernicana

6. Copérnico, N.: *Commentariolus*, Introducción.

hasta la física de Newton es lo que se suele denominar la *revolución científica*, aunque tanto su carácter revolucionario como sus límites temporales son cuestión disputada entre los historiadores de la ciencia. La llamada *revolución científica* afectó a diversas disciplinas, así como a la metodología de la ciencia y a la propia concepción de ésta.

I. Bernard Cohen defiende el punto de vista de que el sistema cosmológico de Copérnico fue apenas, para el mismo Copérnico, un instrumento matemático algo más preciso que el de Ptolomeo y, sobre todo, más acorde con la ley fundamental de la astronomía, que exigía que todo movimiento fuera circular y uniforme. Sostiene, además, que, en este sentido, el único avance real de inspiración copernicana fueron las *Tablas pruténicas* o prusianas, de Erasmo Reinhold, compuestas en honor del duque Albrecht de Prusia y publicadas en 1551. La verdadera «revolución copernicana», afirma este autor, no tuvo lugar hasta el s. XVII y fue llevada a cabo por Kepler, Galileo, Descartes y Newton; el sistema del mundo de Newton no se inspiró en Copérnico, sino en el Universo de giros elípticos, tal como lo concebía Kepler. La trascendencia, en definitiva, de la obra de Copérnico, la semilla de la futura revolución científica, estuvo en la importancia que sus sucesores dieron a la nueva posición que ocupaba el Sol en el Universo: la imagen heliocéntrica del Universo preconizada por Copérnico no sólo simplificaba los cálculos matemáticos sobre los planetas —no sólo salvaba mejor los fenómenos— sino que llegó a ser entendida como una explicación real.

Por consiguiente, tendremos que exponer y, en la medida de lo posible, explicar la contribución del propio Copérnico a la revolución que lleva su nombre. También habrá que señalar los elementos tradicionales que se mantuvieron vigentes en el sistema copernicano, y que fueron muchos. Esta duplicidad de carácter de la obra copernicana, innovadora en algunos aspectos y conservadora en otros, hace de ella una típica obra de transición y, de Copérnico, el último de los astrónomos antiguos tanto como el primero de los modernos.

Desarrollaremos el relato por los siguientes pasos: en primer lugar, trataremos las razones que impulsaron a Copérnico a introducir importantes modificaciones en el sistema astronómico (5.2.1.); en segundo

lugar, expondremos la astronomía copernicana propiamente dicha, su teoría para dar cuenta del movimiento aparente de las estrellas, del Sol y de los planetas (5.2.2.); por último, incluiremos dos subapartados para hacer balance de los argumentos favorables y contrarios a la nuevas tesis tal como pudieron verse en la época de Copérnico (5.2.3.), y para dar cuenta de la recepción de su teoría (5.2.4.).

5.2.1. *Razones para el cambio*

Copérnico expone sus razones para el cambio del estatuto de la Tierra en un prefacio dirigido al papa Pablo III que antepone a su *De revolutionibus*. Nos ceñiremos a las razones allí aducidas y trataremos de mostrar los vínculos entre algunas de ellas y ciertos supuestos filosóficos de raíz pitagórica y platónica.

El problema de los planetas, de los astros errantes, nunca había sido resuelto de modo completamente satisfactorio. El programa platónico para la astronomía, es decir, la reducción de las trayectorias observables a movimientos circulares y uniformes, nunca se había cumplido de modo preciso. La duración exacta del año no podía ser calculada con precisión. Se necesitaba, en opinión de Copérnico, una reforma profunda de la astronomía para establecer un nuevo calendario. Las discrepancias entre los astrónomos eran comunes y existían del orden de una docena de sistemas ptolemaicos alternativos, ninguno de los cuales arrojaba predicciones exactas. Los errores se hacían más evidentes conforme se iban acumulando las observaciones. No era posible integrar en un sistema realista las teorías compuestas para cada planeta. La utilización del ecuante perturbaba especialmente la sensibilidad neoplatónica de Copérnico. En conjunto, la astronomía ptolemaica, en su paso por el Islam y el occidente medieval, se había hecho tan compleja que a los ojos de Copérnico aparecía como un monstruo, pero más por sus aspectos estéticos y falta de realismo que por la complejidad del cálculo. Por supuesto, el que Copérnico se mostrase insatisfecho con la falta de precisión, de coherencia, de simplicidad, tenía que ver con las deficiencias propias del sistema, pero también con las tendencias neoplatónicas de Copérnico. Además de todas estas razones para el cambio, Copérnico esgrimió en su favor los antecedentes históricos que pudo hallar de doctrinas no geoestáticas.

Nicolás Copérnico admiraba a Platón y sus círculos, pero no era un mero platónico. Era un platónico cristiano, lo cual cambia mucho las cosas. Como cristiano, Copérnico creía firmemente que el mundo no era una entidad que se pudiera explicar por sí misma. Su fe le decía que la explicación cristiana del mundo sólo podría encontrarse en la sabiduría y voluntad del Creador. De la sabiduría del Creador se deducía que el mundo tenía que ser totalmente racional. La voluntad del Creador implicaba que el modelo específico de racionalidad manifestado en el mundo era una elección que el hombre, una criatura, no podía imponer al Creador. Consecuentemente, el hombre tenía que demostrar que sus especulaciones platónicas estaban de acuerdo, hasta en los detalles más insignificantes, con los datos de la experiencia. El hombre podía recoger esos datos pero no inventarlos. Para Copérnico, ese cristiano platónico, este punto estaba muy claro, mientras que Platón no lo comprendió en absoluto, ni tampoco lo veían así los platónicos puramente paganos.

En 1543, se publicó su obra *De revolutionibus orbium coelestium*, donde se presentaba un modelo heliocéntrico, con el Sol en el centro del Sistema solar y los planetas, Tierra incluida, girando alrededor del Sol. Copérnico no pudo comprobar de modo convincente su posición heliocéntrica, pero compensó con creces la carencia de pruebas físicas con su fe en la naturaleza. Creía firmemente que ésta era obra del Creador, y de ahí dedujo que la naturaleza tenía que ser algo simple. Es conveniente recordar que su teoría no dio mejor explicación acerca del movimiento de los planetas que la de Ptolomeo. La prueba más atractiva de Copérnico residía en la simplicidad geométrica del nuevo orden de los planetas. Era una opinión atrevida, pero él la defendió, a pesar de que sus consecuencias contradecían abiertamente la experiencia cotidiana de todo el mundo.

5.2.2. *La astronomía de Copérnico*

Se expondrán los rasgos diferenciales más importantes del sistema copernicano. En él las estrellas fijas están situadas en un orbe esférico y los planetas también son arrastrados por orbes cristalinos. En este sentido, nada cambia. Pero el movimiento diario aparente del orbe de las fijas se justifica por un movimiento de rota-

ción diario de la propia Tierra sobre su eje. Éste es el primer cambio importante respecto a la astronomía tradicional. La explicación del movimiento diario del Sol tiene la misma base que el de las estrellas, a saber, el giro cotidiano de la Tierra sobre su eje. Da cuenta del movimiento solar anual desplazando la Tierra del centro del Universo, que será un punto en las inmediaciones del Sol. Esta es la segunda innovación importante de Copérnico, el heliocentrismo (aunque sabemos que, al igual que la idea de una Tierra móvil, tuvo precedentes en la Antigüedad que ya han sido estudiados). La Tierra planetaria da una vuelta al Sol en el período que llamamos año. El efecto cosmológico inmediato, dada la ausencia de paralaje observable (a simple vista, se entiende) es un Universo mucho mayor de lo estimado hasta el momento. Habrá que recordar en este punto la noción de paralaje[7]. Esta consecuencia del heliocentrismo ya había sido señalada en la Antigüedad por Arquímedes (en el *Arenario*). Aún así, seguimos hablando de un Universo finito contenido dentro del grandioso orbe de las fijas.

Una vez estudiados los movimientos de rotación y traslación de la Tierra, cabe explicar el tercer movimiento terrestre que Copérnico necesitaba para que el eje de rotación mantuviese la dirección adecuada. Este tercer movimiento del eje terrestre viene exigido por la presencia de un orbe que transporta la Tierra, de modo que, abandonados los orbes celestes, se puede prescindir también de éste. A continuación se explicará cómo la Tierra en movimiento sirve para dar adecuada cuenta de las trayectorias observables de los planetas, de los inferiores y superiores, que habrán de ser tratados por separado. Las retrogradaciones se siguen de modo natural como efecto de los adelantamientos entre la Tierra y el resto de los planetas, no se requiere la presencia de epiciclos mayores para dar cuenta de ellas, con la consiguiente ganancia en simplicidad, al menos mientras nos ciñamos al aspecto cualitativo. También las variaciones en el brillo y la desigualdad de los años de ciertos planetas pueden ser explicados sin necesidad de supuestos arbitrarios.

Por último, habrá que dejar constancia de que la simplicidad de las explicaciones cualitativas se pierde cuando se trata de buscar

7. Indica la diferencia entre las posiciones aparentes que en la bóveda celeste tiene un astro, según el punto donde se supone observado.

predicciones cuantitativamente exactas. El sistema copernicano necesita para su ajuste de más de una treintena de círculos. Aunque evita los epiciclos mayores, requiere epiciclos menores y excéntricas. Por otra parte, la precisión obtenida es del mismo orden que la de los mejores sistemas ptolemaicos. Por ejemplo, el centro de la órbita de la Tierra, a la hora del ajuste fino, no es exactamente el Sol, sino un punto que gira lentamente en torno a otro que gira a lo largo de una circunferencia cuyo centro es el Sol.

Es interesante notar que, como sucedió con el sistema de Eudoxo y con el de Hiparco y Ptolomeo, la precisión también fue ganada por Copérnico a expensas de la simplicidad, mediante la introducción de más y más círculos. Esta relación, como veremos, se invierte de manera sorprendente con Kepler y ello fue uno de los más poderosos argumentos que se pudieron aducir en su favor.

5.2.3. *Evaluación de la nueva astronomía*

Una vez que se ha mostrado la combinación de cambios revolucionarios y elementos tradicionales que fue el *De revolutionibus...*, parece conveniente ponderar los argumentos en favor y en contra de su aceptación tal y como pudieron verse en su época.

Por un lado, están las dificultades de carácter astronómico que quedaban sin resolver: el sistema cuantitativo seguía siendo muy farragoso y no mucho más preciso que los mejores de la tradición ptolemaica. A éstas se suman otras de carácter cosmológico: la ausencia de paralaje observable obliga a pensar en un Universo enorme, difícil de aceptar por la mentalidad de la época, con una separación entre el cielo de Saturno y el de las fijas desproporcionadamente grande. Pero quizá lo más llamativo en contra del sistema de Copérnico era lo mal que concordaba con la física terrestre del momento. Además, Copérnico no fue precisamente un físico brillante y las respuestas que ofreció en este terreno no eran particularmente convincentes. Las objeciones relacionadas con la teorías del movimiento ya habían sido presentadas en la Antigüedad y se reeditaron en los últimos siglos de la Edad Media.

Hay que decir que los argumentos más poderosos en favor del copernicanismo fueron apareciendo en años posteriores a la publi-

cación del *De revolutionibus...* Los veremos más tarde al tratar sobre Brahe, Kepler y Galileo. Los presentados por el mismo Copérnico estaban estrechamente ligados a la mentalidad neoplatónica propia del momento. En este sentido, Copérnico se esforzó por mostrar las llamadas armonías de su sistema: el límite en la elongación[8] máxima de los planetas inferiores se explica sin necesidad de recurrir a hipótesis *ad hoc*, como la vinculación de las órbitas solar y planetaria introducida por los ptolemaicos; el orden y las dimensiones relativas de las órbitas planetarias se establece a partir de las posiciones observadas, sin necesidad de hipótesis suplementarias; como hemos visto, muchas anomalías en las trayectorias aparentes se explican por un solo hecho, el movimiento terrestre, es decir, una sola pieza conecta hechos hasta el momento inconexos, lo cual refuerza su pretensión de verdad (Whewell llamó a este efecto *confluencia inductiva*). Hay que insitir en la importancia que Copérnico otorgaba al argumento de la simplicidad (en lo cualitativo) y simetría del sistema, al orden geométrico que creyó haber descubierto. Sólo sus convicciones filosóficas y su intenso interés por los problemas estrictamente astronómicos le permitieron confiar en un sistema que generaba una fuerte tensión con teorías bien establecidas en el ámbito de la física.

5.2.4. *La recepción del heliocentrismo*

El libro de Copérnico estaba dirigido al astrónomo especialista, de modo que su efecto entre los intelectuales, en general, fue tardío. Pero cuando llegó a un público amplio, los astrónomos ya no podían prescindir del enfoque copernicano y los argumentos a favor de su tesis central eran ya de mucho peso. Se explicarán aquí las fases por las que fue pasando este proceso de asimilación: en la segunda mitad del siglo XVI el *De revolutionibus...* era ya una obra de referencia inevitable para los cálculos de los astrónomos, adoptasen o no una interpretación realista del movimiento terrestre. La aparición de las *Tablas Prusianas*, de Reinhold, basadas en *De revolutionibus...* fue un factor clave. Habrá que hacer una breve refe-

8. Diferencia de longitud entre un planeta y el Sol.

rencia a la fuente de la interpretación instrumentalista (o interpretación de Wittenberg, pues fue adoptada de modo señalado por los astrónomos de esta escuela), es decir, el prefacio de Osiander al *De revolutionibus...*, y a la función de la *Narratio prima* escrita por el único discípulo de Copérnico, Joachim von Lauchen, llamado *Rheticus*[9]. La obra de Rheticus fue algo más que una exposición previa de las tesis del maestro. Constituye más bien un comentario lúcido y crítico en algunos puntos en los que emergen las consecuencias cosmológicas del nuevo heliostatismo. En general, habrá que decir que la aproximación a la teoría copernicana a través de la interpretación instrumentalista de ésta, favoreció y preparó su aceptación plena.

Entre los profanos, mientras tanto, la discusión sobre la hipótesis copernicana había ido creciendo y subiendo de tono. Será necesario exponer las reacciones inmediatas de los teólogos protestantes y las más tardías, pero también adversas, de la Iglesia católica, que hasta el momento nunca había adoptado una doctrina cosmológica como oficial y, de hecho, había visto nacer en su seno la copernicana. Además de los argumentos teológicos y bíblicos, la Tierra móvil fue objeto de discordia (e incluso de burla) por sus implicaciones contrarias a la física aristotélica y al sentido común de la época. Por otra parte, dentro de la renacida tradición neoplatónica, hubo quien acogió con entusiasmo la idea copernicana, aunque no pudiese captar en profundidad sus desarrollos geométricos. Es el caso, por ejemplo, de Giordano Bruno. Por último, y quizá esto es lo más importante para el resto de la historia, un pequeño grupo de astrónomos con tendencias neoplatónicas, sensibles a las armonías que esgrimía Copérnico y al lugar que otorgaba al divino Sol, no pudieron dejar de ver en su teoría una hipótesis prometedora, en pro de la cual merecía la pena trabajar.

9. Joachim von Lauchem (1514-1576). Astrónomo austríaco, discípulo de Copérnico y opuesto al sistema cosmogónico de Ptolomeo. Publicó unas tablas de magnitudes astronómicas.

5.3. El compromiso de Tycho Brahe

Al tratar la astronomía de Tycho Brahe tenemos que hacer referencia a dos aspectos de ella que incidieron de modo diverso en el curso de la revolución astronómica. Se trata, por un lado, de su actividad como astrónomo teórico y del sistema ideado por él y, por otro lado, de la labor como observador, que fue uno de los factores más importantes en el desarrollo de la nueva astronomía. Dedicaremos un subapartado a cada uno de estos aspectos.

5.3.1. *El sistema de Tycho Brahe*

En el sistema propuesto por Tycho Brahe [10] la Luna y el Sol giran en torno a la Tierra, mientras que el resto de los planetas lo ha-

10. Tycho Brahe (1546-1601), astrónomo danés, hijo del gobernador del castillo de Helsinborg; el último de los astrónomos antiguos. Estudió en Copenhague, Leipzig, Wittenberg, Basilea, Rostock y Augsburgo. Durante el período de su formación se dedicó ya a la observación de los fenómenos astronómicos y a la colección e invención de instrumentos de observación. A los 26 años, de regreso a Dinamarca, se dedica por un tiempo a la alquimia y a la astrología. La observación efectuada el 11 de noviembre de 1572 de la estrella «nova»; situada en la constelación de Casiopea, llevada a cabo con uno de los instrumentos fabricados por él, de precisión mucho mayor que los de su época, le lanzó a la fama. Al año siguiente publicó *De Nova Stella*, para describir las características de la nueva estrella y las del instrumento con que la había observado. En 1577 demostró, con la publicación de *De mundi aetherei recentioribus phaenomenis* (Sobre los más recientes fenómenos del mundo etéreo), que el cometa aparecido no era un fenómeno sublunar, que su órbita era oval —cosa que se afirma por primera vez— y que su distancia tenía que ser más de seis veces la de la Tierra a la Luna. Fue el primero en mostrar que estas apariciones celestes implicaban la falsedad de la teoría aristotélica de la inalterabilidad del mundo supralunar. Federico II ofreció entonces a Tycho Brahe, que deseaba residir en la culta ciudad de Basilea, una isla, Hveen, en el Sund, entre Copenhague y el castillo de Elsinor, para que instalara su residencia y su observatorio astronómico. Durante veinte años Tycho permaneció en Uraniborg (Palacio del cielo), construido en la isla de Hveen, observatorio en el que disponía de los instrumentos de medición más exactos de la época y hasta de un edificio anexo subterráneo, Stjerneborg (Palacio de las estrellas), para evitar la interferencia del viento. En 1597, hecha ya buena parte de sus importantes y muy precisas observaciones, abandona Uraniborg y decide recorrer Europa, con un séquito de veinte personas. Se instala definitivamente en Praga, al servicio del emperador

cen en torno al Sol. Se pondrán de manifiesto las razones que pudieron conducir a Tycho a la presentación de un sistema como éste. Por una parte, resulta geométricamente equivalente al sistema copernicano, y las nuevas armonías copernicanas se conservan en él, pero, por otra parte, al mantener la Tierra inmóvil en el centro del Universo, los inconvenientes de carácter físico (e incluso teológico) quedan eliminados. Lo cual demuestra su carácter de compromiso entre la filosofía aristotélica y la pujante astronomía.

El nuevo sistema del mundo sitúa a la Tierra de nuevo en el centro del Universo y hacía girar a los cinco planetas alrededor del Sol. En este sistema la Tierra, inmóvil, ocupa el centro; el Sol, que gira en torno a la Tierra, es a su vez el centro de las órbitas circulares de los cinco planetas: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, transportados de esta manera en un giro anual alrededor de la Tierra. Las órbitas de Mercurio y Venus son menores que la órbita solar, por lo que se mueven entre el Sol y la Tierra, mientras que los demás planetas lo hacen por fuera de la órbita del Sol. Esta imagen del mundo se halla ya en Heráclides Póntico (s. IV a.C.), quien sugirió la idea de que los planetas giran en torno al Sol, llevado por la apariencia que ofrecen las órbitas de Mercurio y Venus.

Tycho procuró demostrar que basaba su sistema en observaciones y no en hipótesis, y que éste tenía las ventajas de los sistemas ptolemaico y copernicano, pero no sus inconvenientes: era geocéntrico y los planetas giraban en torno al Sol; estaba de acuerdo con las afirmaciones de la Biblia y con las observaciones astronómicas. Sobre todo, evitaba la gran distancia celeste que debería existir entre Saturno y la esfera de las estrellas fijas, en caso de que debiera admitirse la hipótesis copernicana. Su sistema se encerraba dentro de la esfera de las estrellas fijas, cuyo centro era la Tierra en un radio algo superior a la distancia máxima de Saturno (que señalaba en 12.300 radios terrestres). En contra del sistema de Tycho Brahe, militaba el extraño aspecto de un cosmos en el que la mayor parte

Rodolfo II, como matemático imperial. Murió el 24 de octubre de 1601, por una retención de orina, mantenida por excesiva educación durante un banquete en casa del barón Rosenberg con invitados imperiales; la infección le llevó a la muerte. Sus últimas palabras fueron, según Kepler, «que no parezca que he vivido en vano».

de los planetas giran descentrados en torno al Sol. No convenció a los neoplatónicos, mientras que los astrónomos no copernicanos vieron en él una solución aceptable.

Si el sistema copernicano rompía con el cosmos tradicional por el movimiento terrestre, el de Tycho Brahe exigía la desaparición de los orbes cristalinos que durante siglos habían sido imprescindibles para transportar y sostener los planetas y para transmitir el movimiento de las fijas. La razón de semejante exigencia es que, tal como Tycho Brahe coloca las órbitas, necesariamente algunas de ellas se intersecan.

El problema fundamental que presentaba su sistema —al igual que lo hacía el de Copérnico— eran las inexactitudes de algunas órbitas planetarias, sobre todo la de Marte, que en su proyección interseca con la del Sol; lo cual hacía pensar en una excentricidad en el sistema solar. Esto representó de hecho el primer paso hacia las leyes de Kepler. En el último año de su vida, Tycho comenzó a investigar los movimientos de los planetas. En esta labor le ayudó Kepler, a quien había aceptado como ayudante en febrero de 1600, y a quien encomendó el estudio de la órbita de Marte, cuyo resultado habrá de ser, con el tiempo, la génesis de la astronomía moderna.

5.3.2. *Las observaciones de Tycho Brahe*

Las observaciones de Brahe fueron tan precisas que pusieron muy alto el nivel de precisión exigido a los constructos teóricos. Así, cualquiera de los sistemas mediante círculos y otras curvas que Kepler construyó antes de optar por la elipse, era más preciso que los mejores sistemas ptolemaicos y copernicanos, y hubiese sido dado por bueno, de no ser porque Kepler pudo contrastar sus teorías con los datos de Tycho Brahe. El legado de Tycho Brahe en forma de anotaciones sobre las posiciones de los astros, y muy especialmente de Marte, fue determinante para el éxito teórico de Kepler. Por otra parte, otro conjunto de observaciones hechas por Tycho Brahe contribuyó de modo importante a la revisión de la imagen del mundo tradicional: el registro de novas y cometas y su ubicación cierta más allá de la Luna hizo dudar seriamente de la inmutabilidad de los cielos.

Es interesante, desde el punto de vista metodológico, apuntar que la nova, registrada por Tycho Brahe en 1572, ya había desaparecido del cielo en el momento en que los datos fueron publicados. La repetibilidad e intersubjetividad de los detalles de la observación quedan en entredicho y sólo se pueden apuntalar con la credibilidad general de Tycho Brahe como observador y con el repetido registro de cometas que llevó a cabo y que suponían, en definitiva, también cambios en «lo inmutable».

Se puede señalar, en la misma línea, que registros análogos sobre cometas y novas ya habían sido obtenidos en la Antigüedad, pero habían sido interpretados, conforme al esquema teórico vigente, como fenómenos sublunares. Es obvio que los presupuestos teóricos condicionan nuestra interpretación de los datos, sin embargo, este condicionamiento en la interpretación tiene un límite. Así, Hiparco, tras la observación de una nova, emprendió la elaboración de un catálogo de estrellas, quizá para confirmar (él o, más probablemente, otros astrónomos venideros) la inmutabilidad de los cielos. Por otra parte, ya Séneca había puesto en duda la naturaleza sublunar de los cometas. Parece seguirse que no hay una observación definitiva, un dato que acabe con un sistema teórico, pero, en contrapartida, la confianza en una teoría no es inmune a la repetida aparición de datos no previstos *a priori* y de comprometido encaje *a posteriori*.

5.4. La nueva astronomía de Kepler

En astronomía, Kepler[11] radicaliza las tesis copernicanas tomando plenamente en serio el nuevo estatuto planetario de la Tie-

11. Johannes Kepler (1571-1630) nació en Weilderstadt, Würtemberg (Alemania). Tras cursar sus estudios en la escuela popular del convento de Maulbronn, una beca le permite estudiar, de los 13 a los 16 años, en el seminario de Tubinga. A los 20, se gradúa en la Universidad de Tubinga y estudia luego teología, que abandona por un puesto de matemático y astrónomo en Graz, ofrecido en 1594. Se dedica inicialmente a las predicciones astrológicas y a los horóscopos, pese a considerarlos «sortilegios y hechicerías», pero concibe, al mismo tiempo, la posibilidad de una nueva astronomía, objetivo que persigue, en un primer momento, por la vía del misterio y de los símbolos. Debido a la persecución religiosa, Kepler, lu-

rra y la nueva función del Sol como centro y motor del sistema. Los planos de las órbitas, por tanto, no tienen por qué cortarse en el centro de la órbita terrestre (como los dispuso Copérnico), sino precisamente en el Sol. Expondremos el proceso por el que Kepler acaba proponiendo la elipse, para dar cuenta de las trayectorias observadas. En una labor de casi diez años probó diversas posibilidades para explicar el movimiento de Marte. Contó para ello con los datos legados por Tycho Brahe.

En *Mysterium Cosmographicum* (1596), intenta probar la relación existente entre las distancias de los planetas al Sol y el tiempo de rotación, que no era simplemente proporcional a la distancia, sino mayor, dado que, al aumentar la distancia, disminuía la velocidad. Kepler cree descubrir la ley estableciendo una relación entre los sólidos regulares platónicos y las distancias de los planetas al Sol, inscribiendo estos sólidos en sucesivas esferas: cubo, tetraedro, dodecaedro, icosaedro y octaedro, de modo que la esfera de Saturno quedaba circunscrita a un cubo en el que se inscribía la esfera de Júpiter, que circunscribía el tetraedro, etc. Siguiendo este orden: Saturno —Cubo— Júpiter —Tetraedro— Marte —Dodecaedro— Tierra

terano, fue expulsado de Graz. Aprovechando el viaje del barón Hoffmann, de Graz a Praga, que le aceptó en su séquito el 1 de enero de 1600, Kepler pudo ponerse en contacto con Tycho Brahe, quien le encargó investigar la excentricidad de la órbita de Marte. Nombrado matemático imperial a la muerte de Tycho Brahe, en 1601, permanece en Praga hasta 1612, año de la muerte de Rodolfo II. En este tiempo funda la óptica —que llamó dióptrica— y la astronomía física. En 1611, tras la muerte del emperador Rodolfo, se traslada a Linz, en Austria, con el cargo de matemático provincial. Allí tuvo que soportar el ominoso proceso por brujería iniciado contra su madre, que se hallaba en Leonberg, población cercana a su ciudad natal de Weilderstad, y que duró de 1615 a 1621. Su madre murió poco después de terminado el proceso. En esta época, Kepler escribe *Harmonices Mundi Libri V* (1619), obra en que intenta la síntesis final de su visión cosmológica: la armonía —en el más puro sentido pitagórico— total entre la geometría, la música y la astronomía. En ella formula la tercera ley de Kepler. Publica todavía un comentario al sistema copernicano, con el título de *Epitome Astronomiae Copernicanae* (1621), y las *Tablas Rudolfinas*, obra de astronomía práctica, útiles para el astrónomo y el astrólogo y como calendario y guía para la navegación, que, según testimonio del propio Kepler, estuvo construyendo durante 22 años. En ellas utiliza muchos de los datos observacionales registrados por Tycho Brahe. Aún añade a este conjunto de obras *Somnium*, inacabado y asombroso sueño de un viaje a la Luna. Murió en Ratisbona, en 1630.

—Icosaedro— Venus —Octaedro— Mercurio. Esta obra, pese a su apariencia místico-pitagórica, era la primera aceptación pública y argumentada del sistema de Copérnico hecha por un astrónomo; partía del postulado, en su primera parte, de que, puesto que el mundo es perfecto y no existen sino cinco sólidos perfectos, debía haber una relación entre una cosa y otra. La segunda parte de la obra intenta probar con demostraciones geométricas el planteamiento que considera sólo «probable» de circunscripción de las órbitas según los sólidos regulares y el giro de la Tierra en torno al Sol. Estas demostraciones matemáticas se consideran el semillero de la nueva teoría astronómica que él mismo iba a fundar. El libro le dio a conocer en toda Europa y, sobre todo, llamó la atención de Tycho Brahe, quien, en 1600, le encargó que continuara sus trabajos.

Pero su gran obra de astronomía es *Nueva astronomía o Física del cielo* (1609), que señala el inicio de la Astronomía moderna. Presenta las dos primeras leyes de Kepler (la tercera la publicará en *Harmonices Mundi*, 1619). La primera ley de Kepler establece que los planetas describen órbitas elípticas, en uno de cuyos focos se halla el Sol. Cabe ponderar el cambio radical que constituye esta primera ley. Desde los comienzos de la astronomía teórica griega, las órbitas utilizadas para salvar el fenómeno fueron siempre circulares; nunca hasta Kepler se había probado otra curva. Por otra parte, los orbes, que habían sido mantenidos incluso por Copérnico, también desaparecen. Los sistemas de deferentes y epiciclos, así como el ecuante y las circunferencias excéntricas son ya prescindibles. Según la segunda ley del movimiento planetario, la que trata sobre la velocidad de éste, el radio vector que une los centros del Sol y del planeta recorre áreas iguales en tiempos iguales (velocidad areolar constante). La segunda ley muestra su conexión con el modelo magnético en que pensaba Kepler y la importancia que éste concedía a la realidad física del impulso con que el Sol anima los planetas. Kepler atribuye el movimiento del sistema solar a una fuerza «magnética y material muy simple» que ejerce el Sol sobre los planetas.

Al año siguiente, puede enterarse de los descubrimientos que Galileo lleva a cabo con su telescopio y que el físico italiano narra en el *Sidereus Nuncius* (1610), y acerca de los cuales le pide la opi-

nión. Sobre estas observaciones, escribe Kepler *Conversación con el mensajero de las estrellas*, como carta (laudatoria y retórica) a Galileo. En septiembre de este mismo año, gracias al telescopio prestado por un matemático imperial, pudo Kepler contemplar los planetas medíceos. Sobre ello escribió *Informe de las observaciones de los cuatro satélites errantes de Júpiter*, primer reconocimiento oficial que un astrónomo hacía de los descubrimientos de Galileo. Éste, en cambio, desconoció hasta el fin de sus días las leyes de Kepler. *Dioptrice* (1610), que quiere decir «refracción», es la obra en la que Kepler, completando una obra anterior, *Ad Vitellionem paralipomena* (1604), desarrolla correctamente los principios de la óptica geométrica e instrumental, aunque sin llegar a formular la ley de la refracción de la luz.

Para Kepler, el descubrimiento de una simple regularidad matemática detrás de un fenómeno constituye ya una explicación del mismo. La búsqueda de estas regularidades fue constante en el quehacer de Kepler. Será instructivo mostrar al lector algunas regularidades propuestas por Kepler, con la misma seriedad que otorgaba a las tres leyes mencionadas. Por ejemplo, se puede exponer el sistema para calcular las dimensiones de los orbes tomando como base los cinco sólidos regulares. Esta es una idea temprana en la vida intelectual de Kepler, pero aún en *Harmonices Mundi* junto con la tercera ley, incluye una relación entre las velocidades orbitales y los intervalos consonantes de la escala musical. La tercera ley establece que los cuadrados de los tiempos empleados por los planetas en su movimiento de revolución son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas. El trabajo de Kepler, hasta aquí, depende de los datos de Tycho Brahe, de su profunda convicción copernicana y también de la filosofía neoplatónica a la que se adhería. Este último aspecto aparece con mayor intensidad en la discusión de la tercera ley del movimiento planetario, la que introduce una cierta armonía y aspecto sistemático en el —ahora propiamente dicho— sistema solar. Kepler es un buen caso histórico para reflexionar sobre la función, por un lado, de las ideas metafísicas, estéticas y religiosas y, por otro, de la base observacional en ciencia.

La fuerza de convicción con que contaba el sistema de Kepler vino dada por la combinación de simplicidad y precisión (de la que son muestra las *Tablas rudolfinas* editadas por Kepler en 1627).

Como ya se ha apuntado, hasta Kepler, la astronomía había pagado cada incremento de precisión con un aumento en la complejidad matemática de los sistemas empleados. Por primera vez, un sistema consigue ganancias simultáneas en ambos frentes. Este hecho pudo convencer a muchos astrónomos, cosmólogos y físicos de su adecuación.

5.5. Los descubrimientos de Galileo

Galileo[12] también será tratado en el próximo tema como físico. En el presente apartado nos limitaremos a mencionar su defensa de

12. Galileo Galilei (1564-1642) nació en Pisa, en 1564. Fue el primogénito de siete hermanos, hijos de Vicenzo Galilei, que emigró a Pisa para establecerse como comerciante. En 1574, la familia se trasladó a Florencia, donde Galileo estudió en el monasterio de Santa María de Vallombrosa. En 1581 ingresó en la Universidad de Pisa para estudiar medicina; a los cuatro años, abandonó la universidad sin lograr el título, pero con unos amplios conocimientos sobre Aristóteles. De vuelta a Florencia, se dedicó a profundizar en el estudio de las matemáticas, bajo la dirección de Ostilio Ricci, que había sido discípulo de Nicola Tartaglia, y empezó a realizar observaciones en el ámbito de la física. En 1583 descubrió el isocronismo de las oscilaciones del péndulo. Después de haber publicado en 1586 *La pequeña balanza*, donde ilustraba la balanza hidrostática que había proyectado siguiendo las indicaciones de Arquímedes, se dedicó a ampliar y a profundizar también en su propia cultura literaria, hasta que en 1589, el gran duque de Toscana le otorgó una cátedra de Matemáticas en la Universidad de Pisa. En 1589 compuso un texto sobre el movimiento, en el que criticaba las explicaciones aristotélicas sobre la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles. En 1592 fue elegido profesor de matemáticas en la Universidad de Padua, donde se ocupó de asuntos técnicos como la arquitectura militar y la topografía, desarrollando invenciones como una máquina para elevar agua, un termoscopio y un procedimiento mecánico de cálculo expuesto en *Le operazioni del compasso geometrico e militare* (1606). En 1609 transformó un anteojo fabricado en Holanda, hasta convertirlo en un auténtico telescopio, con el que observó que la Luna no era una esfera perfecta, como se deducirá de las teorías de Aristóteles, sino un lugar con montañas y cráteres. Descubrió cuatro satélites que giraban alrededor de Júpiter, poniendo en duda la afirmación de que la Tierra era el centro de todos los movimientos celestes, y reforzando la teoría heliocéntrica de Copérnico. Expuso sus observaciones en el texto *Sidereus nuncius* (Mensajero celestial, 1610). En 1632 consiguió el *imprimatur* para su obra *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, tolemaico e copernicano* (Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo), a pesar de lo cual fue sometido a proceso eclesiásti-

la astronomía copernicana (en *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo*) y, sobre todo, a exponer sus hallazgos en la práctica de la astronomía observacional. Tales hallazgos tuvieron una enorme repercusión, pues contaban a favor del copernicanismo ante gentes que no se hubiesen sentido impresionadas por la armonía metamática lograda por Kepler. Las aportaciones de Galileo tuvieron como efecto la extensión definitiva de la polémica más allá del ámbito de los astrónomos expertos. El propio Galileo, como sabemos, fue víctima de esta extensión de la polémica copernicana. Los argumentos por él ofrecidos en pro del copernicanismo tenían un aspecto empírico inmediato.

Integrado con facilidad en el vivaz ambiente intelectual véneto, Galileo emprendió numerosas investigaciones científicas y amplió sus anteriores intereses por la técnica, entre otras cosas, instalando junto a su despacho una especie de oficina-laboratorio. Se remontan a esta época las *Operaciones del compás geométrico y militar* (1606) y la polémica con B. Capra, que reclamaba para sí la prioridad del invento. En 1609, al conocer la noticia de que «anteojeros» holandeses habían construido un «anteojo» que hacía visibles los objetos lejanos, construyó personalmente un instrumento similar y con éste llevó a cabo las observaciones astronómicas cuyos resultados comunicó a través del *Sidereus Nuncius* (1610).

El conjunto de la obra de Galileo, sin ser equivalente a una verdadera confirmación empírica de la hipótesis copernicana, tiene el valor de contribuir enormemente a su difusión y a la destrucción definitiva de la imagen aristotélica del mundo y de los prejuicios sobre cómo había de ser el movimiento de los cuerpos en una Tierra también en movimiento. El principio de que «todo cuerpo que se mueve dentro de un sistema en movimiento no permite establecer si el sistema está en reposo o movimiento» elimina definitivamente el argumento aristotélico y, también del sentido común, de que la Tierra está quieta porque lo parece y por las alteraciones visibles que sufrirían los cuerpos en movimiento o en caída, en caso

co en 1633 por defender la teoría heliocéntrica y condenado a reclusión perpetua. Escribió asimismo *Discorsi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze* (Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias, 1638). Murió en Arcetri, en 1642.

de que se moviera. La verdadera confirmación de la cosmología copernicana proviene de la síntesis definitiva de Newton, que, con su sistema del mundo, unifica el movimiento de los cuerpos terrestres (leyes de Galileo) y el de los cuerpos celestes en sus órbitas elípticas (leyes de Kepler).

Galileo defiende la cosmología copernicana. Sobre todo con la publicación de sus observaciones astronómicas y sus descubrimientos con el telescopio en *Sidereus Nuncius* (1610), con los argumentos expuestos en *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo* (1632) a favor del movimiento diurno de la Tierra (jornada segunda) y a favor de su traslación en torno al Sol (jornada tercera), y con la fundación de la mecánica con sus leyes sobre el movimiento, publicadas en *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias* (1638).

Galileo alababa a Copérnico precisamente por lo que hizo: por permanecer fiel a sus convicciones, a costa de desafiar a sus sentidos[13]. Como Copérnico y como Kepler, el otro gran pionero de la física moderna que formuló las leyes del movimiento de los planetas, Galileo era un cristiano convencido, lo cual le llevó a contemplar la naturaleza como la obra de un Dios infinitamente sabio y, por tanto, como algo racional que el hombre, creado por Dios a su imagen y semejanza, podía comprender. Todos ellos encontraron en las matemáticas el lenguaje preciso para interrogar a la Naturaleza. Combinando las matemáticas con la experimentación, encontraron el camino de la nueva física.

El instrumento utilizado por Galileo en sus observaciones, el telescopio, constituía una novedad radical. Es la primera vez que el hombre escruta los cielos con algo más que su ojo. Por supuesto, los propios datos obtenidos a través del telescopio exigen interpretación. La captación de puntos luminosos como ilusiones ópticas o como satélites de Júpiter depende de los presupuestos teóricos bajo los cuales tomemos los datos telescópicos. El telescopio revelaba que la Vía Láctea era una acumulación de estrellas, que el paisaje lunar no dife-

13. Cfr. GALILEI, G.: *Dialogo di Galileo Galilei linceo... dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, 1632; trad. esp.: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, Alianza Editorial, Madrid, 1995, p. 328.

ría mucho del terrestre, y que, además de los ya conocidos, existían otros cuatro planetas satélites de Júpiter, que Galileo bautizó con el nombre de «mediceos». Poco después, ulteriores observaciones le permitieron llevar a cabo nuevos descubrimientos: el aspecto tridimensional de Saturno (el famoso «anillo», invisible para el anteojo de Galileo), las fases de Venus y el estudio de las manchas solares. Estas observaciones eran de extraordinaria importancia, pues, a través de la «certidumbre que es dada por los ojos», quedaba refutada la construcción astronómica aristotélica-ptolemaica, al resquebrajarse dos de sus cimientos fundamentales: la heterogeneidad cualitativa de las esferas celestial y terrestre, y la unicidad del centro de todos los movimientos cósmicos. Además, el empleo del telescopio le permitió también eliminar toda una serie de objeciones a la hipótesis copernicana que, hasta entonces, muchos habían considerado como fundamentadas, incluso imposibles de superar, por ejemplo, la que afirmaba que la «naturaleza terrestre» de un planeta le impediría moverse. Esta afirmación quedaba desprovista de fundamento por la revelación terrestre de la Luna, que, sin embargo, se movía.

Es importante reparar en que ninguno de los impresionantes descubrimientos de Galileo —la constatación del relieve lunar, el descubrimiento de los satélites de Júpiter, de las fases de Venus, de las manchas solares y la rotación del Sol, de la auténtica naturaleza de la Vía Láctea, de estrellas nunca vistas— demostraba la verdad del sistema copernicano. El que más cerca estaba de hacerlo era el de las fases de Venus, a todas luces inexplicables desde el sistema geocéntrico, pero asumible dentro del sistema de Tycho Brahe. Sin embargo, la acumulación de pruebas en contra de la cosmología y de la física tradicionales hacían que la coherencia de la astronomía ptolemaica con ellas no pudiese ser ya más un argumento en favor de dicha astronomía.

5.6. El proceso a Galileo

De las más de 8.000 publicaciones de toda índole sobre Galileo [14], son abundantes las que aluden al proceso inquisitorial que su-

14. Pueden recordarse aquí sin afán exhaustivo los estudios de Arana, J.: «Galileo: el hombre y el filósofo», *Atlántida*, 1990, 2:158-169; Redondi, P.: *Gali-*

frió y que incurren en parcialidad o repiten viejos tópicos. En el poco espacio que podemos dedicar aquí a tan controvertido tema, intentaremos ir al núcleo de la cuestión, desenmarañando esta madeja. Aunque resulte sorprendente, el proceso de Galileo no fue, como tantas veces se afirma, el resultado de un conflicto entre la ciencia y la fe, sino más bien, como veremos en este apartado, la consecuencia de un debate interno entre los católicos sobre el modo de encarar las implicaciones religiosas de la naciente ciencia natural [15].

Vayamos, pues, derechos a la cuestión. Si hay algo en lo que todos los conocedores de Galileo coinciden, es en subrayar dos rasgos acusados de su personalidad: de una parte, una clarividencia genial, una lucidez mental deslumbrante que, a pesar de estar situado a cientos de años en el pasado, le facultan para razonar como una persona de nuestro siglo, como alguien que sabía de antemano el rumbo que iba a seguir la historia; de otra, sobresale el afán polémico de aquel hombre, quien ya en su época de estudiante en la Universidad de Pisa se hizo famoso por contradecir a sus profesores. Algo tiene que ver este temperamento con las múltiples controversias en que se vio envuelto. Amigo de sus amigos, Galileo fue también enemigo implacable y contumaz, proclive a refutar a sus contradictores de un modo que los hería y cubría del mayor ridículo.

Varios ejemplos bastarán para ilustrarlo. En 1597, en sendas cartas a Jacopo Mazzoni y a Kepler, se declara copernicano convencido. La noticia de la aparición de una estrella «nova», el 9 de octubre de 1604, señala el comienzo de su interés por la astronomía. Da tres conferencias sobre el significado antiaristotélico que aquella aparición encerraba y sus opiniones son criticadas anóni-

leo herético, Alianza, Madrid, 1990; GEYMONAT, L.: *Galileo Galilei*, Península, Barcelona, 1969; DRAKE, S.: *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983; BRANDMÜLLER, W.: *Galileo y la Iglesia*, 2ª edición, Rialp, Madrid, 1992; COOPER, L.: *Galileo and the Tower of Pisa*, Itaca, Cornell University Press, New York, 1935; A. BELTRÁN: *Galileo, el autor y su obra*, Barcanova, Barcelona, 1983; BANFI, A.: *Vida de Galileo Galilei*, Alianza, Madrid, 1967; FISCHER, K.: *Galileo Galilei*, Herder, Barcelona, 1986; WALLACE, W.A.: *Galileo and his sources*, Princeton, 1984; idem: *Galileo, the jesuits and the niedieval Aristotle*, Hampshire, 1991; THUILLIER, P.: «Galileo y la experimentación», en *Mundo Científico*, 1983, 26: 585-597.

15. ARANA, J.: «Galileo: el hombre y el filósofo», art. cit. p. 158.

mamente por Cesare Cremonini, colega suyo en la universidad, que defiende una interpretación totalmente aristotélica del fenómeno. Contra él escribe una dura réplica, pero los sucesos astronómicos no confirman sus hipótesis y Galileo deja de interesarse momentáneamente por la astronomía copernicana. Reemprende la discusión, en 1606, contra un escrito de Ludovico delle Colombe, que comenta la aparición de una «nova» en sentido aristotélico.

Otro episodio nos muestra a Baldasarre Capra, que intentó copiar uno de sus inventos, el compás geográfico-militar. El episodio no tendría mayor relevancia, pero Galileo reaccionó con extraordinaria energía: le acusó de plagio, obtuvo la condena pública del ofensor, y se propuso una proscripción absoluta de éste, a pesar de haberse retractado y solicitado su perdón. También discrepaba Galileo de los profesores de Florencia y Pisa sobre la hidrostática, y en 1612 publicó un libro sobre cuerpos en flotación. Como respuesta, inmediatamente aparecieron cuatro publicaciones que atacaban a Galileo y rechazaban su física. En 1613 escribió un tratado sobre las manchas solares y anticipó la supremacía de la teoría de Copérnico. En su ausencia, un profesor de Pisa les dijo a la familia de los Médicis (que gobernaban Florencia y mantenían a Galileo) que la creencia de que la Tierra se movía constituía una herejía. En 1614, un sacerdote florentino denunció desde el púlpito a Galileo y a sus seguidores. Éste escribió entonces una extensa carta abierta sobre la irrelevancia de los pasajes bíblicos en los razonamientos científicos, sosteniendo que la interpretación de la Biblia debería ir adaptándose a los nuevos conocimientos y que ninguna posición científica debería convertirse en artículo de fe de la Iglesia católica.

A principios de 1616, los libros de Copérnico fueron censurados por un edicto, y el cardenal jesuita Roberto Belarmino dio instrucciones a Galileo para que no defendiera el concepto de que la Tierra se movía. El cardenal le había avisado previamente de que sólo tuviera en cuenta sus ideas como hipótesis de trabajo e investigación, sin tomar literalmente los conceptos de Copérnico como verdades y sin tratar de aproximarlos a lo escrito en la Biblia. Galileo guardó silencio sobre el tema durante algunos años y se dedicó a escribir *El ensayador* (1623). En él, aparte de una errónea hipótesis sobre los cometas, se halla la profesión de fe de Galileo en la

ciencia moderna y la descripción de sus características: aquella que sabe leer el libro de la Naturaleza escrito en lenguaje matemático. Pero la finalidad primordial de *El ensayador* era desprestigiar el sistema de Tycho Brahe, defendido y difundido por los jesuitas del Collegio Romano como vía de compromiso, al no ser aristotélico ni contradecir a la Biblia; la ocasión se la brinda el libro del jesuita Orazio Grassi, quien, con el seudónimo de «Sarsi», publica *Libra astronomica ac philosophica* (con el equívoco buscado entre «libros» y «balanza»). Grassi se atrevió a defender una teoría sobre los cometas discrepante de la de Galileo, aunque más próxima a la verdad que la del pisano, y además replicó a los ataques de uno de sus discípulos. La contrarréplica de Galileo se convirtió en una persecución inmisericorde, en la que todos y cada uno de los errores del contrincante son señalados, ridiculizados y destruidos. Nada salva Galileo de su oponente: sus fallos son imperdonables, sus aciertos se vuelven contra su misma causa, sus argumentos denotan ignorancia, cortedad o mala fe. Cuando sorprende al desdichado dando un paso en falso, lo aplasta entre sus manos con regodeo.

No es necesario decir que este *modus operandi* le atrajo enconadas enemistades. Quien denunció a Galileo fue un predicador azuzado por jesuitas aristotélicos y profesores de filosofía, agraviados unos por los ataques que habían sufrido de él, envidiosos otros de su celebridad, y molestos todos con su prepotencia. Cuando Galileo llega a Roma el 1 de abril de 1611, es recibido con honores por el papa Pablo V, es nombrado miembro de la Academia dei Lincei y los jesuitas astrónomos y matemáticos del Collegio Romano celebran su llegada. El cardenal Bellarmino pide informes a Christopher Clavius sobre la fidelidad de las observaciones. El cardenal Maffeo Barberini alaba públicamente a Galileo (más adelante, se convertirá en el Papa Urbano VIII). Galileo cuenta, además, con algún que otro discípulo directo o amigo, como Benedetto Castelli y Piero Dini. Algunos liberales, como Cremonini se oponen a las experiencias y observaciones de Galileo, sólo por fidelidad a sus principios de siempre. Frente a Galileo hay, no obstante, un grupo de aristotélicos, de no demasiada categoría, cerriles y dogmáticos. El 14 de diciembre de 1613, Benedetto Castelli, matemático de Pisa y discípulo y amigo de Galileo, escribe a éste acerca de una reunión, a la que asiste junto con filósofos y teólogos, en la Corte del Gran Duque de Toscana, donde se le plantea, en pregunta directa hecha

por la Gran Duquesa, la cuestión de si las doctrinas copernicanas están o no de acuerdo con las Escrituras. Castelli opina que las cosas científicas deben solucionarse por vías exclusivamente científicas.

Galileo le contesta con su carta del 21 de diciembre de 1613, abundando en estas razones. Tras afirmar, como declaración de principios, que las Sagradas Escrituras no pueden equivocarse, sostiene acertadamente que sólo pueden hacerlo quienes las interpretan ateniéndose a un sentido literal; el sentido literal hay que dejarlo exclusivamente a los asuntos que son de fe (*ex fide*); para el resto de cosas, que la «experiencia sensible» o las «demostraciones necesarias» hacen evidente o verdadero, no debe acudirse a la Escritura para mostrar una posible discordancia: como dos verdades no pueden contradecirse, quienes interpretan la Escritura han de hallar, para estos asuntos que no son de fe, el verdadero sentido de acuerdo con las conclusiones de la experiencia o de la razón; que nadie comprometa, pues, a la Escritura con interpretaciones que puedan oponerse a la ciencia; que quien acuda a ella se limite a cuestiones de fe. Se remite, luego, al conocido pasaje de Josué (10, 12-13), no para demostrar que no ha de entenderse literalmente, sino para observar que, si se interpreta en sentido literal, sólo la hipótesis copernicana hace inteligible el texto; en la hipótesis ptolemaica, detener el sol significaría acortar el tiempo del ocaso. Los acontecimientos complican la situación[16].

Galileo añade a esta carta otras: dos a Piero Dini y una última «Carta a la gran duquesa Cristina» (hacia 1615); el conjunto de ellas recibe el nombre de *Cartas copernicanas*. En la «Carta a la gran duquesa Cristina» defiende claramente la hipótesis heliocéntrica y a su autor Copérnico contra quienes aducen que esta teoría va en contra de varios pasajes de la Biblia. Afirma, de nuevo, que la Escritura es infalible en cosas de fe, y que no siempre ha de entenderse en sentido literal, pero que, en cuestiones de «experiencias sensibles y demostraciones necesarias», no ha de comenzar por consultarse el sentido literal de la Escritura. Concede, no obstante, más que en la carta a Castelli: no es preciso reservar a la Escritura

16. Cfr. GALILEI, G.: «Carta a Benedetto Castelli», del 21 de diciembre de 1613, en *Carta a Cristina de Lorena*, Alianza, Madrid, 1987, pp. 39-46.

sólo lo que es de fe, también se le puede conceder superioridad de opinión en aquellas cosas humanas que no pretendan ser un saber demostrativo; pero éste no es el caso de la astronomía, para la que Dios, autor de todas las verdades, nos ha dado ojos y razón. A la Escritura no le importa precisar si el cielo se mueve o no, o si la Tierra es una esfera o un plano; le importa enseñar cómo se va al cielo, no cómo es el cielo. En ningún modo, ha de permitirse que nadie comprometa el sentido de los textos de la Escritura, máxime en cuestiones tan discutidas desde Pitágoras a Copérnico; que autores de poca monta se atrevan a aducir la Escritura en contra de opiniones científicamente fundadas, como son sus propios descubrimientos astronómicos, para obligar a defender como verdaderas opiniones que van en contra de la ciencia, supone, sin más, anular la posibilidad de toda ciencia y del mismo espíritu científico [17].

Desde la publicación de la documentación completa del juicio contra Galileo en 1870, toda la responsabilidad de la condena a Galileo ha recaído tradicionalmente sobre la Iglesia católica de Roma. Sin embargo, la imagen que tradicionalmente se ha presentado de una jerarquía eclesiástica retrógrada, que habría censurado a Galileo por ser el exponente del progreso que amenazaba arrumbar los dogmas con que cobijaban sus privilegios, en modo alguno se compadece con la verdad. No podemos olvidar que, en aquellos momentos, la Iglesia católica representaba, desde el punto de vista socio-cultural, la potencia más pujante del orbe. Incluso, desde la óptica estrictamente científica, no había en toda Europa nada comparable con el Colegio Romano de los jesuitas. Galileo, como cualquier matemático y astrónomo de su generación, lo sabía muy bien y trató de conseguir por todos los medios, no sólo que la autoridad religiosa tolerase el copernicanismo, sino, además, que lo adoptara oficialmente. La tolerancia del copernicanismo la tenía ya conseguida, pues, de hecho, la hipótesis astronómica copernicana había circulado libremente en los países católicos desde su formulación. En la Universidad de Salamanca, por ejemplo, se explicaba desde 1561, y preferentemente desde 1594. Pero el programa intelectual de Galileo choca de frente con las autoridades eclesiásticas. Veamos cómo se suceden los hechos.

17. Cfr. ibídem, pp. 72-80.

El 24 de febrero de 1616, una comisión del Santo Oficio descalifica la afirmación de que el Sol sea el centro del mundo y esté quieto y que la Tierra no sea el centro del mundo y se mueva. El 5 de marzo de 1616 la Congregación del Santo Oficio declara acerca de la «falsa doctrina pitagórica» contraria a la Sagrada Escritura, a saber, que la Tierra se mueve y que el Sol está quieto, enseñada por Nicolás Copérnico: que el libro *De revolutionibus...*, en que se expone, ha de considerarse suspendido de publicación —puesto en el Índice de libros prohibidos— mientras no se corrija; así como se prohíbe, condena y suspende todo libro o doctrina que hable en idéntico sentido. El Papa ordena al cardenal Bellarmino que advierta a Galileo que abandone sus puntos de vista copernicanos (26 de febrero de 1616). Galileo se compromete bajo juramento a guardar silencio.

Pero, en 1624, Galileo, que nunca da una batalla por perdida, empieza a trabajar en lo que será su defensa más paladina del sistema copernicano. Comenzó a escribir un libro que quiso titular *Diálogo sobre las mareas*, en el que trataba las hipótesis de Ptolomeo y Copérnico respecto a este fenómeno. En 1630, el libro obtuvo la licencia de los censores de la Iglesia católica de Roma, pero le cambiaron el título por *Diálogo sobre los sistemas máximos*, y fue publicado en Florencia en 1632. De sus tres personajes, Simplicio y Salviati defienden, respectivamente, el sistema aristotélico y el copernicano, mientras que Sagredo es la persona de buen juicio que media entre uno y otro. El libro está escrito en italiano porque se dirige al público culto en general y trata de atraer al lector a la teoría heliocéntrica, que presenta como más correcta. Simplicio es el personaje tradicional y aristotélico que aduce razones propuestas por filósofos de la época y hasta expone un argumento utilizado por el propio Urbano VIII.

Inmediatamente Galileo fue llamado a Roma por la Inquisición a fin de procesarle bajo la acusación de «sospecha grave de herejía». Este cargo se basaba en un informe según el cual se le había prohibido en 1616 hablar o escribir sobre el sistema de Copérnico. Galileo presentó a favor del sistema copernicano, que enfrenta al ptolemaico, su argumentación *ex suppositione*, esto es, como si se tratara de una simple hipótesis matemática de los movimientos planetarios, pero probablemente tal planteamiento hipotético pareció a

las autoridades eclesiásticas un mero artificio de disimulación de una verdadera defensa del copernicanismo. Por el incumplimiento de su juramento y, en menor medida, porque en verdad el papa Urbano VIII se sintiera caricaturizado por Galileo al poner éste en boca de Simplicio una opinión suya, Galileo es juzgado y condenado; el castigo implica la abjuración de la teoría heliocéntrica, la prohibición del *Diálogo...*, la privación de libertad a juicio de la Inquisición (que es conmutada por arresto domiciliario) y algunas penitencias de tipo religioso. La tradición ha inventado que, al levantarse Galileo tras permanecer arrodillado para la abjuración, golpeó con fuerza el suelo con el pie exclamando: *eppur si muove!* («sin embargo, se mueve»). Durante los años siguientes, Galileo confinado domiciliariamente, reúne todos sus apuntes sobre mecánica, en los que había trabajado durante veinte años. El resultado son las *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, publicadas en la Editorial Elzevier, de Leiden (1638), con la advertencia de que se hace «contra la voluntad del autor», truco utilizado para escapar a la vigilancia de los inquisidores. La gran aportación de Galileo en esta obra está en la tercera y cuarta jornadas, de las cuatro en que la divide, donde se refiere a las leyes del movimiento uniforme y acelerado y al movimiento de los proyectiles, respectivamente. Es su gran obra científica. Antes de la publicación de esta obra, Galileo se quedó ciego y murió el 8 de enero de 1642 en Arcetri, cerca de Florencia.

Los historiadores de la ciencia no coinciden en sus valoraciones sobre el caso Galileo. Desde una óptica marxista, Ludovico Geymonat sugiere que Galileo no sentía una preocupación especial por la religión en general. El pisano habría visto en la Iglesia nada más que un medio imprescindible para alcanzar el fin prioritario de su existencia, esto es, la instauración, a nivel social, de la nueva ciencia. No comparte tal tesis Stilman Drake, probablemente la primera autoridad entre los estudiosos de Galileo. Drake opina lo siguiente:

> «Mi hipótesis sobre el caso Galileo puede parecer a primera vista altamente improbable: Galileo no fue un copernicano fanático, sino que su preocupación apuntaba más al futuro de la Iglesia católica y a la defensa de la fe religiosa contra *cualquier* descubrimiento científico que pudiera hacerse (...) El idioma italiano de entonces requería frases

corteses y ciertas exageraciones que no pueden ser tomadas por sinceras; también es cierto que el catolicismo exigía muestras verbales de deferencia hacia las doctrinas de la Iglesia y sus dignatarios, las cuales no tenían por qué ser necesariamente sentidas. Al aprender a leer el italiano de Galileo, traté de no confundir estas expresiones convencionales y un tanto diplomáticas con declaraciones realmente sinceras. Esta fue la causa de que durante mucho tiempo apenas reparase en sus frecuentes manifestaciones de "celo" por la Iglesia (...) Sólo al ponerme a escribir este libro, y después de haber redactado parte del mismo con una orientación distinta, se me ocurrió de repente que acaso tuviera sentido suponer que Galileo había hablado sinceramente acerca de su celo por la Iglesia y que eso mismo fuese lo que le indujo a correr ciertos riesgos (...) El efecto que esta nueva hipótesis ejerció entonces sobre mí fue electrizante, igual que si hubiera hallado un documento olvidado que permitiese despejar todas las viejas dudas» [18].

Si la hipótesis es correcta, el proceso de Galileo no fue, como tantas veces se ha repetido, el resultado de un enfrentamiento entre la ciencia y la fe, sino algo derivado de un debate interno entre católicos acerca de las implicaciones religiosas de la ciencia moderna y su compatibilidad con la Sagrada Escritura.

Por su parte, el estudioso W. Brandmüller incide más en que la equivocación no residió sólo en el tribunal inquisitorial, sino que afectó a las dos partes: a Galileo y a los eclesiásticos que le juzgaron. Paralelamente, como suele suceder en todo debate, las dos posturas albergaban argumentaciones correctas:

«Se da el hecho grotesco de que la Iglesia, tantas veces acusada de error al meterse en un terreno tan alejado de su competencia como el de las ciencias naturales, tuvo razón al exigir a Galileo que defendiera sólo como hipótesis el sistema copernicano (...) No se condenó en 1616 el sistema copernicano y en 1633 el "Diálogo" de Galileo porque la Iglesia considerara falsa la teoría heliocéntrica y verdadera la de Ptolomeo y Tycho Brahe. La negativa de Roma a Galileo y a Copérnico se basó más bien en la creencia de que la concepción copernicana estaba en contradicción con la Sagrada Escritura. Y ahí fue donde se equivocó la Inquisición. Empecinados en interpretar al pie de la letra los textos bíblicos, la mayoría de los exégetas no se atrevie-

18. Cfr. DRAKE, S.: *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983, pp. 14-18.

ron a adoptar la postura ya defendida por Cayetano ni fueron capaces de vislumbrar qué diría de aquellos textos la hermenéutica bíblica del siglo XX. Todavía no se había planteado el tema de las diferentes formas de expresión, de los géneros literarios dentro de la Biblia. Galileo, sin embargo, siguiendo a San Agustín y otros teólogos de la antigüedad, desarrolló algunos criterios de interpretación que cualquier especialista de hoy aprobaría en lo esencial (...) Todo esto conduce al paradójico resultado de que Galileo se equivocó en el campo de la ciencia y los eclesiásticos en la teología, mientras que éstos acertaron en los terrenos científicos y el astrónomo en la exégesis» [19].

Efectivamente, Galileo fue condenado por no acatar, a pesar de haber sido oficialmente conminado a ello, la prohibición de 1616 de enseñar y defender el sistema copernicano. El inspirador de tal prohibición, el cardenal Belarmino, había reconocido claramente que, si la tesis copernicana fuese demostrada palmariamente, no habría más remedio que cambiar los criterios exegéticos vigentes. Hoy se admite que Galileo no tenía tal demostración, sino que fue aportada por Newton en 1687, al derivar las leyes de Kepler desde la ley universal de la atracción gravitatoria. Las afirmaciones de Belarmino indican que los teólogos pensaron que, si aceptaban la versión galileana del sistema copernicano, tendrían que tomarse un trabajo considerable en el campo de la hermenéutica bíblica y en lo referente a la determinación de la autoridad de las interpretaciones de los Santos Padres. Como consideraron que la posibilidad de verse obligados a ello eran remotas, prefirieron ahorrarse el trabajo y proscribieron las voces que planteaban tan incómoda exigencia. Galileo, en cambio, pretendía que en los temas que no afectaban directamente al dogma y a la moral, se otorgara preferencia a las conclusiones sobre el sentido literal de unas fórmulas que podrían ser reinterpretadas fácilmente. La historia ha dado en esto la razón a Galileo, y hay base suficiente para pensar que aquellos teólogos se dejaron llevar por la indolencia y el escaso aprecio por la capacidad de la razón humana [20].

19. Cfr. BRANDMÜLLER, W.: *Galileo y la Iglesia*, 2ª edición, Rialp, Madrid, 1992; ed. or.: *Galilei und die Kirche oder das Recht auf Irrtum*, Friedrich Pus-tet, Regensburg, 1982, pp. 176-178.

20. Cfr. ARANA, J.: art. cit., p. 168.

La figura de Galileo Galilei volvió a ponerse de actualidad en 1979, cuando se inició, por una comisión nombrada por Juan Pablo II, una investigación para esclarecer los distintos aspectos del proceso al que fue sometido por un tribunal eclesiástico. En octubre de 1992, esta comisión papal reconoció el error del Vaticano. Se cierra así un asunto que, envuelto siempre en una atmósfera enrarecida, se ha presentado como símbolo de un supuesto enfrentamiento secular entre ciencia y fe. Sin embargo, los partidarios de esta supuesta confrontación, deben retrotraerse al siglo XVII y, además, sólo disponen de este ejemplo, lo cual no es un argumento muy sólido en favor de su posición. En cualquier caso, se trata de una polémica rancia y caduca, como concluye Karl Popper, cuyas palabras pueden servir muy bien de colofón a este capítulo:

> «(...) en la actualidad, esa historia [el proceso inquisitorial contra Galileo] es ya muy vieja, y creo que ha perdido su interés. Pues la ciencia de Galileo no tiene enemigos, al parecer: en lo sucesivo, su vida está asegurada. La victoria ganada hace tiempo fue definitiva, y en este frente de batalla todo está tranquilo. Así tomamos una posición ecuánime frente a la cuestión, ya que hemos aprendido, finalmente, a pensar con perspectiva histórica y a comprender a las dos partes de una disputa. Y nadie se preocupa por oír al fastidioso que no puede olvidar una vieja injusticia»[21].

21. POPPER, K.: *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del conocimiento científico*, Paidós, Barcelona, 1994, pp. 116-117.

6
La revolución científica

Introducción

Para abrir este capítulo, podemos plantearnos una intrincada cuestión: ¿Cómo pueden caracterizarse las diferencias y semejanzas en los objetivos de la ciencia medieval y moderna? Es posible señalar una característica indicativa de una diferencia esencial. Las doctrinas básicas de la ciencia medieval se desarrollaron casi enteramente dentro del contexto de las discusiones académicas basadas en algunas de sus etapas y, en mayor o menor grado, en las obras utilizadas en la enseñanza universitaria. Los comentarios y *quaestiones* sobre los temas tratados en esas obras podían haberse alejado mucho de los originales de Aristóteles o Ptolomeo o Euclides, o Alhazen o Galeno. Sin embargo, no se separaban de ellos.

Por otra parte, los grandes problemas científicos y cosmológicos que enfrentaron eran raramente enfocados por ellos en cuanto estrictamente científicos. El mayor problema de todos era el de la relación de la cosmología de la teología cristiana basada en la Revelación y la de la cosmología de la ciencia racional dominada por la filosofía de Aristóteles. Aunque algunas de las mejores obras científicas medievales versaban sobre problemas concretos estudiados sin ninguna referencia a la teología o a la filosofía o incluso a la metodología, fue dentro de una estructura de filosofía relacionada estrechamente con la teología, y en particular con el sistema de los estudios universitarios dirigidos por clérigos, donde tuvo lugar el desarrollo central de la ciencia medieval. Consecuencia de esto

fue que la ciencia en la Edad Media fuera casi siempre al mismo tiempo una filosofía de la ciencia.

Existe, por consiguiente, una diferencia básica entre los objetivos de la filosofía de la ciencia medieval y los de toda la filosofía de la ciencia desde Galileo. La última está interesada primordialmente en clarificar y facilitar los procesos y consecuentes progresos de la misma ciencia. El principal interés de los científicos desde Galileo ha recaído sobre el creciente ámbito de problemas concretos que la ciencia puede resolver. Y, si los científicos emprenden investigaciones filosóficas, es habitualmente porque ciertos problemas científicos concretos y específicos pueden ser resueltos satisfactoriamente sólo con una reforma completa de los principios fundamentales. Los ensayos de filosofía de Galileo y de Newton tienen esencialmente este objetivo.

Pero los filósofos medievales de la Naturaleza estaban interesados, preferentemente, menos por los problemas concretos del mundo de la experiencia que por el tipo de saber de la ciencia de la Naturaleza: cómo se adecuaba dentro de la estructura general de su metafísica y, si se extendía más, qué relación tenía con la teología. Muchos problemas científicos fueron descubiertos como analogías que podían iluminar un problema teológico, como sucedió con la causalidad instrumental y la teoría del *impetus*. Sin duda, el hecho de que se plantearan por interés hacia otras problemas constituyó una de las razones por la cuales, en el curso del desarrollo, fueron abandonados súbitamente con tanta frecuencia.

Por otra parte, en la ciencia medieval queda siempre la impresión de que el investigador no estaba muy interesado por los detalles de hecho y por las medidas. Ciertamente, el gran interés por la lógica y por la teoría de la ciencia experimental y por las concepciones filosóficas de la Naturaleza relacionadas con ella, defendida por Grosseteste hasta el umbral de los trabajos de Galileo, aparece en llamativo contraste con la relativa escasez de investigaciones experimentales efectivas. Esto se entiende si vemos a los filósofos medievales de la Naturaleza no como científicos modernos frustrados, sino fundamentalmente como filósofos. Expusieron las investigaciones empíricas, frecuentemente, como un ejercicio de lo que podía realizarse en una rama de la filosofía distinta de las otras. Es verdad que esto tuvo como consecuencia deseable el clarificar los

problemas de la ciencia de la Naturaleza y el ayudar a desgajarlos de contextos ajenos a la metafísica y a la teología. Estaban menos interesados por lo que se encontraba efectivamente gracias al experimento.

En la obra de los científicos medievales abundan experimentos no dirigidos y sencillas observaciones cotidianas. Es verdad que no existía un movimiento general que concibiera la investigación experimental como una puesta a prueba continuada de una serie de hipótesis, formuladas precisa y cuantitativamente, que obligaran a la reformulación de un área completa de la teoría. Los ejemplos de investigación experimental, incluso los mejores de ellos, permanecieron aislados, sin tener un efecto general sobre las doctrinas aceptadas de la luz o de la cosmología. Se creía que eran suficientes para ilustrar el método, y la metodología era un fin en sí misma. Se hubiera convertido en un callejón sin salida, a no ser que Galileo y sus contemporáneos, mostrando una nueva dirección del interés, hubieran buscado los temas de los ejemplos por sí mismos. Gracias a que los tomaron en serio, prestando atención a los hechos detallados del experimento y de la medida y de las funciones matemáticas ejemplificadas en la Naturaleza, los científicos del siglo XVII revolucionaron radicalmente toda la estructura teórica de la física y de la cosmología; mientras que los filósofos medievales de la naturaleza habían revisado solamente algunas secciones parciales.

Quizá el rasgo más vigoroso de la filosofía de la ciencia medieval que continuó influyendo fuertemente a principios del siglo XVII, fuera la concepción neoplatónica de que la Naturaleza debía ser explicada en último término por medio de la Matemática. En la Edad Media, esta creencia fue aprovechada principalmente en el campo de la óptica. Dentro del ambiente del platonismo y, animados por la historia del Génesis del primer día de la Creación, pensadores importantes de los siglos XIII y XIV centraron su atención en el estudio de la luz como la clave de los misterios del mundo físico, y fue en la óptica donde realizaron lo mejor de su obra científica. Pero, como en la clasificación aristotélica, la óptica continuó siendo, junto con la astronomía y la música, uno de los *media mathematica*, ciencias matemáticas aplicadas al mundo físico, distintas, por una parte, de la matemática pura y, por otra, de la física como ciencia de las «naturalezas» y las causas. Los científicos me-

dievales parece que no sintieron un deseo o necesidad irresistible de prescindir de estas distinciones filosóficas. La física matemática nunca se convirtió realmente en una ciencia universal que hiciera innecesaria la física aristotélica.

Quizá pueda argüirse que Descartes, el más medieval de los grandes científicos del siglo XVII, en el sentido de ser el más influido por una filosofía de la naturaleza, llamó a su obra de cosmología «*Le Monde ou Traité de la lumière*». Pero la física de Descartes no se basaba en una teoría de la luz; más bien, su teoría de la luz se basaba en su concepción del movimiento. Fue en el estudio del movimiento, y no en el de la luz, donde los científicos del siglo XVII buscaron la clave de la física. Fue allí también, para su satisfacción, donde la encontraron. Ciertamente, los físicos del siglo XVII hicieron una elección afortunada al conceder una importancia especial al estudio del movimiento en cuanto distinto de otros aspectos de la naturaleza. Pero Aristóteles y los aristotélicos medievales habían ya hecho del estudio del movimiento la base de su física. La elección por los científicos del siglo XVII no fue fortuita, ni lo fue el éxito con que se vio coronada. Al tomar el fenómeno empírico del movimiento seriamente como un problema y al buscar la solución hasta el fin, no tuvieron otra alternativa que reformar la cosmología en su totalidad, inventar nuevas técnicas matemáticas en ese proceso y suministrar este ejemplo eminente a los métodos de la ciencia en su conjunto. Este fue el progreso realizado por los científicos del siglo XVII sobre sus colegas medievales a los que tanto debían por otros conceptos.

La expresión «revolución científica» [1] describe cierto tipo de cambios radicales e importantes a través de los cuales se produce

1. Existe en español una buena representación de los escritos de los protagonistas de la revolución científica aquí tratados: COPÉRNICO, N., DIGGES, T. y GALILEI, G.: *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Alianza, Madrid, 1982; GALILEI, G. y KEPLER, J. *El mensaje y el mensajero sideral*, Alianza, Madrid, 1984; GALILEI, G.: «Consideraciones sobre la opinión copernicana», en *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Alianza, Madrid, 1982; Ídem: «La gaceta sideral», en GALILEI, G. y KEPLER, J., 1984; Ídem: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid, 1976; Ídem: *Dialogo di Galileo Galilei linceo... dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicíano*, 1632; trad. esp.:

el desarrollo científico y, en especial, determinados cambios de mayor importancia en la ciencia, como son la teoría heliocéntrica de Copérnico, la mecánica clásica de Newton, o la teoría química de Lavoisier. De forma más específica, es el elemento fundamental de la teoría del desarrollo de la ciencia, tal como la expone Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas* (1962), que supone que el progreso en la ciencia se produce por un cambio del saber según una nueva visión del mundo científico o, como mínimo, según una versión más suave, una reestructuración de los acuerdos existentes entre los diversos miembros de la comunidad científica, que es el sujeto de estas revoluciones. Así, por ejemplo, en la revolución copernicana, el paso del paradigma geocéntrico al heliocéntrico no es producto de un saber acumulativo, sino de un cambio de paradigma o de hipótesis global, impuesto por el mero cambio relativo de posiciones entre el Sol y la Tierra, y que entraña toda una serie de cambios conceptuales globales y de la misma concepción del mundo, de la relación del hombre con el Universo y de su situación dentro del él. Ejemplos de grandes revoluciones científicas son, aparte de las ya mencionadas, la teoría atómica de Thomson y Rutherford, la teoría del electromagnetismo de Faraday y Maxwell, el evolucionismo de Darwin, la teoría genética de Mendel, la teoría de la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica.

Por «revolución científica» se entiende, además, sobre todo en sentido histórico, el período de renovación de las ciencias de la naturaleza, ocurrido entre los siglos XVI y XVIII, y que se inicia con

Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano, Alianza Editorial, Madrid, 1995; Ídem: *El ensayador*, Aguilar, Buenos Aires, 1981; BACON, F.: *Instauratio Magna*, 1620-23; trad. esp.: *La gran restauración. Aforismos sobre la interpretación de la naturaleza y el reino humano*, Alianza Editorial, Madrid 1985; ídem.: *Teoría del cielo*, Tecnos, Madrid, 1989; DESCARTES, R.: *Discurso del método*, Alfaguara, Madrid, 1981; Ídem: *El mundo*, Alianza, Madrid, 1991; Ídem: *Los principios de la filosofía*, Alianza, Madrid, 1995; COPÉRNICO, N.: «Breve exposición de sus hipótesis acerca de los movimientos celestes», en COPÉRNICO, N., DIGGES, T. y GALILEI, G., 1982; Ídem: *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Tecnos, Madrid, 1987; NEWTON, I.: *Óptica*, Alfaguara, Madrid, 1977; Ídem: *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Editora Nacional, Madrid, 1982; Ídem: *El sistema del mundo*, Alianza, Madrid, 1983; HOOKE, R.: *Micrografía*, Alfaguara, Madrid, 1989; BRUNO, G.: *La cena de las cenizas*, Alianza, Madrid, 1986.

la publicación de la obra de Nicolás Copérnico, *De revolutionibus orbium coelestium* (Sobre la revolución de los orbes celestes), en 1543, y de Andrea Vesalio, *De fabrica corporis humani* (Sobre la construcción del cuerpo humano), del mismo año, y culmina con los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (Principios matemáticos de filosofía natural) de Newton, en 1687. Durante este período y, por obra, sobre todo, de Galileo, Kepler, Descartes y Newton, tiene lugar la aparición y constitución de la denominada «ciencia moderna», que se caracteriza sustancialmente por el interés centrado en el conocimiento de la Naturaleza, el recurso a las matemáticas como medio de conocimiento y el uso de un método científico. Se ha señalado, como una de las características esenciales de la revolución científica, la aparición, durante esta época, de una verdadera comunidad científica, de la que es un ejemplo concreto la Royal Society de Londres, así como el establecimiento de redes de información entre los científicos, configuradas por las visitas que los científicos se hacían unos a otros, pero sobre todo por el recurso a periódicos, informes científicos y cartas.

Es más fácil de entender cómo se produjo la revolución científica de los siglos XVI y XVII que entender la razón de que se produjera. En lo que concierne a la historia interna de la ciencia, se produjo gracias a personas que planteaban preguntas dentro del ámbito de una respuesta experimental, limitando sus investigaciones a los problemas físicos más que a los metafísicos, concentrando su atención en la observación cuidadosa de las especies de cosas que existen en el mundo de la naturaleza y de la correlación del comportamiento de una respecto de la otra, más que en sus naturalezas intrínsecas, en las causas próximas más que en las formas substanciales, y en especial en los aspectos del mundo físico que podían ser expresados en términos matemáticos. Estas características, que podían ser pesadas y medidas, podían compararse y expresarse como una longitud o un número y representarse de ese modo en un sistema disponible de geometría, aritmética o álgebra, en el que se podían deducir las consecuencias, revelando nuevas relaciones entre acontecimientos que podían ser verificados luego por la observación. Los otros aspectos de la materia fueron ignorados. En otras palabras, la revolución interna del pensamiento científico que se produjo en los siglos XVI y XVII tiene dos aspectos esenciales: el experimental y el matemático, y fueron precisamente estas dos

ramas de la ciencia, que eran más dóciles a la medida, las que mostraron los progresos más espectaculares.

Desde su nacimiento sistemático en el siglo XVII, la ciencia moderna se convirtió en una fuente de perplejidades. Kepler y Galileo estaban convencidos de que la naturaleza es como un libro escrito en lenguaje matemático, y sobre esa base fundamentaban el éxito de la nueva ciencia. Pero el afianzamiento de la física de Newton llevó, con razón, a dudar de que ésa fuese toda la historia. ¿Cómo explicar que unas construcciones teóricas, altamente abstractas y muy sofisticadas, se pudieran aplicar con éxito al mundo real? Esta pregunta se convirtió en un rompecabezas que proporcionó a los filósofos materia abundante para sus especulaciones.

En 1687, publicó Newton sus *Principios Matemáticos*. Esta obra trazó el camino que ha seguido la física hasta hoy. Newton formuló las leyes generales de la mecánica, que siguen siendo válidas y se aplican a una gran cantidad de fenómenos de todo el Universo. Construyó la primera teoría física en el sentido moderno: un sistema de enunciados donde, a partir de las definiciones y de los principios generales, se deducen consecuencias aplicables a una gran variedad de problemas. Y lo hizo de manera tal que el ámbito de los conocimientos sigue empleando básicamente la misma estrategia.

No se puede negar que el tema de la revolución científica[2] tiene al menos dos caras, ambas de sumo interés para el filósofo de la

2. Sobre la revolución científica siguen siendo útiles KUHN, T.S.: *The Structure of Scientific Revolutions*, 1962; trad. esp.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1990; Ídem: *La revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1978; HANSON, N.R.: *Patrones de descubrimiento. Observación y Explicación*, Alianza, Madrid, 1977; Ídem: *Constelaciones y conjeturas*, Alianza, Madrid, 1978; 2ª ed., Alianza, Madrid, 1985; HOLTON, G.: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Revert, Barcelona, 1987; y lo son muy especialmente M. SELLÉS, M. y SOLÍS, C.: *Revolución científica*, Síntesis, Madrid, 1991; ELENA, A.: *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Siglo Veintiuno, Madrid (1985), y COHEN, I.B.: *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*, Alianza, Madrid (1983). HALL, R.: *La revolución científica 1500-1750*, Crítica, Barcelona, 1985, es un libro importante sobre la revolución científica desde el punto de vista internalista. El relato que hace STENGERS, I.: «Los episodios galileanos», en SERRES, M.: *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid, 1991, pp. 255-285, de dichos episodios nos

ciencia: la histórica y la historiográfica. Es decir, tanto el hecho histórico como los modos del relato merecen ser tenidos en cuenta. Que el hecho histórico merece consideración es tan claro que se puede obviar todo argumento; al fin y al cabo, la historia moderna (y la modernidad) depende intensamente de la revolución científica. Por añadidura, la filosofía de la ciencia no puede obviar uno de los más importantes momentos en el desarrollo de su objeto de estudio. Mas, también las disputas historiográficas son de interés aquí; en principio porque son los debates en torno a la primera revolución científica los que han moldeado la historia de la ciencia como disciplina en nuestro siglo y, además, porque las posiciones historiográficas están conectadas con tesis filosóficas acerca de lo que creemos que es la ciencia, como mostró en su día A. Koyré. Dadas las especiales características del tema, intentaremos construirlo de forma que haga justicia a todos los aspectos mencionados.

Por otra parte, como se sabe, los ritmos de cambio en las distintas disciplinas científicas no fueron idénticos. La tensión introducida por las modificaciones en astronomía incidió de modo más directo e inmediato sobre la cosmología y la mecánica que sobre otras ciencias. En el capítulo anterior ya se habló de la astronomía desde Copérnico a Galileo y Kepler. En el presente capítulo trataremos los cambios producidos en cosmología y en mecánica encaminados a resolver las tensiones mencionadas y que nos llevarán hasta las obras de Newton y Leibniz. Creo que así se recoge lo más relevante y activo de la ciencia de la época, aunque inexorablemente queden fuera otras disciplinas cuyos cambios también fueron estimables.

La estructura del presente capítulo será la siguiente: trataremos, en primer lugar, las distintas concepciones historiográficas sobre la revolución científica. La exposición de cada una de ellas nos permitirá avanzar en el conocimiento de la propia revolución y de

parece muy claro y adecuado para los planos histórico e historiográfico de la revolución científica. Son también interesantes los estudios: Rossi, P.: *Los filósofos y las máquinas*, Labor, Barcelona (1966); Koestler, A.A.: *Los sonámbulos*, Salvat, Barcelona (1986); López Piñero, J.M. y otros, *La revolución científica*, Historia 16, Madrid, 1989; y Stengers, I.: «La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII», en Serres, op. cit., pp. 337-361.

sus antecedentes. Así, a la par que exponemos las disputas historiográficas, podremos introducir factores como la influencia de la física medieval, la del cristianismo, la del platonismo, la del puritanismo o la del progreso de la artesanía, y la relación entre la tradición hermética y la nueva ciencia. Tras ello, nos referiremos al desarrollo de la cosmología desde el mundo cerrado, que todavía es el de Cusa y Bruno (6.2.1.) y el de Copérnico (6.2.2.), al Universo infinito, con especial atención al debate entre Leibniz y Clarke (6.2.5). Luego, nos ocuparemos de la física moderna, centrando nuestra atención en el desarrollo de la mecánica desde Kepler (6.3.1.) y Galileo (6.3.2.), hasta Newton (6.3.5.). Finalmente, nos detendremos brevemente en algunas otras disciplinas (matemáticas, química y medicina), que puedan ofrecer una imagen más cabal y consistente de la ciencia moderna.

Los hitos científicos más relevantes de esta época pueden sintetizarse del modo siguiente:

1506. Comienza la segunda etapa de estancia del pintor, arquitecto y sabio italiano Leonardo da Vinci en Milán; en esta época escribe sobre hidráulica y realiza dibujos anatómicos.

1507. Se publica el mapa de las tierras descubiertas por el navegante genovés Cristóbal Colón, impreso por Martin Waldseemüller, en el que se les da, por primera vez, el nombre de «América».

1517. El italiano Girolamo Fracastoro enuncia que los fósiles eran restos de animales que habían vivido en épocas pretéritas.

1519. Muere el pintor, arquitecto y científico italiano Leonardo da Vinci en el castillo de Cloux.

1528. El médico y alquimista suizo Paracelso publica *Chirurgia magna*.

1529. Paracelso publica el *Libro del Hospital*, amplio resumen de sus observaciones clínicas.

1530. Nace Giambattista Benedetti, el físico italiano más importante antes de Galileo. Se publica *De morbo gallico*, de Paracelso.

1533. Se edita la obra del matemático italiano Regiomontano *Cinco libros sobre los triángulos*. El médico y humanista español Andrés Laguna intenta conciliar a Hipócrates y Galeno en *Epítome*.

1535. Miguel Servet, médico y teólogo español, edita y comenta la *Geografía* de Ptolomeo.

1537. El teólogo y médico español Miguel Servet escribe *Syruporum universa ratio*, en la que critica el galenismo arabizante y termina de redactar *Quoesdam medicum apologetica disputatio pro astrologia*. Se publica en Venecia el *Libro de los homocéntricos o de las estrellas*, de Girolamo Fracastoro, filósofo, médico y físico italiano.

1541. El anatomista Juan Bautista Carrano descubre las válvulas de las venas. Muere el médico y alquimista suizo Paracelso.

1542. El investigador parisino Jean Fernel publica *De naturali parte medicinae*, el primer estudio médico que considera la fisiología como especialidad distinta a la anatomía.

1543. Fundación, en la ciudad italiana de Pisa, del primer jardín botánico conocido. El médico italiano Andrea Vesalio termina la redacción de la obra cumbre de la anatomía renacentista *De humani corporis fabrica libri septem*.

1545. El matemático, físico y astrólogo italiano Gerolamo Cardano publica *Ars magna*, donde se propone la solución de ecuaciones de tercer y cuarto grado.

1548. El médico segoviano Andrés Laguna publica *Epitome omnium Galeni Pergameni operum*, primer intento de compilar literal y sistemáticamente los conocimientos médicos de Galeno.

1550. Gerolamo Cardano, médico, filósofo, matemático y astrólogo italiano publica *De subtilitate libri XXI*.

1564. Muere el médico italiano Andrea Vesalio.

1565. Muere el matemático italiano Ludovico Ferrari, que resolvió, por primera vez, ecuaciones de cuarto grado.

1570. El humanista y filósofo italiano Bernardino Telesio publica, en Nápoles (Italia), los opúsculos *Sobre qué pasa en el mar, sobre los temblores de tierra y sobre la generación de los colores.*

1574. Se publica de modo póstumo las *Opera omnia* del filósofo, médico y físico italiano Girolamo Fracastoro. El médico italiano Ulises Aldrovandi publica *Antidotarium Bonaniense.* El historiador y cosmógrafo español López de Velasco escribe *Geografía y descripción universal de las Indias.*

1576. Muere el matemático y filósofo italiano Gerolamo Cardano, uno de los descubridores de la ecuación de tercer grado.

1579. El matemático francés François Viète publica *Canon mathematicus.*

1582. El filósofo italiano Giordano Bruno publica *Ciento veinte artículos sobre la naturaleza y el mundo.*

1584. El matemático y físico flamenco Simon Stevin publica *Problemas geométricos.* El botánico y filósofo italiano Andrea Cesalpino termina de escribir *De plantis libri XVI.*

1585. Simon Stevin publica *La aritmética.* El geógrafo flamenco Gerard Mercator publica la primera de las tres partes de su *Atlas.*

1587. Se termina la publicación de los cinco volúmenes de *Historia animalium*, del naturalista y humanista suizo Konrad von Gesner.

1590. Galileo Galilei, astrónomo y físico italiano, publica *De motu*, en el que formula las leyes sobre la caída de los cuerpos.

1600. El médico inglés William Gilbert concluye la redacción del tratado *De Magnete.*

1601. Nace el matemático francés Pierre Fermat, que creará la geometría analítica. Muere el astrónomo danés Tycho Brahe.

1603. Se inicia la actividad cultural de la Academia dei Licei de Roma. Muere el médico inglés William Gilbert.

1604. Galileo halla el movimiento rectilíneo uniformemente acelerado y postula la Ley de los Espacios. Kepler escribe *Optica*, en la que define la reflexión de la luz, y publica *Ad vitellionem paralipomena*. El holandés Zacarias Jansen inicia la fabricación del telescopio en su país.

1605. El filósofo inglés Francis Bacon publica *Del adelanto y progreso de la ciencia divina y humana*, primera parte de su *Enciclopedia del saber humano*.

1607. Bacon escribe los *Pensamientos y concepciones sobre la interpretación de la naturaleza* y la *Refutación de las filosofías*.

1608. Nace, en Italia, el futuro físico y matemático Evangelista Torricelli.

1611. Kepler publica *Dioptrice*.

1614. El matemático escocés John Napier publica *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*, en el que introduce los logaritmos por comparación de dos progresiones.

1615. Aparecen los primeros microscopios.

1616. Se publica la *Enciclopedia zoológica*, del médico y naturalista italiano Ulises Aldrovandi.

1620. Bacon escribe el *Novum Organum*, que forma parte de un plan general de reforma de las ciencias.

1623. Nace el matemático, físico y filósofo francés Blaise Pascal.

1627. Nace el físico y químico anglo-irlandés sir Robert Boyle.

1628. El inglés William Harvey publica *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus*, explicando la circulación de la sangre.

1629. El matemático francés Pierre Fermat establece los principios básicos del cálculo diferencial. Nace en La Haya el físico, astrónomo y matemático neerlandés Christian Huygens.

1635. Nace el científico y filósofo inglés Robert Hooke.

1636. Fermat publica *Ad locos planes et solidos isagoge*, obra fundamental en el desarrollo de la geometría analítica.

1637. Luigi Carduchi publica los *Elementos* del matemático griego Euclides. René Descartes termina de escribir la *Geometría* y la *Dióptica*.

1638. Galileo publica *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias*.

1641. Torricelli publica *De motu gravium naturaliter descendentium et projectorum*, en el que descubre el método cinemático.

1642. Nace el físico y matemático británico Isaac Newton. Muere Galileo Galilei. El filósofo, astrónomo y físico francés Pierre Gassendi publica *De motu impresso a motore traslato*. Pascal diseña la primera máquina calculadora.

1643. Torricelli inventa el barómetro de mercurio.

1644. R. Descartes publica *Los principios de la Filosofía*.

1646. Nace el filósofo y matemático alemán Gottfried Wilhelm Leibniz.

1648. Pascal verifica la existencia de la presión atmosférica.

1650. El físico alemán Otto von Guericke inventa la máquina neumática y emprende una serie de experiencias sobre los efectos del vacío. Comienza la actividad cultural desarrollada por la Academia del Cimento de Florencia, Italia. Muere el filósofo y matemático francés René Descartes.

1654. Los matemáticos Christiaan Huygens, Blaise Pascal y Pierre de Fermat descubren el cálculo de probabilidades, por separado.

1657. Huygens diseña el primer reloj pendular y publica *De ratiociniis in ludo aleae*, el primer tratado completo que se posee sobre el cálculo de probabilidades. Muere, en Essex, el médico inglés William Harvey.

1660. Se funda la Royal Society, en el Gresham Collège. El físico y químico anglo-irlandés sir Robert Boyle publica *Nuevos experimentos físico-mecánicos sobre la*

presión del aire y sus efectos. Miembros de la Academia del Cimento de Florencia (Italia) miden, por primera vez, la velocidad del sonido.

1661. Boyle publica, en Oxford (Inglaterra), *El químico escéptico*. Muere el matemático, físico y filósofo francés Blaise Pascal.

1663. El físico alemán Otto von Guericke inventa el manómetro.

1665. El astrónomo y matemático inglés Robert Hooke acaba la redacción de *Micrographia*.

1666. Boyle publica *El origen de las formas y cualidades de acuerdo con la filosofía corpuscular ilustrada con consideraciones y experimentos*.

1671. Leibniz, filósofo y matemático alemán, diseña la primera máquina multiplicadora, y publica *Theoria motus abstracti*.

1673. Huygens, en *Horolagium oscillatorum*, presenta sus descubrimientos sobre el péndulo y descubre las leyes de la fuerza centrífuga. El naturalista neerlandés Antony Van Leeuwenhoeck descubre los protozoarios y las bacterias.

1675. Newton y Leibniz descubren a la vez, pero independientemente, el cálculo infinitesimal.

1677. El naturalista neerlandés Antony van Leeuwenhoek descubre mediante el microscopio la existencia de los espermatozoides.

1679. Muere el médico, matemático y astrónomo italiano Giovanni Alfonso Borelli.

1681. Se publica con carácter póstumo *De motu animalium*, de Borelli.

1682. El astrónomo inglés Edmund Halley descubre su cometa.

1684. Boyle presenta en la Academia de Ciencias de París la *Memoria sobre la manera de desalar el agua del mar*. Leibniz publica sus conclusiones sobre el «nuevo cálculo», en *Nuevo método para la determinación de los máximos y los mínimos*.

1686. Leibniz publica *De geometria recondita.*

1687. Newton publica *Principios matemáticos de la filosofía natural*, donde se enuncia la ley de la gravitación universal.

1690. Huygens publica *Discurso sobre la causa del peso* y el *Tratado de la luz.*

1695. Muere el astrónomo, matemático y físico holandés Christiaan Huygens.

1704. Newton publica su *Óptica.*

6.1. Historiografía de la revolución científica

La estructura del presente apartado se justifica por la convicción de que las distintas líneas historiográficas han contribuido de modo muy positivo a nuestro conocimiento de la revolución científica. Cada una ha puesto de manifiesto aspectos tan diversos como reales de su desarrollo. Sin embargo, la estructura causal de un fenómeno tan dilatado en el tiempo, tan extendido en el espacio y que atañe a tantos campos del saber, no puede ser sencilla. Es probable que se pueda hablar de concausas, de bucles causales y de relaciones dialécticas. Por tanto, las diferentes aproximaciones historiográficas a la revolución científica han errado en la misma medida en que han pretendido ser cada una de ellas exclusivas.

De modo que, en nuestra opinión, no hay problema para reconocer a un tiempo que el continuismo duhemiano muestra la muy cierta y hasta entonces olvidada influencia de la ciencia medieval y del cristianismo; que la posición de Koyré nos enseña el no menos verdadero cambio intelectual producido por la resurrección del pitagorismo, el culto solar y otras tradiciones reavivadas a raíz de la caída de Bizancio; que la historiografía externalista nos aporta datos de sumo interés para comprender la dinámica de la revolución, condicionada por el puritanismo, el progreso artesanal y experimental o la institucionalización de la ciencia; y que algunos historiadores del Renacimiento nos han hecho ver la vigencia de la tradición hermética, aún en el XVII.

En consonancia con lo dicho, veremos las influencias recibidas por los científicos de la revolución. En primer lugar, las provenien-

tes de la ciencia bajomedieval, estudiadas por P. Duhem y otros medievalistas (6.1.1.), y, en segundo término, las influencias intelectuales provenientes de la tradición platónica, tal y como refleja la historiografía de Koyré (6.1.2.). Todo ello nos dará pie para introducir el debate entre historiadores continuistas y no continuistas.

A partir de este momento, atenderemos a otro de los grandes debates historiográficos, el que enfrenta a los historiadores internalistas y a los externalistas. Los primeros centran su atención en las teorías científicas. Los externalistas, en cambio, piensan que las causas de la revolución científica habrá que buscarlas en la sociedad de la época, marcada por el puritanismo y la valoración y progreso de los oficios artesanales. La tesis de Merton será tratada en (6.1.4.). El experimentalismo baconiano será tratado en este punto. Cabe considerar, asimismo, la función que en el surgimiento de la nueva ciencia tuvieron instituciones como las sociedades científicas. El debate sobre la tesis de Merton se modifica sustancialmente con la distinción introducida por Kuhn entre ciencias clásicas o matematizadas y ciencias baconianas.

Por último, nos centraremos en un debate más que ha sacudido la historiografía de la revolución científica y que tiene un importante nexo con la cuestión de la racionalidad en ciencia. Trataremos, pues, sobre el grado de influencia que la tradición hermética y mágica tuvo en la nueva ciencia. A veces se ha tomado la revolución científica como ejemplo claro de una fértil combinación de mentalidad racional y empírica; la detección de elementos herméticos en el nacimiento mismo de la ciencia moderna puede matizar esta imagen, como han apreciado Garin, Yates o Rossi (6.1.5.). Hablaremos de estas tradiciones sólo en conexión con sus diversos puntos de vista acerca de la revolución científica.

6.1.1. *La conexión medieval*

En este apartado nos interesan, por un lado, los precedentes medievales de la nueva ciencia y, por otro, la posición historiográ-

3. El pensamiento historiográfico de Duhem puede consultarse en las propias obras del autor, DUHEM, P.: *La Theorie physique. Son object. Sa structure*, Cheva-

fica inaugurada por Duhem[3] y que se viene denominando «continuismo». Según este autor, la revolución científica fue más bien la segunda parte de un movimiento científico original que surgió entre los siglos XIII y XIV en Europa.

Si no es necesario insistir en el hecho histórico de la revolución científica del siglo XVII, tampoco puede haber dudas acerca de la existencia de un conocimiento científico original en los siglos XIII a XIV. El problema consiste en la relación entre ellos. ¿Debe considerarse la nueva ciencia del siglo XVII como una empresa enteramente nueva y original, como pretenden algunos historiadores? La tesis defendida por Duhem —y compartida por otros autores como Alistair C. Crombie— es que, dando por supuestas las grandes y fundamentales diferencias entre la ciencia medieval y la del siglo XVII, las notables semejanzas subyacentes, independientemente de otras evidencias, indican que una visión más exacta de la ciencia del siglo XVII ha de contemplarla como la segunda fase de un movimiento intelectual en Occidente que comenzó cuando los filósofos del siglo XIII leyeron y asimilaron, en las traducciones latinas, a los grandes autores científicos de la Grecia clásica y del Islam.

Hagamos referencia, antes que nada, al debate sobre la dependencia de Galileo respecto de estos avances medievales. Los últimos años de su vida estuvo confinado en su villa de Arcetri, cumpliendo la sentencia dictada por un tribunal romano del Santo

lier Rivière, Paris, 1914 (reed., 1989, Vrin, Paris); ídem: *SOZEIN TA PHAINOMENA. Essai sur la notion de theorie physique de Platon a Galilée*, Hermann, Paris, 1908 (reed., 1990, Vrin, Paris); en BRENNER, A.: *Duhem. Science, réalité et apparence. La relation entre philosophie et histoire dans l'oeuvre de Pierre Duhem*, Vrin, Paris, 1990, en JAKI, S.: *Uneasy Genius: The Life and Work of Pierre Duhem*, Martinus Nijhoff, La Haya, 1984, y en MARCOS, A.: *Pierre Duhem: la filosofía de la ciencia en sus orígenes*, P.P.U., Barcelona, 1988. Además, DUHEM, P.: *Le systeme du monde: histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, 10 vols., Hermann, Paris, 1913-59 (reed. 1976) sigue siendo una valiosa fuente para muchas cuestiones relacionadas con el presente tema, por ejemplo, para las influencias medievales, sobre todo en sus últimos volúmenes. La conexión medieval también recibe amplio tratamiento en CROMBIE, A.C.: *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1974; ed. or.: *Augustine to Galileo*, 1959. El debate entre continuistas y no continuistas puede verse en las obras de Koyré ya citadas y en FICHANT, M. y PECHEUX, M.: *Sur l'histoire des sciences*, Maspero, Paris, 1971; trad. esp.: Buenos Aires, 1975.

Oficio. Paradójicamente, el confinamiento fue su etapa de mayor fecundidad científica: culminó y redactó las investigaciones que sobre el movimiento local había iniciado 30 años antes en la Universidad de Padua. Galileo hizo una descripción matemática del movimiento de caída de un cuerpo y la explicó en su *Discorsi...* de 1638. Esta aportación puede ser considerada la más importante hasta la física de Newton: fue la clave de acceso a una matematización de las leyes de la naturaleza. El científico italiano expone la solución como la ley más sencilla que podía seguir un cuerpo al caer: su movimiento es uniformemente acelerado (su velocidad adquirirá incrementos iguales en tiempos iguales). Sin embargo, esta ley tan simple no fue descubierta por Galileo en sus primeros años de investigación en la caída de graves, en torno a 1604, sino posiblemente en 1609. Esa misma doctrina había sido enseñada por el dominico español Domingo de Soto[4] alrededor de 1522 en la Universidad de Alcalá, y publicada en 1551 en Salamanca, más de medio siglo antes de Galileo.

Durante los últimos veinticinco años, el historiador William A. Wallace ha intentado arrojar luz sobre lo que Alexandre Koyré llamó —en un ensayo sobre la ciencia del Renacimiento— *El enigma de Domingo de Soto*. Puede formularse en dos preguntas: ¿cómo descubrió Soto que el movimiento de los cuerpos en caída libre es uniformemente acelerado?; ¿cómo este conocimiento pudo llegar a Galileo? Wallace respondió en parte a la primera cuestión en un ensayo de 1968, mediante un detallado estudio de 19 autores anterio-

4. Domingo de Soto (1494-1570), teólogo y dominico español. Nació en Salamanca, ciudad donde inició los estudios. Por falta de recursos económicos hubo de abandonarlos durante un tiempo, pero más tarde los reinició en Alcalá. De allí, y gracias a la ayuda de Hernando de Saavedra, fue a París para regresar a España en 1520. En Salamanca enseñó durante algunos años. En unión de su amigo Saavedra ingresó en la orden de santo Domingo. Ganó la cátedra de Teología en Salamanca, donde coincidió con Francisco de Vitoria. La Universidad le pidió que impusiera sus obras entre las que destacan *Comentarios a la dialéctica de Aristóteles* y *De iustitia et de iure*. Fue enviado a Trento por el emperador Carlos V donde desempeñó un papel capital en el desarrollo del Concilio. De regreso a España colaboró con Bartolomé de las Casas en la defensa de los derechos de los indios. Murió en Salamanca y su elogio fúnebre lo pronunció el poeta fray Luis de León, que fue su alumno.

res y contemporáneos a Soto. La conclusión fue sencilla: «La contribución de Domingo de Soto no fue producto de la época, sino notablemente original». Soto innovó al asignar una modalidad cuantitativa precisa al movimiento de caída. Simplificó enseñanzas anteriores sobre los diversos tipos de movimiento y ofreció ejemplos claros para cada uno de ellos. El movimiento de caída de un cuerpo era, para Soto, ejemplo de movimiento uniformemente acelerado (*uniformiter disformis* con respecto al tiempo, en la terminología de los *Calculatores*).

La respuesta a la segunda cuestión —cómo la herencia de Soto pasó a Galileo— ha requerido el estudio de manuscritos y publicaciones de jesuitas de Italia y Portugal, en el siglo siguiente a la aparición de las enseñanzas de Soto, sobre caída libre. Wallace ha presentatado esta investigación en cuatro libros[5] y numerosos artículos. Está comprobado que en las lecciones impartidas por jesuitas en el Colegio Romano que fundó San Ignacio de Loyola en 1551, se explicaba la doctrina de autores escolásticos y renacentistas, a los que citaban explícitamente, con especial atención —dentro del curso de Filosofía natural— a las enseñanzas de los *Calculatores* de Oxford y de la escuela física de París. «Cuando se estudia cómo se introdujo el pensamiento de los Calculatores —indica Wallace— la pista lleva a dos jesuitas españoles, Francisco de Toledo, que enseñó filosofía natural en 1560, y Francisco Suárez, que enseñó teología entre 1580 y 1585». Ambos fueron discípulos de Domingo Soto en Salamanca y llevaron sus ideas a Italia. La tradición comenzada por Toledo sobre la enseñanza de filosofía natural fue continuada por el Colegio Romano. Sin embargo, la mayor parte de estas lecciones no fueron publicadas, y tan sólo algunas de ellas se conservan manuscritas.

Galileo conocía estas lecciones, como muestra Wallace. Hay fundamento sólido para afirmar que dos manuscritos de Galileo, redactados en su época de profesor de Padua, están inspirados en algunas de esas lecciones de jesuitas. Wallace sugiere que éste fue el cauce por el que el científico italiano accedió a la tradición de los *Calculatores* y de los doctores de París. Hasta tal punto había im-

5. Los dos más recientes son WALLACE, W.A.: *Galileo, the jesuits and the medieval Aristotle*, Hampshire, 1991; ídem: *Galileo and his sources*, Princeton, 1984.

pregnado la doctrina de Soto la filosofía natural que enseñaban los jesuitas del Colegio Romano, que cuando uno de ellos, Giambattista Riccioli verificó los experimentos de caída libre de Galileo, empleó la terminología de Soto y de los *Calculatores* para interpretar los resultados. Esto prueba que los estudios del siglo XIV en las universidades de Oxford y París, transmitidos, a través de España y Portugal, a Roma y a otros lugares donde existían centros de enseñanza superior de la Compañía de Jesús, se encuentran en la raíz de la física matemática del siglo XVII, es decir, en el origen de la ciencia moderna.

6.1.2. *El debate Duhem-Koyré*

La expresión «revolución científica», en este sentido más estricto, fue introducida por H. Butterfield y difundida hacia los años cincuenta, por obra sobre todo de A. Rupert Hall. Pierre Duhem sostuvo, con amplios y profundos estudios, la idea de que muchos de los conceptos de mecánica y física, que se creían aportaciones originales y revolucionarias de la ciencia moderna, no eran más que la lenta y gradual maduración de conceptos que tuvieron su origen en escuelas medievales: la denominada «revolución científica» sería, pues, más bien una evolución científica; en esta opinión le siguen autores como A.C. Crombie, A. Maier, M. Clagett y otros.

En este apartado presentamos la tesis continuista de Pierre Duhem[6], en contraposición a las tesis discontinuistas de Koyré, sobre la historia de la ciencia. Duhem publicó varias obras sobre historia de la ciencia, la más conocida de las cuales es *Le système du*

6. Pierre Maurice Marie Duhem (1861-1916), físico francés, epistemólogo, catedrático de Física teórica en Burdeos e historiador de la ciencia. Constituye un hito en los campos de la epistemología y de la historia de la ciencia, para él íntimamente vinculadas. Ya en 1886 publicó en París una obra sobre termodinámica, y al año siguiente empezó a dar clases en la Facultad de Ciencias de Lille. En 1893 pasó a Rennes y en 1895 fue destinado a ocupar una cátedra en la Universidad de Burdeos. Su publicación teórica más importante quizá sea *La théorie physique, son objet et sa estructure*, cuya primera edición apareció en París en 1906. En el ámbito de la historia de la ciencia, recordamos *Los orígenes de la Estática* (2 vols., 1905-1906) y *El sistema del mundo* (10 vols. 1913-59).

monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic[7]. En opinión de Duhem, estudiar historia de la ciencia no es sólo un lujo para eruditos, por así decirlo, algo que pudiera descuidarse sin ningún detrimento para el estudio actual de los problemas científicos. Según lo veía él, es imposible entender del todo una teoría o un concepto científico sin conocer bien sus orígenes y su desarrollo y los de los problemas para cuya resolución habían sido ideados. En esta monumental obra, Duhem argumenta con una notable documentación, que la ciencia moderna fue la culminación de un largo proceso en el que muchos medievales realizaron importantes contribuciones. ¿Cuáles fueron éstas?

En primer lugar, en el campo del método científico, la recuperación de la idea griega de explicación teórica en la ciencia, y especialmente de la forma «euclidiana» de esa explicación y su empleo en la física matemática, dieron origen a los problemas de cómo construir y verificar o refutar las teorías. La concepción básica de la explicación científica sostenida por los científicos medievales de la naturaleza provenía de los griegos y era esencialmente la misma que la de la ciencia moderna. Cuando un fenómeno había sido exactamente descrito, de manera que sus características eran adecuadamente conocidas, era explicado relacionándolo con un conjunto de principios generales o teorías que abrazaban a todos los fenómenos similares. El problema de la relación entre la teoría y la experiencia planteado por esta forma de explicación científica fue analizado por los escolásticos, al desarrollar sus métodos de «resolución y composición»[8]. Se ven ejemplos de los métodos escolásticos de inducción y de experimentación en la óptica y en el magnetismo de los siglos XIII y XIV. Los métodos implicaban observaciones cotidianas, lo mismo que experimentos diseñados especialmente, idealizaciones sencillas y «experimentos mentales», pero también la mención de experimentos imaginarios e imposibles.

En segundo lugar, otra contribución importante al método científico fue la extensión de la matemática a todo el campo de la cien-

7. DUHEM, P.M.M.: *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, 8 vols., París, 1913-58.

8. Cfr. CROMBIE, A.C.: *Augustine to Galileo*, vol II: *Science in the Later Middle Ages —and Early Modern Times— 13 th-17 th centuries*, op. cit., p. 101.

cia física, por lo menos en principio. Aristóteles había restringido el empleo de las matemáticas, en su teoría de la subordinación de una ciencia a la otra, al distinguir tajantemente los papeles explicativos de las matemáticas y de la física. El efecto de este cambio no fue tanto el destruir esta distinción, como cambiar el tipo de pregunta que planteaban los científicos. Una razón principal de este cambio fue el influjo de la concepción neoplatónica de la Naturaleza como siendo en último término matemática, una concepción que fue explotada por la noción de que la clave del mundo físico debía buscarse en el estudio de la luz. Es verdad que los científicos medievales no llevaron esta concepción hasta el límite, pero comenzaron a mostrar menos interés por la pregunta metafísica o «física» de la causa y a plantear el tipo de pregunta que podía ser respondida por una teoría matemática dentro del ámbito de la verificación experimental. Se ven ejemplos de este método en la mecánica, óptica y astronomía de los siglos XIII y XIV. Fue a través de la matematización de la naturaleza y de la física como fue sustituido el concepto clásico tan inconveniente de los pares contrapuestos por el concepto moderno de medidas lineales homogéneas.

En tercer lugar, además de estas ideas sobre el método, aunque conectado con ellas frecuentemente, comenzó a finales del siglo XIII un nuevo enfoque de la cuestión del espacio y del movimiento. Los matemáticos griegos habían elaborado una matemática del reposo, y se habían realizado progresos importantes en la estática durante el siglo XIII, progresos facilitados por los métodos de Arquímedes de manipular cantidades ideales, como la longitud de un brazo sin peso de una balanza. El siglo XIV vio los primeros intentos de elaboración de una matemática del cambio y del movimiento. De entre los diversos elementos que contribuyeron a esta nueva dinámica y cinemática, fueron las ideas de que el espacio podía ser infinito y vacío, y la de que el Universo podía carecer de centro, las que minaron el cosmos de Aristóteles con sus direcciones diferentes cualitativamente, y condujeron a la idea del movimiento relativo[9]. Respecto del movimiento, la idea nueva principal fue la del *impetus*, y la característica más significativa de este concepto fue el que se daba una medida de la cantidad de *impetus* según la cual éste

9. Cfr. ibídem, p. 102.

era proporcional a la cantidad de materia que había en el cuerpo y a la velocidad imprimida a él. También fue importante la discusión de la persistencia del *impetus* en ausencia de resistencia del medio y de la acción de la gravedad.

El empeño de la nueva ciencia por mirar al mundo de otra manera hizo olvidar que sus raíces se extienden hasta el medievo. El método científico, el papel de la matemática y la experimentación, y las posibilidades de la tecnología, fueron objeto de profunda discusión a finales del siglo XIII y comienzos del XIV, particularmente en las universidades de Oxford y de París. La Edad Media europea realizó notables contribuciones originales al desarrollo de la ciencia natural. En esa época se recuperó para el método científico la idea griega de explicación. El artífice fundamental de tal incorporación fue el franciscano Robert Grosseteste, probablemente el primer canciller de la Universidad de Oxford. Su método de «resolución» y «composición» —forma latina del análogo griego «análisis y síntesis»— le sitúa a la cabeza de una tradición que continuaron Duns Scoto y Ockham. Su concepción de la ciencia implicaba observaciones y experimentos. La posibilidad de aplicar la matemática a la ciencia física sería desarrollada —ya en el siglo XIV— por otro grupo de discípulos suyos, vinculados al *Merton College*, conocidos como los *Calculatores*, quienes desarrollaron una matemática del movimiento.

El objeto de la ciencia era obtener un dominio de la Naturaleza que resultara útil para el hombre. Así lo señaló expresamente Roger Bacon —franciscano de Oxford— en el siglo XIII. De hecho, en la Edad Media también hubo un notable progreso tecnológico: por ejemplo, se aprovechaba la energía animal, hidráulica y eólica, se inventó el reloj mecánico y las lentes de aumento, y se perfeccionaron el astrolabio y el cuadrante. La Escuela física de París —fundada por Jean Buridan y Nicolás Oresme— heredó las ideas de Oxford y prestó mayor interés a los problemas físicos reales. Buridan enseñó —contra Aristóteles— que no es necesario para el movimiento que el motor permanezca en contacto con el móvil. Oresme, por su parte, conocía el movimiento de rotación de la Tierra y consideró la posibilidad de la traslación. Sus ideas se extendieron a las universidades alemanas. El estudio cinemático del movimiento acelerado comenzó también en el siglo XIV. En este campo, las en-

señanzas de Alberto de Sajonia —discípulo de Buridan— influyeron notablemente en Leonardo Da Vinci. La asociación del movimiento uniformemente acelerado con un fenómeno físico concreto —la caída libre de los cuerpos— fue propuesta por primera vez por el dominico español Domingo de Soto.

Difícilmente se puede dudar de que fue el desarrollo de estos métodos experimentales y matemáticos de los siglos XIII y XIV lo que, por lo menos, inició el movimiento histórico de la revolución científica que culminó en el siglo XVII. Esto no significa, por supuesto, que la ciencia de Grosseteste y Buridan fuese la misma que la de Galileo y Newton. Los logros de éstos últimos demuestran que no se limitaban a emplear los métodos antiguos, sino que crearon una nueva forma de desarrollarlos. El problema más interesante quizá sea la relación entre ellos: ¿nació la nueva ciencia sólo de las mentes de Galileo, Newton y otros contemporáneos suyos, o tiene realmente una deuda contraída con las épocas anteriores? Para responder a esta pregunta, conviene tener en cuenta primero qué es lo que los científicos del siglo XVII conocían acerca de la obra medieval.

Por lo que concierne a esta pregunta, la producción de las primeras imprentas indica que las principales obras científicas medievales fueron efectivamente puestas en circulación, y esto indica a su vez que existía una demanda académica de esas obras. Aunque hubo algunas excepciones notables, fueron disponibles, gracias a la imprenta, las obras principales sobre el método científico y filosofía de la ciencia de Robert Grosseteste, Alberto Magno, Tomás de Aquino, Roger Bacon, Duns Scoto, Burley, Ockham, Cusa y los averroístas italianos desde Pedro d'Abano hasta Nifo y Zabarella, a principios del siglo XVI. Las obras sobre dinámica y cinemática de Thomas Bradwardine, William Heytesbury, Richard Swineshead, Jean Buridan, Alberto de Sajonia y Marliani fueron todas ellas impresas más de una vez, e igualmente lo fueron algunas de las obras matemáticas de Nicolás de Oresme, aunque no la importante *De Configurationibus Intensionum* ni *Le Livre du Ciel*. La *Epistola de Magnete* de Petrus Peregrinus fue impresa dos veces en el siglo XVI, en 1558 y 1562; fue conocida y apreciada por Gilbert. El texto astronómico más popular era *La Esfera* de Sacrobosco, pero también se imprimieron en cantidades representativas tablas astro-

nómicas y obras matemáticas como las de Juan de Murs, Peubach y Regiomontano. Se imprimió el *Tratado del astrolabio* de Chaucer, pero no los manuscritos de Ricardo de Walingford. Otro matemático importante cuyas obras no vieron la luz fue Leonardo Fibonacci. El biólogo medieval más importante fue Alberto Magno. Su *De animalibus* fue impreso, y también lo fueron sus obras geológicas y químicas. Entre otras obras de biología impresas, se encontraban el *Arte de cetrería* de Federico II, y las obras de Tomás de Cantimpré, Pedro de Crescenzi y Conrado de Megenburg. La obra de historia natural más popular era *Sobre las propiedades de las cosas* de Bartolomé Anglico. Se imprimieron muchas veces los tratados de anatomía, cirugía y medicina, por ejemplo, de Mondino, Guy de Chauliac, Arnau de Vilanova, Gentile de Foligno y Juan de Gaddesden, en algunos casos en varias lenguas. Sobre química y alquimia, se publicaron también las obras de Arnau de Vilanova y las atribuidas a Ramón Llull. Se puede, por tanto, afirmar que los principales científicos de los siglos XVI y XVII tenían conocimiento de las obras medievales e hicieron amplio uso de ellas.

Naturalmente, el grado en que los científicos de la época mostraban interés por los tratados medievales variaba según los distintos individuos. El excesivo respeto de los humanistas por los autores antiguos provocó la burla de los científicos del siglo XVII: esa devoción enfermiza por Aristóteles permite entender que Pascal se quejara de que el texto de una autoridad antigua bastase para descartar los razonamientos más sólidos. En el siglo XVI, las fuertes inclinaciones clásicas de hombres como Copérnico y Vesalio quizá les impidieron prestar mucha atención a los autores medievales, pero otros científicos de talla lo hicieron ciertamente. Por ejemplo, los anatomistas italianos Achillini y Berengario da Carpi escribieron comentarios a la *Anatomía* de Mondino. La teoría del *impetus* y otros aspectos de la dinámica, cinemática y estática medievales fueron estudiados y enseñados por matemáticos y filósofos como Tartaglia, Cardano, Benedetti, Bonamico y el mismo Galileo, en su época de juventud. En Inglaterra, el doctor John Dee coleccionó manuscritos, especialmente de las obras matemáticas y físicas de Grosseteste, Roger Bacon, Pecham, Bradwardine y Richard de Walingford, mientras Robert Recorde recomendaba las obras de Grosseteste y otros autores de Oxford a los estudiantes de Astronomía. Por lo que concierne a Descartes, citaba raras veces a quienes debía

algo, pero en sus *Météores* sigue exactamente el mismo orden del tema que la *Metereología* de Aristóteles y es, por más de un concepto, el último de los comentarios medievales sobre esa obra tan comentada.

Se ha dicho bastante para demostrar que los principales científicos del siglo XVI y principios del XVII conocían y utilizaban las obras de sus predecesores medievales. La historia es la misma en biología y química, en cuyo campo el autor medieval principal era Alberto Magno. También es igualmente visible la parte medieval de los antecesores en las concepciones del método científico y de la explicación, en particular, por ejemplo, en el empleo que hace Galileo de los métodos de «resolución y composición» para elucidar la relación entre la teoría y la experiencia y para desarrollar la forma «euclidiana» de las explicaciones científicas. También sucede lo mismo con la concepción neoplatónica de la Naturaleza, reductible en último término a la matemática, utilizada por primera vez en la Edad Media y con la «cosmología de la luz» de Grosseteste, y que se manifiestan en formas distintas en el pensamiento de Galileo, Kepler y Descartes.

La versión no continuista de la revolución científica está magníficamente representada en los textos de Alexandre Koyré [10], para quien la recuperación del platonismo, de la confianza en un orden geométrico natural, constituye una radical innovación en el modo de acercarse a la naturaleza. A. Koyré sostuvo exactamente la pos-

10. Alexandre Koyré (Taganrog, Rusia, 1892-París, 1964). Filósofo e historiador de la ciencia francés, de origen ruso. Sus intereses se desarrollaron en dos campos distintos, pero estrechamente ligados: la historiografía científica y la filosófica. Toda su obra está inspirada por la convicción de la unidad del pensamiento humano y de la imposibilidad de separar la historia del pensamiento filosófico, de la del pensamiento religioso y la del científico. Su método, conocido con el nombre de *análisis conceptual*, da más importancia al cambio teórico que a los nuevos hechos a la hora de interpretar el progreso de las ciencias. A su entender, a Galileo hay que valorarle menos como experimentador que como innovador que recurre a las matemáticas para interpretar la Naturaleza. Sus estudios se han centrado principalmente en la revolución científica y en el nacimiento de la ciencia, en la que considera que se dan las características de una auténtica revolución conceptual. Le siguen en la opinión del carácter innovador y revolucionario de la ciencia moderna autores como A. Rupert Hall, I. B. Cohen, G. Holton y R. Westfall.

tura contraria a Duhem, dando a la «revolución científica» el carácter de una verdadera transformación, la más importante ocurrida desde el pensamiento cosmológico griego. La esencia de la ciencia moderna consiste, a su juicio, en la aplicación de las matemáticas al estudio de la Naturaleza, tal como ejemplifican los trabajos de Galileo:

> «La aparente continuidad en el desarrollo de la física medieval y moderna, continuidad tan enfáticamente subrayada por Caverni y Duhem, —afirma categóricamente Koyré—, es una ilusión. Es verdad, por supuesto, que una tradición ininterrumpida conduce de las obras de los nominalistas de París a las de Benedetti, Bruno, Galileo y Descartes (...) No obstante, la conclusión que de ello extrae Duhem es un error: una revolución bien preparada es, a pesar de todo, una revolución» [11].

6.1.3. *La influencia del cristianismo en la génesis de la ciencia moderna*

Duhem sostiene también la tesis de que la filosofía cristiana tuvo un papel decisivo en la cristalización de la ciencia moderna. La historia de la ciencia demuestra que el nacimiento de la ciencia moderna tuvo lugar en un ambiente cultural completamente impregnado por creencias en dogmas. Destacaba entre ellos la doctrina cristiana acerca de un Creador personal y racional del Universo. Muchos autores le secundan en esta interpretación. Alfred North Whitehead recordó este punto en sus conferencias *Lowell* de 1925, publicadas bajo el título *Science and the Modern World*. Para los millones de lectores de este libro, supuso una verdadera revelación el hecho de que, contrariamente a lo que el positivismo ha afirmado, la ciencia no debe su origen al rechazo de creencias religiosas. Al contrario, como decía Whitehead, hay que buscar el nacimiento de la ciencia moderna en la firme fe de la Edad Media. Consideraba fundamental, en este contexto, la insistencia medieval en la racionalidad del Creador. Whitehead subrayó también que la creencia

11. KOYRÉ, A. cit. en KRAGH, H.: *Introducción a la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1989, pp. 105-106.

en el dogma de la Creación tuvo que ser compartida por toda una cultura a lo largo de varias generaciones. Solamente esa experiencia comunitaria y esa convicción pudieron producir una línea de pensamiento, un clima de confianza intelectual y de optimismo. A su vez, esto dio lugar a una empresa científica y a la determinación de buscar la racionalidad en todos los procesos de la naturaleza [12].

Dentro del marco positivista, seguirá siendo una especie de rompecabezas insoluble el hecho de que la ciencia moderna naciese en el mundo occidental y no en China o en la India, o entre los mayas o los aztecas. Por supuesto, el nacimiento de la ciencia fue un proceso bastante largo. Sus comienzos ponen de manifiesto las maravillosas intuiciones del pensamiento griego. Como Einstein dijo una vez: «En mi opinión, no debe sorprender que los sabios chinos no hicieran estos avances (los descubrimientos fundamentales de la ciencia griega). Lo sorprendente es que se realizaran estos descubrimientos» [13]. Sin embargo, a pesar de todos sus logros, la ciencia griega se quedó a mitad de camino. No reconoció el papel crucial de los experimentos sistemáticos. Se demostró totalmente incapaz de encarar el análisis cuantitativo del movimiento.

Los grandes predecesores medievales de la ciencia moderna, como Oresme y Buridan, hicieron referencias explícitas al Creador. Sus afirmaciones aparecieron más elaboradas en los teóricos de la ciencia del siglo XVI, tales como Descartes, Bacon y Galileo. Los escritos de Bacon son especialmente reveladores en este aspecto. Bacon no fue un pensador excesivamente original, pero tuvo una extraordinaria sensibilidad para recoger lo mejor de que disponía su época. Tuvo también la habilidad de explicarlo todo con gran persuasión; y lo que es más importante: dijo lo que sus contemporáneos querían oír. Deseaban saber, por ejemplo, por qué se paralizó la ciencia griega: de esos fracasos, Bacon culpó a las características panteístas de las creencias religiosas griegas [14]. El panteísmo

12. Cfr. WHITEHEAD, A.N.: *Science and the Modern World*, Macmillan Co., New York, 1926, pp. 18-19.

13. EINSTEIN, A.: *Carta a Mr. J. E. Switzer*, cit. en JAKI, S.L.: *Ciencia, fe, cultura*, Palabra, Madrid, 1990, p. 128.

14. Cfr. BACON, F.: *Of the Dignity and Advancement of Learning*, vol. 3, cap. IV, en *The Works of Francis Bacon*, J. Spedding (ed.), London, 1870, IV, p. 365.

fue la causa de que los griegos prefirieran considerar el mundo como un organismo, o un enorme animal. Para ellos, cada parte integrante del mundo tenía voliciones muy semejantes a las preocupaciones y aspiraciones humanas. Estudiaron las caídas de las piedras, el origen del fuego, el conocimiento de los astros al mismo tiempo que el movimiento de los animales. Para ellos, el hombre no era más que un diminuto organismo totalmente sujeto a las innumerables voliciones que inspiran todo el cosmos. Es obvio que este punto de vista no podía generar una confianza duradera en la posibilidad de descifrar ni, por supuesto, dominar los caprichos y los movimientos de ese animal inmenso, el Universo entero.

Stanley L. Jaki, doctor en física, especialista en historia y filosofía de la ciencia y profesor del Seton Hall University, South Orange, en New Jersey, ha continuado y profundizado en las tesis de Pierre Duhem acerca de los antecedentes medievales y cristianos de la ciencia moderna, y ha reivindicado su figura, frente a no pocas interpretaciones mal fundadas. Al realizar esta tarea, la ha prologado, estudiando el itinerario de la ciencia en las grandes culturas de la Antigüedad; la matriz cultural cristiana, que proporcionó a la ciencia moderna su único nacimiento viable; las relaciones entre el realismo implicado por la visión cristiana y el progreso de la ciencia auténticamente creativa; y el impulso decisivo que el cristianismo ha proporcionado al pensamiento científico[15].

Una de sus tesis más originales se refiere al camino de la ciencia en las culturas antiguas. Jaki sostiene que la ciencia experimental sufrió repetidos abortos en tales culturas, debido a la falta de un clima intelectual propicio en el que la investigación científica tuviera sentido. En particular, las creencias de corte panteísta, en las que frecuentemente se admitía que el Universo atraviesa ciclos recurrentes en intervalos regulares de tiempo, fueron la causa de que los gérmenes de ciencia que existieron en la Antigüedad no llegaran a convertirse en un organismo viable. Faltaba un convencimiento mínimo acerca de la racionalidad del mundo y de la capacidad humana para captarla[16]. El análisis de Jaki se extiende no sólo a las culturas antiguas de la India, de Egipto o de China, sino también a la de Grecia,

15. Cfr. JAKI, S.L.: *Ciencia, fe, cultura*, op. cit., pp. 117-138.
16. Cfr. ibídem, pp. 14-15.

que, a primera vista, difícilmente podría ser tachada de irracional. La disección de la concepción griega del Universo es uno de los aspectos más notables de las reflexiones de Jaki.

Jaki muestra de modo convincente que la creencia en la creación divina del mundo y del hombre, tal como se desarrolló en el Antiguo Testamento y en la tradición cristiana, fue un elemento decisivo que permitió superar los inconvenientes antes mencionados. Durante siglos fue tomando consistencia una matriz cultural cristiana que, en la época medieval, formaba un cuerpo de ideas generalmente admitido. Esta matriz hizo posible el nacimiento viable de la ciencia experimental, acontecimiento histórico que es único y que ha condicionado fuertemente el desarrollo posterior de la historia [17].

En definitiva, puede afirmarse que el cristianismo ha desempeñado una función importante en el desarrollo de la ciencia moderna, debido a los fundamentos filosóficos que le ha proporcionado, y también que esa función continúa en la actualidad respecto a los momentos verdaderamente creativos de la ciencia. Esto no es una apologética fácil, sino el reconocimiento de un hecho profundo. La misión del cristianismo, sin duda, no es favorecer la ciencia, sino la salvación de las almas. Pero las verdades que el cristianismo comunica y el clima en el que se encuentran constituyen una ayuda notable para cualquier empresa que promueva la realización de las potencialidades del hombre.

6.1.4. *Puritanos y artesanos. La tesis de Merton*

La historiografía de la ciencia externalista ha ubicado las causas de la revolución científica más en el terreno social y psicológico que en el puramente intelectual [18]. Conforme a la tesis de Mer-

17. Cfr. ibídem, p. 15.

18. Hay una muy buena información sobre los debates historiográficos en la imprescindible obra de KRAGH, H.: *Introducción a la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1989; en REDONDI, P.: «El oficio de historiador de las ciencias y de las técnicas», en LAFUENTE, A. y SALDAÑA, J. J.: *Historia de las ciencias*, CSIC, Madrid, 1987, y en AGASSI, J.: *Epistemologia, Metafisica e Storia della Scienza*, Armando, Roma, 1978; ídem: *La Filosofia dell'uomo libero: Verso una Storiogra-*

ton[19], la ideología del puritanismo con su valoración del trabajo, así como el progreso en los oficios artesanales, pudieron resultar claves para el cambio en ciencia. Los baconianos, según Merton, esperaban aprender de las artes prácticas y hacer de la ciencia algo útil. Los nuevos problemas abordados por la tradición artesanal y los métodos aprendidos hacen que nazca la nueva ciencia (este punto de vista, se basa en parte en la historiografía marxista). El puritanismo fue otro estimulante para el desarrollo de la ciencia. Además, entre ambos factores (la influencia del puritanismo y el desarrollo de la artesanía), se pueden apreciar conexiones. Así, Max Weber señala que el puritanismo contribuyó a legitimar el interés por la tecnología y las artes útiles.

El debate es importante ya que atañe a los cimientos mismos de la nueva ciencia. La posición de Merton se ha visto criticada por su definición de puritanismo y por el papel preponderante que otorgaba a Bacon en el nacimiento de la nueva ciencia. Por otra parte, los internalistas afirman que la ciencia nada debe a los valores económicos ni a las doctrinas religiosas. Si hacen falta novedades culturales para explicar por qué hombres como Galileo, Descartes o Newton de pronto fueron capaces de ver de una manera nueva fenómenos bien conocidos para ellos, debe observarse —como expone Kuhn— que tales novedades son ante todo intelectuales y que

fia della Scienza, Armando, Roma, 1978. ROSSI, P.: *Las arañas y las hormigas. Una apología de la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1990, contiene un buen relato de la polémica sobre externalismo e internalismo matenida por Hill, Needham y Koyré, entre otros.

19. Robert King Merton (Filadelfia, 1910) Sociólogo estadounidense, discípulo de Talcott Parsons y representante principal del funcionalismo sociológico, ha sido profesor en la Universidad de Columbia y fundador de la denominada escuela de Columbia o mertoniana. Debe su fama inicial a su tesis doctoral sobre *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del s. XVII* (1938), en la que, siguiendo planteamientos de Weber, sostiene una relación intrínseca y directa entre la actividad científica del s. XVII y los factores sociales, incluido el puritanismo protestante. Esta obra desarrolla una de las posturas clásicas de la denominada de la sociología del conocimiento en general y de una filosofía de la ciencia orientada según los supuestos epistemológicos de Kuhn. Su obra sociológica más importante es *Teoría y estructura sociales* (1949), y es autor, además, de investigaciones sociológicas empíricas sobre diversos temas: medios de comunicación, burocracia, etc. Se le considera el fundador de la sociología de la ciencia.

incluyen el neoplatonismo del Renacimiento, el resurgimiento del antiguo atomismo y el redescubrimiento de Arquímedes. Conforme al argumento internalista, tales corrientes intelectuales se impusieron y fueron tan productivas en Italia y en Francia (católico-romanas), como en los círculos puritanos de Holanda o Inglaterra. Creemos que las matizaciones a la tesis de Merton propuestas por Kuhn, que tienden a salvar una versión débil de ella, parecen bastante atinadas[20].

6.1.5. *El hermetismo y la nueva ciencia*

Se mostrará aquí la persistencia durante buena parte de la revolución científica de elementos animistas y vitalistas procedentes de la tradición hermética[21]. El hermetismo o especulación hermética es el conjunto de doctrinas atribuidas a Hermes Trismegisto que conciben el cosmos estratificado en tres zonas: la superior o de la luz, la intermedia o de las almas y la inferior, lugar de los hombres, sede de la materia y de la corrupción. Toda la tradición hermética, medieval y renacentista, se basa en las correspondencias secretas entre lo inferior y lo superior, el hombre y el Universo, lo terrestre y lo celeste, la materia y el espíritu, el microcosmos y el macrocosmos. De naturaleza semejante a los escritos herméticos son los orá-

20. La tesis de Merton y las ideas al respecto de Kuhn pueden consultarse en MERTON, R.: *La sociología de la ciencia*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1977; ídem: *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza, Madrid, 1984; y en KUHN, T.: *La tensión esencial*, F.C.E., México, 1983.

21. Sobre la cuestión del ambiente intelectual del Renacimiento y del hermetismo en el nacimiento de la nueva ciencia, nos parece adecuado TURRÓ, S.: *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*, Anthropos, Barcelona, 1985. En relación con este punto, puede verse también REDONDI, P.: *Galileo herético*, Alianza, Madrid, 1990. Las obras del historiador Eugenio Garin: *La revolución cultural del renacimiento*, Crítica, Barcelona, 1981; ídem: *El zodíaco de la vida*, Península, Barcelona, 1981; ídem: *Ciencia y vida civil en el renacimiento italiano*, Taurus, Madrid, 1982, deberán ser citadas, ya que fue uno de los primeros en poner de manifiesto la presencia del hermetismo en la nueva ciencia, así como los estudios clásicos de Frances Yates: *El arte de la memoria*, Taurus, Madrid, 1974; ídem: *Giordano Bruno y la tradición hermética*, Ariel, Barcelona, 1983, y los de Paolo Rossi: *Clavis Universalis. El arte de la memoria y la lógica combinatoria de Lulio a Leibniz*, F.C.E., México, 1989, y su importante reinterpretación de Bacon.

culos caldeos atribuidos a Juan el Teurgo. Contemporáneos de ambos y con una orientación similar, pero más cercana al cristianismo, son los escritos gnósticos. Posteriormente, el adjetivo «hermético» designó cualquier tipo de saber cerrado, de difícil acceso, reservado solamente a los iniciados poseedores de una clave de acceso negada a la mayoría.

Aportaremos información sobre los antecedentes históricos y supuestos de dicho movimiento y del *Corpus Hermeticum* propiamente dicho. Hablaremos de la recuperación y traducción de éste por parte de Marsilio Ficino (a partir de 1460) y de la enorme influencia de la que gozó debido a su pretendida antigüedad. La datación del *Corpus* por parte de Casaubon (en 1614) es también un aspecto pertinente para nuestro relato, pues marca el fin de la leyenda sobre el origen de estos escritos. El nombre de Hermes Trismegisto no corresponde, en realidad, a ningún autor, sino que bajo esta máscara se escribieron distintos textos por parte de distintos autores. Es más que probable que el nombre surgiese de la identificación efectuada por la cultura greco-romana de la figura de Hermes-Mercurio (mensajero de los dioses) con el dios egipcio Thoth o Theuth, escriba de los dioses, del cual Platón ya habló como el mítico e hipotético inventor de la escritura. El término «Trismegistos» (en griego, «tres veces grande») le fue atribuido por los grandes conocimientos del autor de estos textos que, según la leyenda, fue inspirado directamente por el dios Hermes-Thoth. El hecho de que estos escritos presentasen una cierta semejanza con las doctrinas cristianas, hizo pensar que se trataba de una revelación divina anterior a la cristiana, que atestiguaría un saber de origen divino del cual todas las filosofías antiguas habrían participado, lo que, a su vez, convertiría la filosofía en una aspiración de unión con Dios o, lo que es lo mismo, en una religión. Las obras de este hipotético autor, reconocidas como de gran valía por Cicerón, Lactancio, San Agustín y muchos autores medievales y renacentistas (traducidas al latín por Marsilio Ficino en 1471), son una especulación cosmológica con elementos astrológicos y astronómicos, caldeos y helenísticos, de la física aristotélica y de la antropología pitagórico-platónica, que también aparecen como un instrumento de liberación salvífica. No obstante, como ya hemos mencionado, la crítica filológica (iniciada ya por Casaubon en 1614) ha demostrado que se trata de una serie de distintos escritos debidos a diversos autores de

los siglos II y III d.C., probablemente griegos, en los que se mezclan sin rigor las mencionadas doctrinas filosóficas y religiosas, y que son un ejemplo del sincretismo y eclecticismo de la filosofía salvífica popular griega, propia del período helenístico tardío.

Habrá que prestar atención a las conexiones entre la figura del hombre de ciencia moderno y la del mago hermético, sin duda relacionadas, al menos a través de la actividad experimental y de la confianza en las regularidades numéricas. Evidentemente, la cuestión no se puede solventar negando la presencia de elementos herméticos y mágicos en la misma raíz de la nueva ciencia, pues la historiografía vigente ha mostrado con claridad su presencia e influencia que llega incluso hasta Descartes y Newton.

6.1.6. *Conclusiones*

En el curso del presente capítulo, venimos hablando sistemáticamente de «revolución científica». Sin embargo, precisamente esto es lo que niega Duhem, que haya existido tal revolución en ciencia. Según él, en ciencia tenemos una fase de evolución continua desde los últimos siglos de la Edad Media y, si en algún terreno podemos hablar de revolución, éste es el de la epistemología científica, que muta desde el probabilismo bajomedieval hacia el realismo de los científicos del XVII.

Sin embargo, la denominación adoptada en esta obra no pretende prejuzgar el debate sobre el continuismo, sino atenerse a lo que es uso común y facilitar, en virtud de ello, la comunicación. Si hubo o no realmente una revolución en ciencia es un asunto que, al menos desde nuestro punto de vista, ha perdido su interés. Es evidente que en los comienzos de la modernidad se produjo un cambio importante y complejo en la ciencia, pero muy dilatado en el tiempo (del orden de siglos) y no surgido de la nada; un cambio en la ciencia, pero no de modo uniforme e isocrónico en todas las disciplinas; un cambio también en la concepción de la ciencia, en sus métodos y en su incidencia social, pero nunca de modo abrupto. Este cambio se puede llamar, si se quiere, «revolución científica», o «primera revolución científica» —en términos kuhnianos— pues es el uso común convenido. Las tesis de los continuistas, así como las de los no continuistas, evidencian diferencias filosóficas, como

sugiere Koyré, pero son compatibles desde el punto de vista de los hechos históricos y sus causas, y su integración puede ofrecer una imagen de la ciencia moderna más completa y enriquecida.

6.2. Cosmología: hacia el Universo infinito

La revolución científica se puede relatar de múltiples maneras. Koyré [22] ha mostrado que una de las posibles, y quizá una de las más iluminadoras, sea el seguimiento de la cosmología desde el mundo cerrado al Universo infinito, desde la cosmología tradicional hacia el asentamiento de la imagen moderna del cosmos. En este apartado daremos cuenta de dicha trayectoria. Nos detendremos en las primeras concepciones infinitistas vinculadas más a la filosofía que a la ciencia, las de Nicolás de Cusa y Giordano Bruno (6.1.1.). Se estudiará después la posición respecto a este tema de Copérnico y de los astrónomos copernicanos, como Digges, Kepler o Galileo (6.1.2.). A continuación nos referiremos al debate cosmológico entre Descartes y More (6.1.3.), expondremos la cosmología newtoniana (6.1.4.)y, por último, haremos mención del famoso debate, semejante en algunos aspectos al anterior, entre Gottfried Wilhelm Leibniz y Samuel Clarke (6.1.5.).

El concepto de infinito físico en la Edad Moderna es aplicado por vez primera, por Giordano Bruno, al Universo, tomándolo de la tradición epicúrea transmitida por Lucrecio y de la infinitud que el neoplatónico Nicolás de Cusa aplicó antes confusamente a Dios y

22. Koyré, A.: *From the Closed World to the Infinite Universe*, 1957; trad. esp.: *Del mundo cerrado al Universo infinito*, Siglo XXI, trad. de Carlos Solís, 1979, es recomendable para las cuestiones cosmológicas aquí tratadas, para los debates entre Descartes y More y entre Leibniz y Clarke. Koyré, A.: *La révolution astronomique*, Hermann, Paris, 1961; Ídem: *Études newtoniennes*, col. «Bibliothèque des Idées», Gallimard, Paris, 1968; *Newtonian Studies*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1965; Ídem: *Études d'histoire de la pensée scientifique*, P.U.F., Paris, 1966; trad. esp.: *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, Madrid, 1977; Ídem: *Études Galiléennes*, Hermann, Paris, 1940; trad. esp.: *Estudios galileanos*, Siglo XXI, Madrid, 1980; son magníficos estudios de varios aspectos de la revolución científica. Sobre el pensamiento del propio Koyré puede verse la introducción de Solís a Koyré, A.: *Pensar la ciencia*, Paidós, Barcelona, 1994.

al Universo. Nos referiremos a ellos a continuación (6.1.1.). La precitada afirmación de la infinitud del Universo, no hecha con criterios científicos —aunque coincidiera con la imagen del «Universo abierto» de Thomas Digges— sino más bien postulada desde una visión mágica, vitalista y hasta panteísta del Universo, tuvo una gran repercusión en la imagen científica del Universo en el s. XVII, aunque Kepler la rechazó. De ella, de algún modo, participan las concepciones científicas sobre el Universo infinito de Descartes (extensión «indefinida»), Newton y Leibniz. La idea de un Universo infinito ha sido desechada por la cosmología moderna, que adopta la de Universo finito, pero ilimitado (curvado sobre sí mismo).

6.2.1. *El Universo infinito de Cusa y Bruno*

Nicolás de Cusa[23] introduce desde la pura reflexión filosófica concepciones cosmológicas que coinciden en muchos aspectos con aquellas que serán defendidas por los científicos del XVII. En su *De Docta ignorantia*, redactado en 1440, no llega a afirmar la infinitud del Universo, atributo que reserva para Dios, pero lo concibe como sin límite, «interminado», en cierto modo podríamos decir que impreciso y, por tanto, no cognoscible sin residuo de duda o ambigüedad. De ahí que, acerca de estas cuestiones cosmológicas, quien reflexione en profundidad tendrá que aceptar su ignorancia.

23. Nicolás de Cusa o Nicholas Kriffs o Krebs (1401-1464) fue un filósofo renacentista neoplatónico, llamado el «Cusano» por la ciudad alemana en que nació, Kues, entre Tréveris y Coblenza. Estudia en Heidelberg y posteriormente en Padua y Colonia. A partir de 1432, toma parte en la preparación del concilio de Basilea y comienza a interesarse por cuestiones referentes a la reforma de la Iglesia, que le llevan a defender primero la supremacía del concilio sobre el Papa, tal como hace en su primera obra, *De Concordantia Catholica* (Sobre la concordancia católica), luego a defender la supremacía del Papa, a iniciar más tarde una carrera de diplomático eclesiástico para trabajar por la reunificación de la Iglesia, a ser legado del Papa en Alemania y, finalmente, cardenal en 1448 y obispo de Bressanone en 1450. En estos últimos años escribe *Idiotae libri* (Libros del profano), *Tetralogus de Non Aliud* (Tetrálogo sobre el No Otro), y otros libros de carácter matemático.

La consecuencia inmediata de un cosmos sin forma ni límites definidos es que se pierde la posición especial del centro y de la periferia, como dirá Cusa, el espacio deja de estar dividido en regiones con distintas propiedades y se convierte en un todo homogéneo. La infinidad de los mundos y quizá de los mundos habitados empieza a ser pensada. Cabe en este punto establecer la comparación con la cosmología aristotélica que hemos estudiado. Aunque con influencias neoplatónicas y escolásticas, el Cusano es uno de los filósofos más característicos de la época de transición de la Edad Media al Renacimiento, alguna de cuyas ideas, por ejemplo la del carácter infinito (más bien ilimitado) del Universo, ha influido notablemente en el pensamiento filosófico y científico de la época moderna. Mantiene una postura profundamente antiaristotélica y es un pensador original muy influido por la tradición medieval neoplatónica y, en especial, por doctrinas de Escoto Eriúgena y el místico Maestro Eckhart.

La doctrina de sus grandes obras, *De docta ignorantia* (La docta ignorancia, 1438-1440), *De Deo abscondito* (El Dios escondido, 1444), *Apologia doctae ignorantiae* (Apología de la docta ignorancia, 1449), *De Venatione Sapientiae* (La caza de la sabiduría, 1463), se centra en la tesis de que el conocimiento humano sólo es conjetural, parcial y relativo, y que dirigido a Dios sólo alcanza a ser una docta ignorancia, un saber que nada se sabe; tanto más que, en la infinitud de Dios, no puede cumplirse el principio de no contradicción, que impide la coincidencia de los opuestos: Dios es, en efecto, todo, lo máximo y lo mínimo, porque en su infinitud los contrarios coinciden, igual que, en geometría, un círculo de radio infinito puede concebirse como una recta. Sólo una cerrada fidelidad a Aristóteles puede impedirnos contemplar a Dios con la facultad intuitiva de la inteligencia, no con la razón, pese a que, por más que crezca el conocimiento, nunca llega a alcanzar su objeto: igual que el círculo no puede medirse con un polígono inscrito, por más lados que tenga, mientras no sea igual al círculo.

Sus ideas cosmológicas son innovadoras en su época: constituyen un rechazo de la cosmología medieval aristotélica y un anticipo de la cosmología de la ciencia moderna. El Universo, desarrollo (*explicatio*) de lo que Dios es, no es infinito, sino finito, porque separa lo que en Dios constituye una unidad (*complicatio*), pero es

ilimitado, sin centro y sin esfera exterior y todo en él se mueve y, en él, la Tierra. Por estar Dios presente en el Universo, cada cosa refleja a su manera el Universo y, con él, a Dios que se desarrolla en él de forma finita. Sostiene que el simbolismo matemático y las proporciones matemáticas son un camino necesario para alcanzar una cierta inteligencia de lo divino. Habló, un siglo antes que Copérnico, de un cierto movimiento de la Tierra, cuya naturaleza no llegó a precisar. La doctrina de las mónadas de Leibniz deberá algunas de sus ideas a éstas de Nicolás de Cusa.

Giordano Bruno[24] extrema aún la concepción infinitista hasta afirmar abiertamente la infinitud del Universo. Se le puede recono-

24. Giordano Bruno (Nola, 1548-Roma, 1600). Nace en Nola, cerca de Nápoles, estudia en esta misma ciudad e ingresa a los diecisiete años en la orden de los dominicos, donde recibe el nombre de Giordano en lugar del de Filippo, el de nacimiento; ordenado sacerdote en 1572, al cabo de cuatro años es acusado de hereje y huye a Roma, abandonando la Orden. A partir de este momento, inicia una serie de viajes por diversas ciudades italianas y europeas, que se prolongan de 1579 a 1591, época que representa su período de madurez y de producción de sus obras fundamentales. En Ginebra abraza el calvinismo, pero rechaza su rigorismo y abandona Suiza para dirigirse a Francia. En su primera estancia en París (1581-1583), publica varias obras sobre el arte de la memoria y la magia, entre las que destaca *De umbris idearum* (Las sombras de las ideas, 1582), donde se manifiesta ya como copernicano y, por lo demás, platónico en la línea de Ficino. En 1583 marcha a Inglaterra y vive en la embajada francesa en Londres, donde entre 1584 y 1585 publica en italiano sus obras más importantes, conocidas como «diálogos italianos»: *La cena de le ceneri*, *De la causa, principio e uno*, *Del infinito, Universo e mondi*, *Spaccio de la Bestia trionfante*, *Cabala de cavallo pegaseo con laggiunta del asino cillenico* y *De gli eroici furori*. En la principal de sus obras, *La cena de las cenizas* (1584), aparece lo esencial de la cosmología bruniana. Regresa a París, en 1585, pero un ambiente de inestabilidad política y de enfrentamiento con los aristotélicos le obliga a marchar a Alemania, donde es bien recibido en la universidad protestante de Wittenberg. Viaja a Praga, en busca de la protección de Rodolfo II de Habsburgo, que no consigue; vuelve a Alemania, y publica en Francfort sus grandes poemas latinos: *De immenso et innumerabilibus*, *De triplice minimo et mensura*, *De monade rerum et figura*, además de una obra sobre el arte de la memoria: *De imaginum, signorum et idearum compositione*. En Francfort acepta la invitación que le hace el noble veneciano, Giovanni Mocenigo, de trasladarse a Venecia. Vuelve a Italia y, tras instalarse en Venecia en 1591, es denunciado por el mismo Mocenigo a la Inquisición, como hereje; en 1593 se inicia en Roma su proceso y juicio, que acaba el 17 de febrero de 1600, cuando, condenado a la hoguera, muere en Campo dei Fiori como «hereje impenitente, contumaz y obstinado».

cer a Bruno, pues, la prioridad en la propuesta de un Universo infinito. Se debe exponer aquí la diferencia entre una serie de conceptos afines pero no idénticos que tendremos que manejar en este apartado: infinito, indeterminado, «interminado» e ilimitado. Además Bruno modifica las valoraciones tradicionales de movimiento y reposo. En el cosmos aristotélico el reposo es un estado de mayor perfección que el movimiento. Se mueve aquello que está fuera del lugar que le es propio y lo hace para buscar su acomodo natural. Sin embargo, para Bruno el movimiento es perfección y el reposo, incapacidad de movimiento. Por último, podemos destacar el efecto que un Universo infinito puede tener sobre la epistemología, ya que sólo una parte insignificante del mismo puede caer bajo el alcance de nuestros sentidos.

En el pensamiento de Bruno coinciden todas las grandes líneas del Renacimiento, aun las opuestas: el platonismo de Marsilio Ficino y Pico della Mirandola, el neoplatonismo plotiniano, el naturalismo, la tradición mágico-hermética, las ideas de infinito y de la *concordantia oppositorum* de Nicolás de Cusa, las tendencias aristotélicas y antiaristotélicas y los rasgos de reforma y antirreforma. Él es, ante todo, un reformador religioso heterodoxo que recurre a toda esta herencia para cambiar la visión del mundo, igual que Copérnico ha cambiado la posición central de la Tierra, y conseguir así una reforma global religiosa, moral y política. Sus primeras obras las dedica Bruno al estudio de la mnemotecnia o arte de la memoria, que, relacionada en el Renacimiento con la magia y cultivada sobre todo por los neoplatónicos y los herméticos, permitía un dominio excepcional de la naturaleza. Según expone Bruno en *Las sombras de las ideas*, al memorizar en la mente imágenes mágicas (las sombras de las ideas) se la convierte en un poderoso reflejo de la naturaleza.

Los diálogos italianos que publica en su estancia inglesa representan su visión del Universo, así como su visión reformadora. Contienen su profesión de fe copernicana y su elogio a Copérnico, un intento de justificación del copernicanismo mediante argumentos de carácter racional y físico, su idea de un Universo infinito y de los infinitos mundos que coexisten en el Universo. El mundo es infinito, porque su causa —la «mente sobre las cosas»— es infinita y también es infinita la vida, porque nada perece. El mundo vive porque Dios está en todo el Universo y en cada una de sus partes —«la

mente en cada cosa». El Universo es un animal dotado de alma y por eso mismo también se mueve y, en él, todos los cuerpos celestes y, con ellos, la Tierra, que se mueve para «renovarse». A las ideas meramente cosmológicas, añade las de renovación total. Crítico con la fe cristiana —rechaza la Biblia, niega que todos los hombres desciendan de Adán, niega el pecado original, por lo que carecen de sentido la encarnación y la redención— cree que la renovación no puede proceder de las «tinieblas» del cristianismo, aferrado como está a una imagen aristotélica de un mundo finito y cerrado, que necesita de un cambio radical, sino de la «luz» de la antigua religión egipcia de Hermes Trismegisto, religión de la mente, en la que se da culto al Sol, símbolo del alma del mundo y, a la vez, centro del Universo, así como de una nueva imagen del Universo, infinito, uno y vivo, donde Dios está en todas las cosas. Religión, filosofía y cosmología constituyen las tres facetas de una misma visión mágico-hermética del Universo de Giordano Bruno.

6.2.2. *Copérnico y los copernicanos*

Copérnico hace que crezca el Universo, pero no llega a considerarlo infinito. La Tierra planetaria y la ausencia de paralaje estelar visible exigen que el Universo sea considerado mucho mayor de lo que se pensaba hasta el momento. Este efecto ya fue tomado en consideración en la Antigüedad y a él se refiere de manera inequívoca Arquímedes en su *Arenario*, como ya hemos visto y puede aquí ser recordado. El Universo para Copérnico no deja de ser finito. Termina con la esfera de las estrellas fijas, que se hallan todas en el mismo plano esférico. La Tierra sigue poseyendo funciones especiales, pues el centro de su órbita es el punto de corte de las órbitas planetarias y la zona del Universo ocupada por nuestro planeta se sitúa en el centro del mismo.

A pesar de lo dicho, no podemos dejar de mencionar que el cambio copernicano libera a la esfera de las estrellas fijas de gran parte de sus funciones, de manera que algunos copernicanos estuvieron tentados a deshacerse de ella. Este fue el caso de Thomas Digges, quien, en su *A perfit Description of the Caelestiall Orbes* (de 1576), introduce un gráfico del sistema copernicano en que, por primera vez, las estrellas se distribuyen por la página libres ya de

cuaquier orbe. El mundo copernicano modificado de Digges incluye un cielo —más teológico que astronómico, es cierto— infinito.

No todos los copernicanos abogaron inmediatamente por el infinito. Kepler es un caso que merece estudio, ya que por razones epistemológicas, científicas y teológicas se niega a admitir la infinitud del Universo. Si el Universo fuese infinito no habría lugares singulares, como el centro y la periferia. De ello se sigue, para Kepler, que las infinitas estrellas se distribuirían de modo perfectamente homogéneo, a falta de razón suficiente para hacerlo de otro modo cualquiera, y el aspecto del cielo para nosotros no sería el que de hecho observamos. Además, la misma noción de una distancia actualmente infinita le parece absurda; dicho de otra manera, entre la Tierra y cualquier estrella que elijamos siempre habrá una distancia determinada, no infinita. Mantiene la distinción entre las estrellas fijas y el Sol, que no será una más de las estrellas, sino el centro de un Universo finito y la representación sensible del mismo Dios Padre. La periferia será la imagen del Dios Hijo y el espacio intermedio, del Espíritu Santo. Kepler niega también la posibilidad del espacio vacío, que sería simplemente nada. El lugar está vinculado a los cuerpos. Descubrimos en cosmología un Kepler todavía muy aristotélico.

Las ideas del canónigo polaco fueron defendidas tenazmente por Galileo, quien sentó las bases del método experimental. Galileo alababa a Copérnico precisamente por lo que hizo: por permanecer fiel a sus convicciones, a costa de desafiar a sus sentidos[25]. Como Copérnico y como Kepler, el otro gran pionero de la física moderna que formuló las leyes del movimiento de los planetas, Galileo era un cristiano convencido, lo cual le llevó a contemplar la Naturaleza como la obra de un Dios infinitamente sabio y, por tanto, como algo racional que el hombre, creado por Dios a su imagen y semejanza, podía comprender. Todos ellos encontraron en las matemáticas el lenguaje preciso para interrogar a la Naturaleza. Combinando las matemáticas con la experimentación, encontraron el camino de la nueva física.

El empleo sistemático del método experimental por medio del cual podían ser estudiados los fenómenos en condiciones simplifica-

25. Cfr. GALILEI, G.: *Dialogue the Two Chief World Systems*, trad. ing. por Stillman Drake, University of California Press, Berkeley, 1953, p. 328.

das y controladas, y de la abstracción matemática que hacía posible nuevas clasificaciones de la experiencia y del descubrimiento de nuevas leyes causales, aceleraron enormemente el ritmo del progreso científico. Un hecho sobresaliente de la revolución científica es que sus etapas iniciales y, en cierto sentido las más importantes, fueron realizadas antes de la invención de nuevos instrumentos de medida como el telescopio y el microscopio, el termómetro y el reloj de precisión, que iban a ser después indispensables para conseguir respuestas precisas y satisfactorias a las preguntas que iban a ponerse en la avanzadilla de la ciencia. De hecho, la revolución científica, en sus etapas iniciales, se produjo más por un cambio sistemático de la concepción intelectual, por el tipo de preguntas planteadas, que por un progreso en los medios técnicos. El porqué de esta revolución en los métodos de pensamiento es algo que permanece oscuro.

Galileo inicia la utilización de instrumentos ópticos para la observación de los cielos. El mundo visto a través de éstos es distinto y nuevo en muchos aspectos. Por primera vez el hombre ve la Vía Láctea descompuesta en múltiples estrellas, observa muchas más de las que hasta entonces había registrado, se enfrenta a la asombrosa cara de la Luna y encuentra otras lunas. Sin embargo, el debate infinitarista no se vio muy afectado por la utilización de instrumentos ópticos. Quizá por el desgraciado antecedente de Bruno o por los procesos inquisitoriales sufridos por él mismo, las afirmaciones de Galileo en este terreno nunca fueron claras. Acerca de la cuestión de la infinitud del mundo se niega a tomar partido, afirma que es indecidible. Lo que sí afirma es que las estrellas no están en el mismo plano, que distan unas de otras también en profundidad y que el Sol no tiene por qué ser el centro del Universo. En este sentido habrá que volver sobre los argumentos de Kepler, quien ya conocía algunos de los descubrimientos de Galileo, y habrá que explicar la ambigua interpretación de los datos instrumentales: podían ser tomados como telescópicos (vemos objetos que no veíamos antes por lejanos) o «microscópicos» (vemos lo que se nos negaba por pequeño).

En todo caso, lo que el telescopio claramente revelaba era que la Vía Láctea consistía en una acumulación de estrellas, que el paisaje lunar no difería mucho del terrestre y que, además de los ya conocidos, existían otros cuatro planetas satélites de Júpiter, a los que Galileo bautizó con el nombre de «mediceos». Poco después, ulteriores observaciones le permitieron llevar a cabo nuevos descu-

brimientos: el aspecto tridimensional de Saturno (el famoso «anillo», invisible para el anteojo de Galileo), las fases de Venus y el estudio de las manchas solares. Estas observaciones eran de extraordinaria importancia, pues, a través de la «certidumbre que es dada por los ojos», quedaba refutada la construcción astronómica aristotélica-ptolemaica, al resquebrajarse dos de sus cimientos fundamentales: la heterogeneidad cualitativa de las esferas celestial y terrestre, y la unicidad del centro de todos los movimientos cósmicos. Además, el empleo del telescopio le permitió también eliminar toda una serie de objeciones a las hipótesis copernicanas que, hasta entonces, muchos habían considerado como fundamentadas, incluso imposibles de superar, por ejemplo, la que afirmaba que la «naturaleza terrestre» de un planeta le impediría moverse. Esta afirmación quedaba desprovista de fundamento por la revelación terrestre de la Luna, que, sin embargo, se movía.

6.2.3. *El debate entre Descartes y More*

El debate entre Descartes y More nos permitir exponer las tesis cosmológicas iniciales de ambos y el desplazamiento hacia posiciones infinitistas de Descartes forzado por las precisiones de More. Nos habilitará también para captar mejor las ideas discutidas años más tarde por Leibniz y Clarke.

El mundo cartesiano es el espacio geométrico de Euclides materializado, sin lugar para el vacío y sin límites en su extensión. No llega a afirmar su infinitud. En este punto adopta una posición muy semejante a la de Nicolás de Cusa, reservando la infinitud actual para Dios. Durante su intercambio de correspondencia con More, se desplaza desde el reconocimiento de que el Universo podría tener límites, pero que en todo caso éstos nos son desconocidos, hasta la tesis más radical de que el Universo, en efecto, no tiene límites. Es ilimitado, pero no infinito. Esta distinción se perfila a lo largo del debate como muy afín a la aristotélica entre infinito en potencia e infinito en acto. De este modo, de paso, se evita la objeción keplerriana que apunta el absurdo de una distancia actualmente infinita.

El sistema solar, en un Universo de este estilo, no puede ocupar el centro ni lugar especial alguno, por la sencilla razón de que no

tiene sentido hablar de un centro para un Universo ilimitado, como ya hemos visto en Cusa. More, por su parte, apremia a Descartes a que se defina: o el Universo es infinito o bien es finito, pero no se puede dar una tercera opción, la ilimitación o indefinición de la que habla Descartes. More tiende a identificar el espacio con Dios o con alguna propiedad o atributo de Dios, de manera que no tiene problema en asignarle sin más la infinitud. Además, dado que el espacio es distinto de la materia, se puede pensar perfectamente en un espacio vacío (de materia, entiéndase). A partir de este momento veremos que el debate se vuelve abiertamente teológico y se complica con cruzadas acusaciones de ateísmo. En opinión de More, el mundo cartesiano expulsa a Dios de su seno y funciona al margen de la acción divina, no deja lugar ni función para Dios, que pasa a ser un adorno prescindible. Es, por tanto, una cosmología propicia al ateísmo. Descartes, por su parte, podrá acusar a More de materializar a Dios al hacerlo espacial y temporal.

La cosmología de Newton se expondrá a través de las ideas de More y del debate entre Leibniz y Clarke. Téngase en cuenta que dicha cosmología debe mucho a las enseñanzas de More (aunque Newton nunca reconoce la deuda) y que Clarke puede ser considerado como un portavoz del propio Newton. Aquí tendremos que hacer ver, por tanto, cómo las ideas de More fueron recogidas por Newton y cómo influyeron en su noción del espacio y el tiempo absolutos como sensorios de Dios. Para completar el relato de la cosmología propiamente newtoniana haremos alusión a la función ordenadora de la gravedad, a su conexión supuesta con los designios de Dios y a su concepción corpuscular de la materia y la luz que, junto con el espacio, el tiempo y las fuerzas, habitan el Universo que conocemos. Comentaremos cómo en esta concepción del cosmos se vinculan íntimamente ideas cosmológicas con otras teológicas, metodológicas y epistemológicas.

6.2.4. *La cosmología newtoniana*

En 1679, gracias a una carta de Robert Hooke, Newton conoció un nuevo método para analizar los movimientos planetarios que luego utilizó para resolver el problema de dichos movimientos en

elipses según la ley kepleriana de las áreas. Después puso por escrito sus hallazgos preliminares, pero parece que no desarrolló aún sus ideas hasta las últimas consecuencias. Ni siquiera reconoció públicamente su descubrimiento hasta que Halley lo visitó en agosto de 1684, para consultarle sobre el problema de las fuerzas y las órbitas de los planetas. Entonces Newton escribió un informe completo de sus descubrimientos y, de acuerdo con una sugerencia de Halley, lo registró en la Royal Society, a fin de que se le reconociera como autor de ellos. Sólo en 1685, Newton trascendió su extraordinario descubrimiento al hallar la interacción de las respectivas fuerzas gravitatorias del Sol y de cada planeta y de los planetas entre sí, el paso esencial que le condujo al concepto de gravitación universal.

La síntesis del sistema del mundo, fue formulada por Isaac Newton en sus *Principios matemáticos de filosofía natural* (1687), donde, en los libros I y II expone la nueva mecánica y sus nuevas leyes del movimiento y, en el libro III, la fuerza de la atracción universal de los cuerpos en razón directa de su masa y en razón inversa del cuadrado de su distancia. El Universo se rige uniformemente en todos sus puntos por las mismas leyes: un cuerpo cae sobre la Tierra por la misma razón que un planeta cae sobre el Sol, y para cualquier punto de este Universo, que concibe como un espacio infinito euclidiano, que identifica con el *sensorium Dei*, actúan las mismas fuerzas de inercia y gravedad. La gravedad es una relación entre fenómenos, cuya naturaleza ignora; acerca de ello afirma «hypotheses non fingo». La mecánica newtoniana eliminó del Universo los vórtices de la cosmología de Descartes, pero acentuó aún más el mecanicismo cartesiano. El mundo es una máquina puesta en funcionamiento por Dios y sostenida con su presencia.

6.2.5. *El debate entre Leibniz y Clarke*

La correspondencia entre Leibniz y Clarke quien, según todos los indicios, actuaba como portavoz de Newton, se mueve continuamente entre el terreno de la cosmología y el de la teología. Las acusaciones cruzadas de ateísmo se reeditan con mayor virulencia y las discrepancias entre el racionalismo continental y el newtonianismo británico aparecen aún más evidentes que en el debate anterior.

Presentaremos los argumentos leibnizianos y newtonianos. En esencia, Leibniz trata de establecer que el mundo newtoniano sería la obra de un Dios muy chapucero, que debe intervenir y reconducir su artefacto continuamente; un Dios, por lo demás, excesivamente espacial y temporal, excesivamente caprichoso y exento de obrar bajo el principio de razón suficiente. En la otra orilla de la disputa (y del Canal) el peligro de ateísmo se veía venir por la ociosidad del Dios sabático de Leibniz, artífice de un mundo-reloj perfecto en sus regularidades, guiado por la necesidad natural que puede dar cuenta también de su existencia desde siempre, sin apelación a creador alguno. Los argumentos que se suceden alcanzan un alto grado de sutileza e incluyen cuestiones físicas, metafísicas y teológicas. No podrán ser seguidos en su pormenor. En consecuencia, la polémica sólo será objeto de nuestro interés en la medida en que nos permita poner de manifiesto las diferencias existentes entre las dos cosmologías, y ejemplificar la presencia de implicaciones amplias en la ciencia del momento.

La importante polémica suscitada entre Leibniz y Clarke[26], al que, de hecho, puede considerarse como portavoz de Newton en el enfrentamiento que mantenía dicho autor con Leibniz. Dichos autores, aparte de la controversia que ya se había suscitado entre ellos acerca de la paternidad del cálculo infinitesimal, mantenían una abierta polémica en muchos otros aspectos, tales como: la naturaleza del espacio y del tiempo, la naturaleza de «carácter oculto» que Leibniz atribuye a la noción newtoniana de atracción gravitatoria, y la crítica leibniziana de la noción de espacio «vacío».

Además de estas discrepancias científicas y filosóficas, sus desavenencias se extendían al terreno de la teología natural, ya que Leibniz criticaba a Newton por pensar que este autor consideraba a Dios como corporal al haber declarado que el espacio y el tiempo absolutos son el *sensorium Dei*. Justamente en este terreno de la teología natural se empezó a situar la polémica que enfrentó a Leibniz con Clarke, que defendía la física newtoniana y la química de Boyle, aunque, puesto que la controversia se centraba sobre los as-

26. Existe una edición en castellano de esta polémica: *La polémica Leibniz Clarke*, (edición de Eloy Rada), Taurus, Madrid, 1980; El debate entre Leibniz y Clarke está tratado en profundidad en PÉREZ DE LABORDA, A.: *Leibniz y Newton*, Univ. Pontificia, Salamanca, 1981.

pectos relacionados con la naturaleza del espacio, el tiempo, la atracción gravitatoria y el vacío, el interés de la polémica deja de ser fundamentalmente teológico para convertirse en metafísico y científico y situarse en el terreno de la fundamentación de la física. Esta polémica se concretó en diez cartas intercambiadas por estos autores entre 1715 y 1716, año de la muerte de Leibniz, que no pudo responder a la última misiva de Clarke, y fueron publicadas por éste un año después de la muerte de aquél.

En esta correspondencia se manifiesta cómo Newton concebía el espacio y el tiempo como absolutos, independientes de los cuerpos, anteriores a ellos, uniformes e infinitos (como si el espacio fuese un infinito número de puntos y el tiempo un infinito número de instantes). Consideraba que los cuerpos están en el espacio y en el tiempo, de forma que el espacio y el tiempo absolutos mismos escapan a la observación. Aunque Newton acepta la validez de esta relatividad galileana (que nos indica que hemos de determinar la posición o el movimiento de un cuerpo respecto de algún punto de referencia que consideremos «fijo»), ello no impide que Newton afirme que el espacio y el tiempo son absolutos e independientes del movimiento de los cuerpos.

Newton también consideraba al espacio y al tiempo absolutos como el *sensorium Dei*, elaborando con ello una analogía entre la forma en que Dios, que es omnipresente y eterno (espacio y tiempo), percibe las cosas en el espacio y el tiempo infinito, con la forma en que el alma percibe las imágenes en el cerebro. Leibniz ataca estas tesis, defendidas por Clarke, en la correspondencia entre estos autores. Respecto de la naturaleza absoluta del espacio y de la relatividad galileana, objetaba que no es posible un sistema de referencia absoluto en el conjunto del Universo. Por otra parte, considera que si el espacio y el tiempo infinitos y absolutos son, como afirma Newton, propiedades de Dios, de ahí se sigue que hay partes y momentos de Dios, ya que si el espacio absoluto e infinito es la omnipresencia de Dios y el tiempo infinito es la eternidad de Dios, entonces, todo cuanto existe en el espacio y en el tiempo existiría en la esencia de la divinidad.

De esta manera, según Leibniz, Newton concibe a Dios como si se tratase de un cuerpo, lo que se acentúa al hablar de un sensorio. Pero, además de las consecuencias teológicas de las afirmaciones

newtonianas defendidas por Clarke, se sigue también que, si existiese el espacio real absoluto (aparte de las relaciones de posición entre las cosas), el mundo, manteniendo las mismas relaciones entre todos los cuerpos que lo forman, podría ocupar un lugar distinto del que ocupa respecto del espacio absoluto, o existir a partir de un momento distinto del que empezó a existir, lo que contradiría el principio de razón suficiente. ¿Qué razón habría para que el mundo estuviera aquí y no allí, si hubiese un espacio infinito absoluto?, es decir, ¿qué razón habría para que todos los cuerpos del mundo, aun si éste fuese también infinito, no estuviesen desplazados respecto de la posición que ahora ocupan en este hipotético espacio absoluto, o respecto del instante presente? Si tal desplazamiento espacial o temporal existiese, no sería observable, ya que nosotros, como observadores, nos desplazaríamos con él.

No se trata de que no sea observado —como decía Clarke— sino que es inobservable y, por tanto, afirma Leibniz, es una afirmación carente de toda justificación. Si alguien hiciese la pregunta, ¿por qué Dios no creó el mundo mil años antes?, perfectamente legítima si se admite la existencia de un tiempo infinito absoluto, no habría respuesta posible, ya que no hay razón suficiente por la cual Dios tuviese que crear el mundo en un instante y no en otro; y ello es así porque, en ausencia de las cosas, los instantes serían indistinguibles y, en virtud del principio de los indiscernibles o ley de Leibniz, se seguiría que, si son indistinguibles, no son distintos, sino el mismo.

La idea de un tiempo infinito compuesto de instantes es, pues, una mera ficción de la imaginación. Ni el espacio ni el tiempo son extrínsecos a las cosas, sino que Leibniz los concibe respectivamente como el orden de coexistencia y el orden de sucesión de los cuerpos. De esta manera, frente a la concepción newtoniana de un espacio y tiempo absolutos, Leibniz defiende un espacio y tiempo relacionales, dependientes de los cuerpos: en ausencia de éstos no existe espacio ni tiempo.

Por otra parte, en esta correspondencia, Leibniz también ataca la noción de «atracción» gravitatoria como un concepto ficticio, como una mera construcción ficticia para explicar un hecho, pero carente de base real, máxime si se concibe esta atracción actuando a distancia y sin ningún medio que permita su acción. Ante la tesis

defendida por Clarke según la cual es el mismo espacio absoluto y «vacío» el medio de la acción de la atracción gravitatoria, Leibniz replica que el «vacío» no puede ser medio de ninguna acción, y que, por tanto, la física newtoniana se apoya en hipótesis inventadas..

Newton mismo tomó nota de estas acusaciones de Leibniz y en la segunda edición de los *Principia* declaró que él no inventaba o construía arbitrariamente hipótesis («hypotheses non fingo»). No obstante, Leibniz afirmaba que las meras construcciones matemáticas y los datos de la experiencia no son suficientes, sino que es preciso recurrir a conceptos metafísicos, ya que la legitimidad de la construcción de hipótesis descansa en la exigencia de que lo real ha de reducirse a la pura racionalidad y, por tanto, ha de derivarse de sus principios (razón suficiente, indiscernibles, contradicción, identidad).

6.3. La física moderna

En este apartado nos dirigiremos a la nueva mecánica creada a partir de las aportaciones de Galileo[27], Descartes, Borelli, Huygens, Hooke o Newton. Mostraremos cómo con ella se resuelve la tensión entre disciplinas científicas generada por una Tierra en movimiento. Y no sólo eso, sino que se unifican en una misma ciencia los dos mundos que habían permanecido escindidos desde la Antigüedad, el sublunar y el supralunar. Antes de entrar en la explicación de la nueva mecánica, será útil recordar brevemente los con-

27. Existen muchas publicaciones sobre Galileo, sobre su obra y también sobre su vida: Banfi, A.: *Vida de Galileo Galilei*, Alianza, Madrid, 1967, Drake, S.: *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983, Fischer, K.: *Galileo Galilei*, Herder, Barcelona, 1986, y Geymonat, L.: *Galileo Galilei*, Península, Barcelona, 1969. En relación a otro de los más importantes protagonistas de la revolución científica, Newton, puede consultarse Westfall, R.S.: *Never at rest. A Biography of Isaac Newton*, C.U.P., Cambridge, 1980, y Manuel, F. E.: *A Portrait of Isaac Newton*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1968; sobre Leibniz, Aiton, E.J.: *Leibniz. Una biografía*, Alianza, Madrid, 1992; sobre Bacon véase Rossi, P.: *Francis Bacon: de la magia a la ciencia*, Alianza, Madrid, 1990, y Farrington, B.: *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial*, Ayuso, Madrid, 1971.

ceptos de la mecánica aristotélica y nominalista ya estudiados en el capítulo 3. También es interesante mostrar de nuevo las causas de la tensión entre astronomía y física: con una Tierra planetaria y la física tradicional se deberían observar efectos que, de hecho, no se observan; luego, o desechamos la nueva astronomía, o construimos una nueva física. Fueron, claro está, los copernicanos quienes, en primer lugar, trabajaron en favor de esta nueva física.

Desarrollaremos el apartado prestando atención a las soluciones a esta tensión ofrecidas por el propio Copérnico y a las teorías magnéticas de Gilbert y Kepler, así como a las intuiciones sobre el *impetus* de G. Bruno, que presagian la posibilidad de acciones a distancia. Agruparemos estas primeras aproximaciones al problema en un único subapartado (el 6.3.1.). Atenderemos después a la dinámica galileana, que consigue describir correctamente la caída de graves o el movimiento de proyectiles (6.3.2.), a las ideas mecanicistas cartesianas, contrarias a toda acción a distancia (6.3.3.), a los avances producidos en la tradición cartesiana y galileana, con físicos como Borelli, Huygens o Hooke (6.3.4.), y finalmente a la síntesis creativa realizada por Newton en sus *Principia* (6.3.5.).

Después de la relegación al olvido del atomismo de Demócrito y Epicuro por la física aristotélica de las cuatro causas, habrá que esperar hasta el s. XVII para su revitalización. Algunos autores anteriores, como Giordano Bruno o Nicolás de Cusa (*De minimo*) hacen mención de la teoría atómica, pero solamente de pasada, sin utilizar tal teoría de manera sistemática. Pierre Gassendi (1592-1655) renovó el atomismo epicureísta, aunque aderezado con componentes que lo hicieran compatibles con el cristianismo: los átomos estarían creados por Dios y el azar desaparecería, supeditándose todo a la divina providencia. Según Gassendi, la nueva física mecanicista se compaginaba mejor con una teoría corpuscular (atomista) del Universo, aunque Descartes concebía más bien un mecanicismo no atomista e incluso declaraba la imposibilidad del atomismo.

El argumento cartesiano era el siguiente: si la realidad estuviese compuesta por átomos, entonces éstos deberían poseer extensión, razón por la cual, por pequeños que fuesen, serían divisibles, al menos mentalmente y, consiguientemente, no serían átomos. Ante ello, Leibniz consideró la posibilidad de átomos no físicos:

las mónadas. La distinción tan característica de los sistemas filosóficos de esta época, entre cualidades primarias y secundarias, encuentra una buena fundamentación en la teoría corpuscular y atómica: las cualidades primarias serían las propias de los átomos, sólidos, duros e impenetrables, mientras que las secundarias serían debidas a la manera de afectarnos dichos átomos. Entre los científicos atomistas de los siglos XVII y XVIII cabe mencionar a Boyle, Huygens y Newton, quien en la *Óptica* declara abiertamente su atomismo. Pero en ningún momento se llegó, antes del s. XIX, a la formulación de una teoría empíricamente comprobada, que nacerá a partir de la ley química de las proporciones múltiples elaborada por John Dalton.

6.3.1. *Comunidad de naturaleza, magnetismo,* impetus

Este subapartado recoge aportaciones heterogéneas a nuestra historia; todas ellas, en nuestra opinión, merecen ser mencionadas, pero no podemos dedicar especial atención a ninguna en particular. La salida más adecuada puede ser bosquejar un repaso sumario a las primeras tentativas de solución al problema físico de una Tierra en movimiento.

Nos referiremos a las ideas expresadas por Copérnico en el libro I de su *De revolutionibus...*, señalando su afinidad con soluciones ya propuestas en la Antigüedad (recuérdense algunos pasajes de Plutarco) y su continuidad con el esquema tradicional. La clave de la explicación copernicana de los movimientos en la Tierra reside en su noción de *comunidad de naturaleza*, es decir, en la homogeneidad entre la materia terrestre y la celeste y entre sus propiedades

Nos ocuparemos, ahora, del interés manifestado por Kepler en dar una explicación física de los movimientos planetarios, y no sólo una descripción geométrica adecuada. Es más, difícilmente se puede entender cómo llegó Kepler a su brillante solución de las órbitas planetarias si no se tiene en mente su intención de explicar además la causa física de este movimiento.

Kepler comprende que las tendencias naturales, hacia puntos concretos en el espacio, deben ser sustituidas por fuerzas de atrac-

ción generadas por los cuerpos. Pero Kepler sigue entendiendo la inercia como la tendencia a no moverse, la pereza de los cuerpos que sólo puede ser vencida por la acción de fuerzas. Dispone de tres clases de fuerzas distintas a la hora de explicar por qué los planetas se mueven en contra de la natural tendencia a la quietud: la fuerza motriz que emana del Sol en forma de nervios o cadenas y que hace girar los astros, pues les comunica la rotación del propio Sol sobre sí mismo; una fuerza de carácter magnético que mantiene al astro en su trayectoria elíptica; y una fuerza de gravedad al estilo de la copernicana, es decir, que liga cuerpos de la misma naturaleza.

Hemos visto que, según Kepler, en los estudios sobre el magnetismo (una de las tres fuerzas mencionadas) podía atisbarse la solución a su problema de las trayectorias planetarias. Puesto que la Tierra ya había sido considerada por Gilbert como un gran imán, tal vez lo fuese también el Sol y las influencias magnéticas pudiesen dar cuenta de la marcha de los planetas. La influencia de la obra de Gilbert sobre magnetismo fue notable y merece ser apuntada.

Por último, es digno también de mención en este contexto Giordano Bruno, quien aboga por la utilización del concepto de *impetus*. Incluso recupera el modelo, sobre el que habían trabajado ya los nominalistas de París, de la Tierra como un barco en movimiento, donde los objetos caen acompañando al barco en su desplazamiento, es decir, siguiendo la línea del mástil.

6.3.2. *El estudio del movimiento en Galileo*

Pueden ser pertinentes en este momento algunas breves observaciones de carácter metodológico sobre los aspectos empíricos y racionales del hacer galileano. Al menos, se debe ponderar el gran trabajo de abstracción y construcción conceptual que está detrás de la matematización del más sencillo de los movimientos. La génesis (desde 1604) de la teoría galileana del movimiento desborda la finalidad de estas páginas. Más que en una exposición de sus doctrinas, nuestro interés se centra en la hipotética relación de su obra con la revolución de la física.

En 1638 Galileo[28] hace publicar en Holanda (a fin de evitar la censura papal) sus *Consideraciones y demostraciones sobre dos nuevas ciencias*. Este es uno de los textos más importantes en la historia de la ciencia. Las dos nuevas ciencias de que habla Galileo son la estética, básicamente la de Arquímedes, y la dinámica creada por el propio Galileo. Hay que señalar que tal dinámica es un intento de descripción matemática de las trayectorias y velocidades de los móviles. No se hace alusión a las causas de tales movimientos que habían sido el objetivo de la física aristotélica. Si bien se puede entender que, para un platónico, la detección de las regularidades matemáticas podía ser considerada como algo más que una simple descripción: era ya una explicación.

Seguiremos en la exposición el orden adoptado por el mismo Galileo, a saber: en primer lugar nos referiremos al estudio del movimiento uniforme; en segundo término, al del movimiento en caída libre; y, en tercer lugar, al estudio del movimiento de los proyectiles. Se incluirá una referencia a la utilización de un principio de inercia rectilínea nunca formulado, pues Galileo siguió teniendo por inercial el movimiento circular. Es interesante conectar este punto con la cuestión cosmológica de la infinitud del mundo.

Lo primero que hace Galileo es dar una definición, para cada tipo de movimiento, expresable matemáticamente, para añadir a esa definición un conjunto de axiomas. Así, movimiento uniforme será: «(...) aquel en el cual los espacios recorridos por un móvil en tiempos iguales, cualesquiera que sean éstos, son iguales entre sí»[29]. Llamaremos velocidad (v) a esta constante:

$$e = vt;\ v = e / t$$

La matematización de un movimiento tan sencillo como es el uniforme implica, en realidad, un esfuerzo profundo de abstracción

28. Los relatos sobre Galileo son casi un subgénero dentro de la historia de la ciencia y, claro está, existen tantas versiones como historiadores. Es evidente que no podemos hacer justicia a todas ellas, pero un buen paliativo puede ser recomendar la lectura del artículo de I. Stengers «Episodios galileanos», donde, a la par que se cuenta la historia, se repasan las versiones historiográficas más influyentes.

29. Galilei, G.: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid, 1976, p. 266.

e idealización matemáticas, con dos fases: a) se desechan, en primer lugar, todas aquellas cualidades no matematizables, considerándolas secundarias y puramente subjetivas; b) se afirman los derechos del símbolo (álgebra) sobre la imagen pura geométrica. La mente interpola y extrapola los datos interpretados geométricamente.

Sobre el movimiento en caída libre, ésta es la percepción de Galileo, recogida en la misma obra:

> «Cuando observo, por tanto, una piedra que cae desde cierta altura, partiendo de una situación de reposo, que va adquiriendo poco a poco, cada vez más velocidad, ¿por qué no he de creer que tales aumentos de velocidad no tengan lugar según la más simple y evidente proporción? Ahora bien, si observamos con cierta atención el problema, no encontraremos ningún aumento o adición más simple que aquel que va aumentando siempre de la misma manera. Esto lo entenderemos fácilmente si consideramos la relación tan estrecha que se da entre tiempo y movimiento: del mismo modo que la igualdad y uniformidad del movimiento se define y se concibe sobre la base de la igualdad de los tiempos y de los espacios (en efecto, llamamos movimiento uniforme al movimiento que en tiempos iguales recorre espacios iguales), así también, mediante una subdivisión uniforme del tiempo, podemos imaginarnos que los aumentos de velocidad tengan lugar con la misma simplicidad. Podremos hacer esto en cuanto determinemos teóricamente que un movimiento es uniforme y, del mismo modo, continuamente acelerado, cuando, en tiempos iguales, se los tome de la forma que se quiera, adquiera incrementos iguales de velocidad» [30].

Considérese la peculiar forma en que Galileo conceptualiza el movimiento uniformemente acelerado, relacionándolo, no con el espacio recorrido, sino con el tiempo. De nuevo, aquí, es la razón la que dicta la esencia del movimiento, y no los sentidos. Si pasamos a notación matemática las definiciones presentes en el texto, tenemos:

$$a = (v - v_0) / t;$$

De donde, se obtiene que $v = v_0 + at$; y, para la caída desde el reposo: $v = at$. A pesar de la imposibilidad de verificación directa

30. Ibídem, pp. 276-277.

de esta última fórmula, Galileo sabe que es correcta y que describe la esencia del movimiento en caída libre.

Al hablar del nuevo método experimental, ha sido frecuente afirmar que Galileo, dejando caer cuerpos tanto ligeros como pesados desde la torre de Pisa, demostró la ley física de que todos los cuerpos caen con la misma aceleración. Pero, como demostró convincentemente el humanista L. Cooper[31], quien consideró sospechosa esa venerada historia después de haber encontrado detalles claramente contradictorios en los relatos que los físicos hacían de ella, Galileo nunca arrojó cuerpos ni desde su propio tejado ni, por supuesto, desde la Torre de Pisa. El experimento lo hizo Simon Stevin desde el famoso campanario de la Catedral de Brujas, en Bélgica. Stevin realizó numerosos experimentos de entre los que caben destacar los recogidos en el volumen *The Art of War*[32].

Además, sería inútil lanzar graves desde edificios y torres, dada la brevedad del tiempo que se invierte en el recorrido, no superior a unos pocos segundos. Por tanto, fueron pruebas estrictamente racionales las que convencieron a Galileo de que la velocidad no está en proporción con el peso, sino que sería la misma para todo cuerpo, si se pudiera realizar el experimento en el vacío. La prueba indirecta de la aceleración da idea del genio de Galileo.

En el caso del movimiento de los proyectiles, el pisano fue el primero que dio una descripción moderna y cuantitativa de éste, observando la validez de considerar las componentes horizontal y vertical del movimiento de proyectiles como movimientos independientes. Galileo escribió:

> «Imaginémonos un móvil proyectado sobre un plano horizontal del que se ha quitado el más mínimo roce; sabemos ya que, en tal caso, y según lo que hemos expuesto detenidamente en otro lugar, dicho movimiento se desenvolverá sobre tal plano con un movimiento uniforme y perpetuo, en el supuesto de que este plano se prolongue hasta el infinito. Si, por el contrario, nos imaginamos un plano limitado y en declive, el móvil, que suponemos dotado de gravedad, una

31. Cf. COOPER, L.: *Galileo and the Tower of Pisa*, Itaca, Cornell University Press, New York, 1935.

32. Vol. IV de *The Principal Works of Simon Stevin*, Swets, Amsterdam, 1955-1956.

vez que ha llegado al extremo del plano y continúe su marcha, añadirá al movimiento precedente, uniforme e inagotable, esa tendencia hacia abajo, debida a su propia gravedad. Nace de aquí un movimiento compuesto de un movimiento horizontal uniforme más un movimiento descendente naturalmente acelerado. Pues bien, a este tipo de movimiento lo llamo *proyección*»[33].

Galileo está tratando, pues, de la composición de dos movimientos: uno, natural (el de caída) otro, violento (el horizontal de la trayectoria primera del proyectil). No nos interesa desarrollar aquí el aspecto matemático de la teoría. Es bien sabido que el espacio recorrido equivaldrá a la diagonal del paralelogramo de fuerzas (gravedad y empuje). Por el teorema de Pitágoras, tenemos:

$$e = \sqrt{x^2 + y^2}$$

siendo x la componente horizontal, e y la vertical del movimiento. Sin embargo, Galileo se vio incapacitado de aceptar la ley de la inercia por su defensa de la perfección del movimiento circular frente al rectilíneo, producido siempre, si sigue la horizontal, violentamente. No obstante, estas hipótesis de tipo metafísico no impedirán a Galileo la formulación exacta del movimiento de los proyectiles, a pesar de dejar en la penumbra la razón de este movimiento. Tampoco debe olvidarse que Galileo, que tanto insistió en la matematización, no fue un creador en matemáticas. Descartes y Newton sí lo fueron. Por eso llegaron más lejos.

6.3.3. *El mecanicismo de Descartes*

Según el planteamiento cartesiano, en el mundo físico no hay más que materia y movimiento. La geometrización de la realidad se cumple hasta el extremo, ya que la materia misma es mera extensión. La negación de la acción a distancia y el principio de inercia son corolarios evidentes. Todos los movimientos que observamos se producen de modo mecánico por el contacto entre el motor y el móvil. Lo que a simple vista pudiera parecer acción a distancia no es sino el movimiento transmitido a través de la materia sutil que

33. Ibídem, p. 384.

llena el mundo. No hay, pues, vacío posible. La materia cartesiana es puramente pasiva, inerte, pero inerte en el sentido moderno de la palabra. La inercia de la que habla Descartes no es ya la resistencia al movimiento, sino la resistencia al cambio de estado, de movimiento a reposo o viceversa y la resistencia al cambio de dirección, sentido o velocidad en las trayectorias de los móviles.

Si la materia es pasiva y, sin embargo, vence la inercia, hay que pensar que Dios comunicó al mundo una cierta cantidad de movimiento, cantidad que, según establece Descartes, se conserva. Como el mundo está lleno de materia, ese movimiento acaba formando grandes torbellinos como los que arrastran a los planetas en torno al Sol, o como los que llevan los graves hacia el centro de la Tierra o a los trozos de hierro hacia el imán. Los movimientos de los planetas se intentan explicar mediante vórtices o torbellinos de materia que rompen con la tendencia inercial al desplazamiento rectilíneo y las trayectorias peculiares de los móviles que acompañan a la Tierra en su desplazamiento, también mediante el recurso a los mencionados torbellinos. Dado que todo ello deriva de las leyes del impacto dependientes de los principios generales del movimiento, todos los procesos naturales son de carácter matemático, con lo que el físico y el geómetra han de ser una misma persona.

Hay que hacer constar que, si bien la física cartesiana no logró ningún éxito en el plano cuantitativo, sin embargo, sí tuvo una enorme influencia en el continente, pues generó explicaciones cualitativas convincentes de infinidad de fenómenos. Resistió durante un tiempo la invasión de la física newtoniana y contribuyó a configurar la mentalidad mecanicista, asociada durante mucho tiempo a la ciencia.

6.3.4. *Las aportaciones de Borelli, Huygens y Hooke*

Los precitados autores tuvieron la virtualidad de evolucionar desde el mecanicismo cartesiano y de las ya asumidas aportaciones de Kepler y Galileo, hasta las puertas de la formulación newtoniana de las leyes del movimiento y de la gravitación universal.

Nos referimos a la aportación del italiano Giovanni Alfonso Borelli, según el cual los planetas, al girar, saldrían disparados de su

órbita a no ser que el Sol ejerciese sobre ellos una fuerza de atracción que compensase exactamente la fuerza centrífuga. Esta afirmación depende, claro está, de un principio de inercia rectilínea.

La matemática de las fuerzas centrífugas fue desarrollada por Christian Huygens —siguiente estación en nuestra historia— quien también aceptaba la inercia rectilínea. Estima el movimiento planetario como generado por dos fuerzas, una centrífuga y otra centrípeta gravitacional que evita la fuga. La influencia de Descartes se deja ver también en la obra de Huygens, quien, a la hora de explicar la fuerza centrípeta, opta por los torbellinos de Descartes, frente a las fuerzas no mecánicas de las que hablaba Kepler. Introduce, no obstante, modificaciones en las doctrinas cartesianas hasta aceptar la existencia del vacío.

En Inglaterra, más ajena a la influencia cartesiana, sucede el resto de nuestra historia. Tendremos que mencionar los avances de Robert Hooke hacia una teoría de la gravitación universal. Hooke fue el primero en concebir el movimiento planetario como un movimiento inercial modificado por una fuerza de atracción universal y variable según la distancia entre los cuerpos, pero no consiguió formular la ley de tal variación. A tal efecto, recabó la colaboración de Newton, quien acabó por hallar la matemática de dicha fuerza.

6.3.5. *Los* Principia *de Newton*

Newton[34] es una personalidad extraordinaria por sus contribuciones fundamentales a distintas disciplinas: matemática pura y

34. Isaac Newton (Woolsthorpe, Lincolnshire, 1642-Londres, 1727). Muerto su padre antes de su nacimiento, su madre casó en segundas nupcias con un reverendo, poco apreciado por Newton, pero que le dejaría una sustanciosa herencia. En 1661 fue admitido en Cambridge, donde estudió filosofía y, por su cuenta, leyes experimentales de la naturaleza. A esta época pertenece la famosa anécdota de la caída de la manzana, relacionada con su posterior descubrimiento de la ley de la gravedad. Isaac Newton llevó a cabo sus estudios en el Trinity College de Cambridge, bajo la dirección de J. Barrow, insigne matemático que, después de que su genial alumno descubriese las leyes de la gravitación universal —1667— le cedió espontáneamente su cátedra. Por entonces, realizó el importante descubrimiento de la fórmula para el desarrollo de la potencia de un binomio. Los descubrimien-

aplicada, óptica y teoría del calor y de la luz, diseño de instrumentos científicos, codificación de la dinámica y formulación de los conceptos básicos del tema, invención del concepto de masa (concepto esencial de la física), descubrimiento de la ley de la gravitación universal y elaboración de un nuevo sistema sobre esa base, formulación de la teoría gravitacional de las mareas. Las contribuciones de Newton cubrieron, pues, una gama muy amplia de fenómenos naturales. A partir de 1665, cuando sólo tenía 23 años, Newton desarrolló los principios de la mecánica, formuló la ley de la gravitación universal, separó la luz blanca en sus colores constituyentes e inventó el cálculo diferencial e integral. Demostró que tan-

tos matemáticos no parecían tener interés en sí mismos para Newton (por ejemplo, no publicó hasta 1771 sus importantes estudios sobre las series infinitas), sino como herramienta para el conocimiento de la Naturaleza; en sus clases prefirió hablar de óptica. En 1671, se convirtió en miembro de la Royal Society, de la que llegó a ser presidente en 1703. Esta institución lo había aceptado como miembro debido a su formulación sobre el carácter compuesto de la luz, que él demostró mediante la descomposición en colores de un rayo de luz que atraviesa un prisma óptico. Esta teoría le dio celebridad y lo envolvió también en agrias polémicas, sobre todo con el físico Robert Hooke, que retrasaron la publicación de su *Optica* (1704). Newton volvió a refugiarse en la soledad de sus estudios de alquimia y en la Biblia: quería demostrar que Dios está en la Naturaleza, que ésta no era sólo materia y movimiento como querían los cartesianos. Alrededor de 1680, al recuperarse el interés por los temas astronómicos y al abrirse camino en los ambientes científicos la idea de la gravitación, Newton volvió a referirse a dichos temas. Por otra parte, animado por Edmond Halley, revisó y publicó, en 1687 los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. (Los principios matemáticos de la filosofía natural). La obra, cuyo presupuesto metodológico consiste en la reducción de los fenómenos del movimiento a datos cuantitativos y mensurables, tomó como punto de partida una exposición de las nociones fundamentales de la mecánica racional (masa, cantidad de movimiento, inercia, fuerza aplicada, fuerza centrípeta, tiempo y espacio absolutos y relativos), y elaboró —basándose en estas nociones— los «axiomas o leyes del movimiento», que ya habían formulado asimismo Galileo y Descartes (principio de inercia, principio de composición de las fuerzas, principio de igualdad entre acción y reacción). En 1703, al morir Hooke, Newton fue nombrado presidente de la Royal Society y, desde ese cargo, ejerció hasta su muerte una auténtica «dictadura cultural» sobre el mundo científico británico. En 1704 pudo finalmente publicar su *Óptica*. Durante los últimos años de su vida, Newton estuvo en el centro de diversas controversias, entre las cuales hay que mencionar la que mantuvo con Leibniz acerca de la prioridad en el descubrimiento del cálculo infinitesimal.

to las leyes de Kepler sobre el movimiento planetario como los descubrimientos de Galileo sobre la caída de los cuerpos se deducen de la segunda ley del movimiento (segunda ley de Newton) combinada con la ley de la gravitación. Newton también logró explicar el efecto de la Luna sobre las mareas, así como la precesión de los equinoccios. También efectuó estudios sobre el calor, la teoría de la materia, la alquimia, la cronología, la interpretación de las Sagradas Escrituras y otros temas. La magnitud de sus inquietudes intelectuales causa asombro.

La contribución newtoniana en matemáticas tuvo dos aspectos: la invención del cálculo infinitesimal (honor que comparte con Leibniz) y la aplicación de la matemática a la física y a la astronomía. Desde luego que tuvo grandes precursores en el arte de desarrollar la filosofía natural mediante principios matemáticos: Stevin, Galileo, Kepler, Wallis, Hooke, Huygens. En este sentido, su física no fue una creación absolutamente nueva, sino la culminación de un esfuerzo realizado por muchos autores que se remonta a los albores de la revolución científica. Sin embargo, la comparación más superficial de los *Principia* con la *Astronomía Nova* de Kepler, las *Dos nuevas ciencias* de Galileo, la *Mecánica* de Wallis, las obras de Huygens sobre el reloj de péndulo, etc., muestra una diferencia de varios órdenes de magnitud en cuanto a profundidad, envergadura y técnica[35].

Desde el punto de vista filosófico, hay que subrayar ante todo la diversidad de procedencias de los elementos que componen la cultura newtoniana: la metafísica racionalista, la concepción atomista antigua y moderna, pero también el platonismo cristiano, la tradición hermética y la alquímica. Sin embargo, resulta especialmente importante su definición del método científico: reiterando en ciertos aspectos el «enlace» establecido por Galileo entre inducción y deducción, dicho método consiste en una especie de síntesis entre indagación experimental, por una parte, considerada como la base de la investigación, y razonamiento matemático, por otra. No obstante, a diferencia de Galileo, las matemáticas no son consideradas como algo que refleja la esencia última de lo real, sino como

35. COHEN, I.B.: *Revolución en la ciencia*, Gedisa, Barcelona, 1989, p. 151; ed. or.: Harvard Univ. Press.

un «instrumento», un «lenguaje», lo cual permite extraer de los fenómenos las leyes que los regulan.

Además de los antecedentes ya señalados habrá que apuntar la influencia sobre Newton de los neoplatónicos de Cambridge, que se oponían a los puntos de vista cartesianos postulando la intervención continua de Dios sobre la materia para dar cuenta del movimiento. La noción newtoniana de *gravedad* no hubiera podido fraguarse dentro de la ortodoxia mecanicista que negaba la acción a distancia. Por supuesto, se puede intentar una explicación mecanicista de la gravedad, pero este camino, tras muchos esfuerzos, fue abandonado por Newton, que parece ser que la concibió, más bien, como una manifestación de la acción directa de Dios sobre el mundo.

Los *Principia* constituyen un libro extraordinario en varios niveles. En primer lugar, presenta resultados originales en matemática pura (teoría de límites y geometría de las secciones cónicas), desarrolla los conceptos fundamentales de la dinámica (masa, momento, fuerza), formula sus leyes principales (las tres leyes del movimiento) y demuestra la importancia dinámica de las tres leyes del movimiento planetario de Kepler y la conclusión experimental de Galileo de que dos cuerpos de peso desigual caerán en caída libre (en el mismo lugar de la Tierra) con aceleraciones y velocidades idénticas. Desarrolla las leyes del movimiento curvilíneo, el estudio del péndulo y la naturaleza de los movimientos en una superficie y demuestra cómo tratar el movimiento de partículas en campos de fuerza continuamente variables. También indica la manera de analizar el movimiento ondulatorio y estudia los movimientos de los cuerpos en medios resistentes. En el libro tercero, expone su sistema del Universo, regulado por la acción de una fuerza general —la gravedad— una de sus consecuencias es el familiar peso terrestre. Buena parte de la obra trata de las órbitas de los planetas y sus satélites, los movimientos y trayectorias de los cometas y las mareas oceánicas. En 1713, con la publicación de la segunda edición de su obra, Newton añadirá el *Escolio general*, en el cual se referirá nuevamente a las cuestiones de método y —en particular— revelará los sólidos componentes religiosos de su pensamiento.

La complejidad matemática de los *Principia* es considerable. No es, pues, en absoluto factible una aproximación a sus recursos técnicos, demostraciones y aplicaciones dentro de una obra como la

presente. De modo que nuestro objetivo en este punto será que el lector conozca los enunciados de las definiciones, de las tres leyes del movimiento y de la ley de gravitación universal y comprenda conceptualmente el contenido de las mismas y la enorme importancia que han tenido en el desarrollo posterior de la ciencia. Los *Principia* de Newton comienzan con un conjunto de «definiciones» seguido de «axiomas o leyes del movimiento», de las cuales las dos primeras corresponden aproximadamente a las dos primeras leyes de la naturaleza de Descartes. Aparentemente, Newton transformó las *regulae quaedam sive leges naturae* cartesianas en sus *axiomata sive leges motus*. Redujo el sistema de la mecánica racional a tres axiomas o leyes del movimiento:

a) La primera de ellas afirma que un cuerpo permanece en reposo o estado de movimiento rectilíneo y uniforme siempre y cuando no actúe sobre él fuerza alguna. Obsérvese que la fuerza ha de ser externa. En general, un cuerpo no ejerce una fuerza sobre sí mismo. La tendencia de un cuerpo a mantenerse en reposo o en movimiento a velocidad constante se llama *inercia*. La inercia está relacionada con la masa, que es la cantidad de materia de un cuerpo. La unidad de masa es el kilogramo.

b) La segunda ley de Newton afirma que la fuerza resultante ejercida sobre un cuerpo es directamente proporcional a la aceleración producida por la fuerza. La unidad de fuerza es el newton, que se define como la fuerza que, actuando sobre un cuerpo de 1 kg de masa, produce una aceleración de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. La masa de un cuerpo se confunde a menudo con su peso. La masa es la cantidad de materia de un cuerpo, mientras que el peso es la fuerza de gravedad que actúa sobre el cuerpo, y varía con su ubicación. Así, un cuerpo tendrá la misma masa en la Luna que en la Tierra, pero su peso en la Luna será menor que en la Tierra, pues la fuerza de gravedad en la Luna es aproximadamente un sexto que en la Tierra.

Esta segunda ley postula que la variación de la «cantidad de movimiento» de un cuerpo (lo que ahora se llama *momento*, esto es, el producto de la masa por la velocidad) es proporcional a la fuerza que actúa sobre él. Por lo tanto, la variación de la cantidad de movimiento puede deberse, bien a una variación de la masa, bien, a la de la velocidad o a la de ambas a la vez. Sin embargo, cuando la masa es una propiedad intrínseca e invariable del objeto, resulta

que dicha modificación es resultado de la variación de la velocidad, es decir, la aceleración, con lo que la formulación de la segunda ley de Newton se reduce a la famosa expresión de $F = m \cdot a$, donde «F» es la fuerza, «m» la masa del objeto y «a» la aceleración que experimenta por la acción de la fuerza. Dado que «a» tiene carácter vectorial y «m» es un escalar, la fuerza debe tener forzosamente carácter vectorial.

c) Finalmente, la tercera ley de Newton (o principio de acción y reacción) afirma que si un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro (acción), éste ejerce a su vez la misma fuerza, pero de sentido contrario (reacción), sobre el primero. En otras plabras: no puede existir por sí misma una sola fuerza aislada, sino que existe siempre una fuerza simétrica resultante. Un ejemplo de este principio son los cohetes, cuyos potentes motores queman el combustible y los expulsan por las toberas a gran velocidad hacia el exterior. Esto da lugar a un empuje (acción) que produce una reacción (fuerza igual pero de sentido contrario) que hace que el cohete avance. Cuando dicha reacción supera la fuerza de atracción de la Tierra sobre él, el cohete inicia el vuelo. El *principio de conservación del momento,* que se sigue de esta tercera ley, afirma que, cuando dos cuerpos interactúan, el momento total antes del impacto es el mismo que el momento total después del impacto. Así, el total de los componentes del momento en cualquier dirección, antes y después de la interacción, son iguales.

El posterior desarrollo de la física debe mucho a las leyes del movimiento o leyes de Newton especialmente a la segunda, que afirma que la fuerza necesaria para acelerar un objeto es igual a su masa multiplicada por su aceleración. Si se conocen la posición y velocidad iniciales de un cuerpo, así como la fuerza aplicada, es posible calcular las posiciones y velocidades posteriores aunque la fuerza cambie con el tiempo o la posición; en esos casos es necesario aplicar el cálculo infinitesimal de Newton. La segunda ley del movimiento también contiene otro aspecto importante: todos los cuerpos tienen una propiedad intrínseca, su masa inercial, que influye en su movimiento. Cuanto mayor es esa masa, menor es la aceleración que adquiere cuando se aplica una fuerza determinada sobre el cuerpo. Hoy sabemos que esta ley es válida siempre que el cuerpo no sea extremadamente pequeño, grande o rápido. La tercera ley de Newton, que afirma que «a cada fuerza de acción corres-

ponde una fuerza de reacción igual y opuesta», podría expresarse en términos modernos como que todas las fuerzas entre partículas se producen en pares de sentido opuesto, aunque no necesariamente situados a lo largo de la línea que une las partículas.

Más adelante, Newton pasa a un tratamiento general de las leyes de la dinámica y, finalmente, en su último libro, después de una sección de carácter metodológico titulada *Regulae philosophandi*, a la presentación del «sistema del mundo». La contribución más específica de Newton a la descripción de las fuerzas de la naturaleza fue la explicación de la fuerza de la gravedad. Newton afirmó que toda partícula del Universo atrae a toda otra partícula con una fuerza que es directamente proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de su distancia. La constante de proporcionalidad se representa por G y se conoce como la *constante de la gravedad*. Dentro del esquema propio de la ley de la gravitación, que se configura como ley suprema del Universo, Newton está en condiciones de estructurar y explicar una serie muy amplia de fenómenos, otorgando carácter unitario y coherencia al sistema copernicano y logrando también resolver gran cantidad de cuestiones físicas y astronómicas hasta entonces sin respuesta adecuada (como, por ejemplo, la explicación del fenómeno de los cometas y la teoría de las mareas).

En la actualidad, los científicos saben que sólo hay otras tres fuerzas, además de la gravedad, que originan todas las propiedades y actividades observadas en el Universo: el electromagnetismo, la llamada *interacción nuclear fuerte* (que mantiene unidos los protones y neutrones en los núcleos atómicos) y la *interacción nuclear débil* (o interacción débil) entre algunas de las partículas elementales, que explica el fenómeno de la radiactividad. La comprensión del concepto de fuerza se remonta a la ley de la gravitación universal. La fuerza gravitatoria rige el movimiento de los planetas alrededor del Sol y de los objetos en el campo gravitatorio terrestre; también es responsable del colapso gravitacional que, según se cree, constituye el estado final del ciclo vital de las estrellas masivas y es la causa de muchos fenómenos astrofísicos.

Una de las observaciones más importantes de la física es que la masa gravitacional de un cuerpo (que es el origen de la fuerza gravitatoria que existe entre el cuerpo y otros cuerpos) es igual a su

masa inercial, la propiedad que determina el movimiento del cuerpo en respuesta a cualquier fuerza ejercida sobre él. Esta equivalencia, confirmada experimentalmente con gran precisión (se ha demostrado que, en caso de existir alguna diferencia entre ambas masas, es menor de 10^{12}), lleva implícito el principio de proporcionalidad: cuando un cuerpo tiene una masa gravitacional dos veces mayor que otro, su masa inercial también es dos veces mayor. Esto explica la observación de Galileo —realizada con anterioridad a la formulación de las leyes de Newton— de que todos los cuerpos caen con la misma aceleración independientemente de su masa: aunque los cuerpos más pesados experimentan una fuerza gravitatoria mayor, su mayor masa inercial disminuye en un factor igual a la aceleración por unidad de fuerza, por lo que la aceleración total es la misma que en un cuerpo más ligero. Sin embargo, el significado pleno de esta equivalencia entre las masas gravitacional e inercial no se apreció hasta que Albert Einstein enunció la teoría de la relatividad general. Einstein se dio cuenta de que esta equivalencia tenía una implicación adicional: la equivalencia de un campo gravitatorio y un sistema de referencia acelerado.

A pesar de su importancia macroscópica, la fuerza de la gravedad es tan débil que un cuerpo tiene que poseer una masa enorme para que su influencia sobre otro cuerpo resulte apreciable. Por eso, la ley de la gravitación universal se dedujo de las observaciones del movimiento de los planetas mucho antes de que pudiera comprobarse de forma experimental. Esto sucedió en 1771, cuando el físico y químico británico Henry Cavendish confirmó la ley utilizando grandes esferas de plomo para atraer pequeñas masas unidas a un péndulo de torsión. A partir de esas medidas, Cavendish también dedujo la masa y la densidad de la Tierra.

Bernard Cohen, de la Universidad de Harvard, uno de los mejores especialistas en Newton, sostiene que lo característico de la revolución newtoniana es lo que él denomina «estilo de Newton». La idea fundamental es que se establece una jerarquía entre los diversos aspectos de los problemas, lo cual permite estudiarlos por separado: por una parte, los aspectos matemáticos; por otra, la aplicación de las matemáticas a los fenómenos reales; por fin, el estudio de las causas de los fenómenos. Por tanto, se distinguen tres fases que se refieren a problemas relacionados entre sí, pero que pueden estudiarse con cierta independencia. En primer lugar, se

construye un sistema idealizado que puede someterse a tratamiento matemático, y se efectúan las demostraciones correspondientes. En segundo lugar, y tomando como base los resultados de la primera fase, se estudia cómo corresponden las construcciones teóricas con los resultados experimentales. En tercer lugar, se determinan las causas de los fenómenos considerados.

El sistema idealizado que se construye es un modelo que se refiere a la realidad, pero no es una simple fotografía de ella. Se aíslan algunos aspectos dejando otros fuera de consideración, y se construyen conceptos teóricos. En la mecánica de Newton, el sistema ideal está formado por puntos dotados de masa y sometidos a fuerzas. El Sol, la Tierra, la Luna y las piedras quedan despojados de sus cualidades habituales y pasan a ser puntos con una determinada masa que ejercen fuerzas mutuas de atracción. Esto no vale para afrontar cualquier problema, pero funciona bien en la astronomía, por ejemplo, donde la fuerza que prevalece es la gravedad debida a las masas, y pueden ignorarse otros aspectos[36].

Las teorías han de estar de acuerdo con los fenómenos reales. Esto exige un proceso de tanteo y correcciones hasta que se consigue ese acuerdo. Nada garantiza de antemano que las hipótesis hayan de concordar con los hechos, y, por eso, es indispensable el recurso a la experimentación. Newton mostró que una gran variedad de fenómenos, que se refieren tanto al movimiento de los cuerpos terrestres como al de los planetas, se explican mediante su teoría de la gravedad. Por primera vez en la historia, se estableció una ley básica que gobierna muchos fenómenos diferentes. Este descubrimiento fue posible gracias a las dos primeras fases del método: sin una teoría matemática aplicada a los fenómenos implicados, no se hubiese podido formular la ley de la gravitación.

Cuando llegó a este punto, Newton afirmó su famoso dicho: «Hypotheses non fingo» (no formulo hipótesis), que a veces se ha interpretado como si la ciencia debiera prescindir de cualquier tipo de hipótesis, limitándose a constatar los hechos. Sin embargo, la ciencia avanza gracias a la formulación de hipótesis nuevas, y Newton no sólo lo sabía, sino que lo hizo mejor que nadie. Lo que

36. Cfr. COHEN, I.B.: *Revolución en la ciencia*, op. cit., pp. 154-157.

Newton pretendía decir es que no conocía la causa más profunda de la gravitación, y que no tenía fundamentos que le permitieran proponer una explicación o hipótesis sobre ese tema. A este propósito, la situación continúa siendo básicamente la misma al cabo de 300 años: aunque la fuerza de la gravedad fue la primera que se estudió de modo científico, sigue siendo la más difícil de encuadrar en las modernas teorías de la física. La ciencia experimental sigue utilizando el método descrito, si bien, se utilizan ahora teorías matemáticas e instalaciones experimentales mucho más complejas que las existentes en la época de Newton.

6.4. Las matemáticas de la Edad Moderna

Aunque el final del período medieval fue testigo de importantes estudios matemáticos sobre problemas del infinito por autores como Nicolás Oresme, no fue hasta principios del siglo XVI cuando se hizo un descubrimiento matemático de trascendencia en Occidente. Era una fórmula algebraica para la resolución de las ecuaciones de tercer y cuarto grado, y fue publicado en 1545 por el matemático italiano Gerolamo Cardano en su *Ars magna*. Este hallazgo llevó a los matemáticos a interesarse por los números complejos y estimuló la búsqueda de soluciones similares para ecuaciones de quinto grado y superior. Fue esta búsqueda la que, a su vez, generó los primeros trabajos sobre la teoría de grupos a finales del siglo XVIII y la teoría de ecuaciones del matemático francés Évariste Galois a principios del XIX.

Los europeos dominaron el desarrollo de las matemáticas después del Renacimiento. Durante el siglo XVI se empezaron a utilizar los modernos signos matemáticos y algebraicos. El matemático francés François Viète llevó a cabo importantes estudios sobre la resolución de ecuaciones. La utilización de letras no sólo en álgebra, sino también en trigonometría, y no sólo para las cantidades conocidas, sino también para las desconocidas, favoreció la rapidez de los cálculos. Sus escritos ejercieron gran influencia en muchos matemáticos del siglo posterior, incluyendo a Pierre de Fermat en Francia e Isaac Newton en Inglaterra. Asimismo, contribuyó a este avance Simon Stevin, al introducir los decimales.

Durante el siglo XVII tuvieron lugar los más importantes avances en las matemáticas desde la era de Arquímedes y Apolonio. El siglo comenzó con el descubrimiento de los logaritmos por el matemático escocés John Napier; su gran utilidad llevó al astrónomo francés Pierre Simon Laplace a decir, dos siglos más tarde, que Napier, al reducir el trabajo de los astrónomos a la mitad, les había duplicado la vida. La ciencia de la teoría de números, que había permanecido aletargada desde la época medieval, es un buen ejemplo de los avances conseguidos en el siglo XVII basándose en los estudios de la antigüedad clásica. La obra *Las aritméticas* de Diofante ayudó a Fermat a realizar importantes descubrimientos en la teoría de números. Su conjetura más destacada en este campo fue que no existen soluciones de la ecuación $a^n + b^n = c^n$ con a, b y c enteros positivos si n es mayor que 2. Esta conjetura, conocida como *último teorema de Fermat*, ha generado gran cantidad de trabajos en el álgebra y la teoría de números.

En geometría pura, dos importantes acontecimientos ocurrieron en este siglo. El primero fue la publicación, en el *Discurso del método* (1637) de Descartes, de su descubrimiento de la geometría analítica, que mostraba cómo utilizar el álgebra (desarrollada desde el Renacimiento) para investigar la geometría de las curvas (Fermat había hecho el mismo descubrimiento pero no lo publicó). El *Discurso del método*, junto con una serie de pequeños tratados con los que fue publicado, ayudó y fundamentó los trabajos matemáticos de Isaac Newton hacia 1660. El segundo acontecimiento que afectó a la geometría fue la publicación, por el ingeniero francés Gérard Desargues, de su descubrimiento de la geometría proyectiva en 1639. Aunque este trabajo fue alabado por Descartes y por el científico y filósofo francés Blaise Pascal, su terminología excéntrica y el gran entusiasmo que había causado la aparición de la geometría analítica retrasó el desarrollo de sus ideas hasta principios del siglo XIX, con los trabajos del matemático francés Jean Victor Poncelet.

Otro avance importante en las matemáticas del siglo XVII fue la aparición de la teoría de la probabilidad a partir de la correspondencia entre Pascal y Fermat sobre un problema presente en los juegos de azar, el llamado *problema de puntos*. Este trabajo no fue publicado, pero llevó al científico holandés Christiaan Huygens a escribir un pequeño folleto sobre probabilidad en juegos con dados,

que fue publicado en el *Ars coniectandi* (1713) del matemático suizo Jacques Bernoulli. Tanto Bernoulli como el francés Abraham De Moivre, en su *Doctrina del azar* de 1718, utilizaron el recién descubierto cálculo para avanzar rápidamente en su teoría, que para entonces tenía grandes aplicaciones en pujantes compañías de seguros.

Sin embargo, el acontecimiento matemático más importante del siglo XVII fue, sin lugar a dudas, el descubrimiento por parte de Newton de los cálculos diferencial e integral, entre 1664 y 1666. Newton se basó en los trabajos anteriores de dos compatriotas, John Wallis e Isaac Barrow, así como en los estudios de otros matemáticos europeos como Descartes, Francesco Bonaventura Cavalieri, Johann van Waveren Hudde y Gilles Personne de Roberval. Unos ocho años más tarde, el alemán Gottfried Wilhelm Leibniz descubrió también el cálculo y fue el primero en publicarlo, en 1684 y 1686. El sistema de notación de Leibniz es el que se usa hoy en el cálculo.

6.5. La química moderna

Durante los siglos XIII y XIV, la influencia de Aristóteles sobre todas las ramas del pensamiento científico empezó a debilitarse. La observación del comportamiento de la materia arrojó dudas sobre las explicaciones relativamente simples que Aristóteles había proporcionado; estas dudas se expandieron con rapidez después de la invención (en torno al 1450) de la imprenta con tipos móviles. Después del 1500 aparecieron cada vez más trabajos académicos, así como trabajos dedicados a la tecnología. El resultado de este saber creciente se hizo más visible en el siglo XVI.

Entre los libros más influyentes que aparecieron en esa época, había trabajos prácticos sobre minería y metalurgia. Esos tratados dedicaban mucho espacio a la extracción de los metales valiosos de las menas, trabajo que requería el uso de una balanza o una escala de laboratorio y el desarrollo de métodos cuantitativos. Los especialistas de otras áreas, especialmente de medicina, empezaron a reconocer la necesidad de una mayor precisión. Los médicos, algunos de los cuales eran alquimistas, necesitaban saber el peso o vo-

lumen exacto de la dosis que administraban. Así, empezaron a utilizar métodos químicos para preparar medicinas.

Esos métodos fueron promovidos enérgicamente por el excéntrico médico suizo Theophrastus von Hohenheim, conocido como Paracelso. Al crecer en una región minera, se había familiarizado con las propiedades de los metales y sus compuestos, que según él eran superiores a los remedios de hierbas utilizados por los médicos ortodoxos. Paracelso pasó la mayor parte de su vida disputando violentamente con los médicos de la época, y en el proceso fundó la ciencia de la iatroquímica (uso de medicinas químicas), precursora de la farmacología. Él y sus seguidores descubrieron muchos compuestos y reacciones químicas. Modificó la vieja teoría del mercurio-azufre sobre la composición de los metales, añadiendo un tercer componente, la sal, la parte terrestre de todas las sustancias. Declaró que cuando la madera arde «lo que se quema es azufre, lo que se evapora es mercurio y lo que se convierte en cenizas es sal». Al igual que con la teoría del azufre-mercurio, se refería a los principios, no a las sustancias materiales que responden a esos nombres. Su hincapié en el azufre combustible fue importante para el desarrollo posterior de la química. Los iatroquímicos que seguían a Paracelso modificaron parte de sus ideas más extravagantes y combinaron las fórmulas de él con las suyas propias para preparar remedios químicos. A finales del siglo XVI, Andreas Libavius publicó su *Alchemia*, que organizaba el saber de los iatroquímicos y que se considera a menudo como el primer libro de química.

En la primera mitad del siglo XVII, empezaron a estudiar experimentalmente las reacciones químicas, no porque fueran útiles en otras disciplinas, sino más bien por razones propias. Jan Baptista van Helmont, médico que dejó la práctica de la medicina para dedicarse al estudio de la química, utilizó la balanza en un experimento para demostrar que una cantidad definida de arena podía ser fundida con un exceso de álcali formando vidrio soluble y, cuando este producto era tratado con ácido, regeneraba la cantidad original de arena (sílice). Esos fueron los fundamentos de la ley de conservación de la masa. Van Helmont demostró también que en ciertas reacciones se liberaba un fluido aéreo. A esta sustancia la llamó gas. Así se demostró que existía un nuevo tipo de sustancias con propiedades físicas particulares.

En el siglo XVI los experimentos descubrieron cómo crear un vacío, algo que Aristóteles había declarado imposible. Esto atrajo la atención sobre la antigua teoría de Demócrito, que había supuesto que los átomos se movían en un vacío. El filósofo y matemático francés René Descartes y sus seguidores desarrollaron una visión mecánica de la materia en la que el tamaño, la forma y el movimiento de las partículas diminutas explicaban todos los fenómenos observados. La mayoría de los iatroquímicos y filósofos naturales de la época suponían que los gases no tenían propiedades químicas, de aquí que su atención se centrara en su comportamiento físico. Comenzó a desarrollarse una teoría cinético-molecular de los gases. En esta dirección fueron notables los experimentos del químico físico británico Robert Boyle, cuyos estudios sobre el «muelle de aire» (elasticidad) condujeron a lo que se conoce como ley de Boyle, una generalización de la relación inversa entre la presión y el volumen de los gases.

Mientras muchos filósofos naturales especulaban sobre las leyes matemáticas, los primeros químicos intentaban utilizar en el laboratorio las teorías químicas para explicar las reacciones reales que observaban. Los iatroquímicos ponían especial atención en el azufre y en las teorías de Paracelso. En la segunda mitad del siglo XVII, el médico, economista y químico alemán Johann Joachim Becher construyó un sistema químico en torno a su principio. Becher anotó que cuando la materia orgánica ardía, parecía que un material volátil salía de la sustancia. Su discípulo Georg Ernst Stahl, hizo de éste el punto central de una teoría que sobrevivió en los círculos químicos durante casi un siglo.

Stahl supuso que cuando algo ardía, su parte combustible era expulsada al aire. A esta parte la llamó «flogisto», de la palabra griega *flogistós* «inflamable». La oxidación de los metales era análoga a la combustión y por tanto suponía pérdida de flogisto. Las plantas absorbían el flogisto del aire, por lo que eran ricas en él. Al calentar las escorias (u óxidos) de los metales con carbón de leña, se les restituía el flogisto. Así dedujo que la escoria era un elemento y el metal un compuesto. Esta teoría es casi exactamente la contraria al concepto moderno de oxidación-reducción, pero implica la transformación cíclica de una sustancia (aunque fuera en sentido inverso), y podía explicar algunos de los fenómenos observados.

Sin embargo, recientes estudios de la literatura química de la época muestran que la explicación del flogisto no tuvo mucha influencia entre los químicos hasta que fue recuperada por el químico Antoine Laurent de Lavoisier, en el último cuarto del siglo XVIII.

6.6. La medicina moderna

Durante el Renacimiento no se produjo un cambio abrupto en el pensamiento médico, pero se acentuó la crítica hacia Galeno y los arabistas y hubo un resurgimiento de las doctrinas de Hipócrates. Los artistas del Renacimiento volvieron al estudio de la anatomía humana, los músculos en especial, para retratar mejor el cuerpo humano. Leonardo da Vinci realizó destacados y precisos dibujos anatómicos basados en la disección del cuerpo humano. Por desgracia, su trabajo, en su mayor parte ignorado durante siglos, ejerció poco efecto en su época.

En cambio, la publicación en 1543 del tratado de anatomía *De Humani Corporis Fabrica*, obra del anatomista belga Andrea Vesalio (1514-1564), fue un hito en la historia médica. Demostró de manera evidente centenares de errores de la anatomía de Galeno junto a su contemporáneo Gabriel Falopio, quien descubrió las trompas uterinas que desde entonces llevan su nombre, y el tímpano; además diagnosticó enfermedades del oído, de los conductos lacrimales y de las trompas de Falopio. El médico español Miguel Servet refutó también a Galeno, y fue el primero en describir de forma correcta el círculo menor de la sangre y en explicar la digestión como fuente de energía corporal. Durante su tormentosa carrera, el médico y alquimista suizo Paracelso (1493-1541), fundador de la farmacoterapia, rompió con los tratados clásicos sobre medicina de su época, con sus lecturas en alemán y no en latín y el descubrimiento de nuevos remedios químicos. Ambroise Paré (1517-1590), el cirujano francés, facilitó la amputación quirúrgica gracias al uso del fórceps y de la ligadura, en lugar de la cauterización para frenar la hemorragia.

El médico y poeta italiano Girolamo Fracastoro (1484-1553), también llamado el *padre de la epidemiología científica*, demostró el carácter específico de las fiebres y descubrió el tifus; el término sífilis, otorgado a la virulenta enfermedad que devastaba Europa,

procede de su famoso poema *Sifilis sive morbus gallicus* (La sífilis o mal de los galos, 1530). A él se le atribuye la teoría de que las enfermedades infecciosas se trasmiten por contagio de gérmenes invisibles capaces de autorreproducirse, y es el precursor de las teorías bacteriológicas modernas.

La combinación de la anatomía vesaliana con el reciente interés por la maquinaria (bombas, válvulas, etc.), originó la nueva fisiología experimental, obra de William Harvey (1578-1677). Éste descubrió el movimiento circular de la sangre, lo que constituye el principal acontecimiento médico del siglo XVII. Su libro *De Motu Cordis* (Sobre el movimiento del corazón) muestra que el cuerpo humano puede ser asimilado a una máquina hidráulica, y concibe, por influencia del sistema copernicano, el corazón como el centro del cuerpo.

Una contribución añadida para el estudio de la fisiología la proporcionó la invención del microscopio. El holandés Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) demostró el valor de estos instrumentos fundamentales para la investigación, al usarlos para estudiar las células sanguíneas, los espermatozoides e, incluso, los microbios.

7
La ciencia ilustrada

Introducción

La Ilustración, en sentido propio, designa tanto un período de la historia europea que coincide aproximadamente con el siglo XVIII, como la orientación cultural y la evolución genearal de las ideas que se manifestaron en tal período. El nombre mismo de «Ilustración» pretendía señalar la oposición frente a la «Edad Oscura» representada por la Edad Media. Se subrayaba, con un tinte optimista, la capacidad de la razón y de la experiencia para hacer frente a todo tipo de problemas, desbrozando previamente el campo de los conocimientos tradicionales que se revelen ilusorios, analizando e impugnando leyes, costumbres, instituciones, pero, sobre todo, desenmascarando la más poderosa y omnipresente de las ilusiones, la religión. Ésta queda reducida a un denominador común natural de tipo deísta o, en las versiones más radicales, identificada con la superstición.

La Ilustración tuvo sus raíces en Inglaterra y su patria ideal en Francia, desde donde se difundió luego a Italia y a Alemania. En este país, Kant suele ser considerado como uno de los principales exponentes de la nueva mentalidad. Una de las principales realizaciones de la Ilustración francesa fue la *Enciclopedia*, editada por Diderot y D'Alembert, entre cuyos colaboradores se contaban el barón D'Holbach, Montesquieu, Rousseau y Voltaire. Tuvo que afrontar una serie de prohibiciones por su tono marcadamente anticlerical, pero fue publicada finalmente en 1772, con un total de 28 volúmenes. Aunque las ideas de la Ilustración se centraban en torno a la naturaleza humana y a la sociedad, se encontraban influidas

por el gran desarrollo alcanzado por la ciencia experimental, que parecía proporcionar una base firme a la supuesta mayoría de edad que la humanidad habría alcanzado, basándose en la razón para conseguir su emancipación definitiva. A medida que se afianzó el progreso científico, adquirió mayor fuerza el cientificismo, que consideraba la ciencia como el único conocimiento válido o como modelo de todo conocimiento.

Sin duda, en la Ilustración se destacaron valores positivos que, de hecho, se desarrollaron en Occidente gracias, en buena parte, a la influencia del cristianismo: éste es el caso, por ejemplo, de la fraternidad entre todos los hombres, de la igualdad radical entre ellos, de la dignidad de la persona, con la consiguiente afirmación de la conciencia y de la libertad, y del valor de la ciencia experimental, en cuyo desarrollo también influyeron las ideas cristianas sobre la racionalidad del mundo y la capacidad humana para conocerlo, como hemos probado más arriba. Sin embargo, la oposición al cristianismo provocó que esos valores se presentaran como independientes de la religión e incluso como opuestos a ella, y que los malentendidos en torno a la relación entre ciencia y religión se multiplicaran.

Es evidente, como se ha establecido más arriba, que no podremos tratar la historia de todas las ciencias en todas las épocas. Dado que hay que elegir, hemos procurado atender en cada momento a aquellas disciplinas más activas, que están sufriendo un cambio teórico y metodológico más marcado y que presentan más elementos de interés para el historiador de la ciencia. Durante el siglo XVIII continuó el desarrollo de las matemáticas y de la física; también se produjeron avances notables en biología y en medicina. Sin embargo, se puede afirmar que la ciencia que se vio más modificada en este tiempo, la que sufrió una auténtica transformación teórica, fue la química. Si el cambio producido en la astronomía desde Copérnico hasta Kepler se ha podido denominar revolución, si la física desde Galileo a Newton ha pasado por una fase revolucionaria, con no menos razón se puede hablar de revolución en la química del siglo XVIII[1].

1. En conexión con este tema nos interesa el estudio de la revolución química desde el ángulo de la metaciencia. Esta tarea ha sido llevada a cabo por ESTANY, A.: *Modelos de cambio científico*, Crítica, Barcelona, 1990, quien ha probado la

Para comprender los cambios producidos, el lector deberá hacerse cargo de la situación de la que se parte. Utilizaremos, pues, el primer apartado para exponer las líneas más relevantes de la tradición química y alquímica (7.1.1.). Este punto no pretende ser, en modo alguno, una pequeña historia de toda la química anterior al XVIII; nos limitaremos, tan sólo, a la presentación de algunas ideas y problemas especialmente importantes y conectados con el desarrollo posterior de la química. La primera construcción teórica importante en la química del XVIII a la que debemos prestar atención es la química del flogisto desarrollada por Stahl, que será tratada en 7.1.2. La influencia de las ideas newtonianas, tanto en aspectos de contenido como en cuestiones metodológicas y estrategias heurísticas, fue más que notable en todas las disciplinas científicas, y la química no fue una excepción. Sin embargo, el programa newtoniano no se cultivó de manera unitaria (ni fue el único seguido por la química del momento), de modo que tendremos que ocuparnos del desarrollo del programa newtoniano en sus diversas formulaciones (7.1.3.).

Los eventos científicos más destacables durante el siglo XVIII pueden consistir en los siguientes:

1703. Muere en Londres el astrónomo y matemático británico Robert Hooke. El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton es elegido presidente de la Royal Society.

1704. El naturalista británico John Ray termina de publicar la *Historia generalis plantarum*. El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton publica *Tractatus de quadratura curvatorum*.

1705. Muere el matemático belga Jacques Bernoulli, autor de un estudio fundamental sobre el cálculo infinitesimal e

utilidad de distintos modelos de cambio científico sobre el caso histórico de la revolución química del XVIII. Estany ha estudiado este cambio desde el modelo de Kuhn, el de Lakatos y el de Laudan, además de un modelo de cambio científico elaborado por la propia autora e inspirado, entre otras fuentes, en la obra de Giere. Creo que un comentario de este texto, sin pretender aún una comprensión cabal por parte del lector de los modelos de cambio implicados, puede anticipar la presentación de algunos tópicos de la filosofía de la ciencia y, sobre todo, contribuir a justificar la importancia del estudio histórico para ésta.

integral. El mecánico británico Thomas Newcomen crea la máquina atmosférica conocida como «bomba de fuego», empleando los inventos de Denis Papin y Thomas Savery.

1706. Nace el futuro filósofo, físico y político norteamericano Benjamin Franklin.

1707. El físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton publica *Arithmetica universalis*.

1708. El médico y químico alemán Georg Ernst Stahl desarrolla sus teorías animistas en *Theoria medica vera*. El filósofo irlandés George Berkeley escribe *Teoría de la visión*.

1710. Se funda la Academia de Ciencias de Berlín, y se inicia la publicación de la revista científica *Berolinensia ad Incrementa Scientiarum*.

1713. Se publica, de forma póstuma, *Ars coniectandi* obra de Jacques Bernoulli, sobre el cálculo de probabilidades.

1714. El relojero británico John Harrison introduce un método práctico para determinar la longitud marítima. El físico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit fabrica el primer termómetro de mercurio.

1716. Se inaugura la Biblioteca Real de Madrid.

1717. El matemático británico Brook Taylor enuncia el teorema que lleva su nombre. Se realiza, en Gran Bretaña, la primera inoculación contra la viruela.

1721. El filósofo irlandés George Berkeley escribe *Tratado del movimiento*.

1723. Muere, en Delft (Holanda), el naturalista e investigador holandés Antoine van Leeuwenhoek, fundador de la microbiología.

1726. Jean I Bernoulli, matemático suizo, redacta *Tratado de las leyes de la comunicación del movimiento*.

1727. Daniel Bernoulli, físico y matemático suizo, elabora la primera teoría cinemática de los gases. Muere el físico, matemático y astrónomo británico Isaac Newton.

1728. El matemático suizo Leonhard Euler estudia las líneas geodésicas. El astrónomo británico James Bradley descubre la aberración y la nutación del eje terrestre.

1729. El astrónomo, hidrógrafo y matemático francés Pierre Bonguer inventa la fotometría. El investigador francés Charles François Du Fay descubre la conducción de la electricidad.

1730. El físico y naturalista francés René Antoine Ferchault de Réaumur crea un termómetro en el que utiliza alcohol mezclado con un tercio de agua.

1731. Se funda la Academia de Cirugía de París. El erudito y político norteamericano Benjamin Franklin crea una biblioteca por subscripción en Filadelfia (Estados Unidos). El matemático francés Alexis Clairaut establece los fundamentos de la geometría analítica del espacio.

1732. El matemático, físico y filósofo francés Pierre Louis Moreau de Maupertuis escribe *Discurso sobre la figura de los astros.*

1734. El físico y naturalista francés René Antoine de Réaumur escribe *Historia de los insectos*. Se funda la Universidad de Göttingen (Alemania).

1735. El metalúrgico británico Abraham Darby emplea, por primera vez, coque en un alto horno. El naturalista y médico sueco Carl von Linneo publica *Systema naturae*, en el que realiza una clasificación binaria de los seres vivientes.

1738. Linneo termina de redactar *Classes plantarum*. El físico y matemático suizo Daniel Bernoulli termina de escribir la *Hidrodinámica*.

1739. Muere el médico y químico neerlandés Herman Boerhaave. El matemático y filósofo francés Jean Le Rond D'Alembert escribe *Memorias sobre el cálculo integral.*

1740. El suizo Charles Bonnet descubre la partenogénesis.

1741. Se crea el Colegio de Cirugía de Montpellier (Francia).

1742. El físico y astrónomo sueco Anders Celsius describe el termómetro centígrado. El físico y naturalista francés René Antoine de Réaumur modifica la escala termométrica centígrada del físico Celsius.

1743. Nace el filósofo, matemático y político francés Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, marqués de Condorcet. D'Alembert publica *Tratado de Dinámica*, punto de partida de la medicina racional.

1744. Euler publica *Teoría del movimiento de los cometas o de los planetas*. El naturalista francés Charles-Marie de La Condamine desciende por el Amazonas y trae a Francia el caucho, la quina, el curare y la técnica de la inoculación.

1747. El físico, filósofo y político norteamericano Benjamin Franklin realiza las primeras investigaciones sobre el pararrayos. D'Alembert publica *Reflexiones sobre la causa general de los vientos* y *Memorias de la Academia de Berlín*.

1748. Se publica *El hombre-máquina*, en que Julien Offroy de La Mettrie, médico y filósofo francés, desde un materialismo radical, sostiene que el hombre es una estructura mecánica. Muere el matemático suizo Jean I Bernouilli.

1749. El naturalista francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon, fundador de la antropología y la geografía humanas, publica la *Historia Natural del Hombre*.

1750. Euler integra las ecuaciones diferenciales lineales con coeficientes constantes. Franklin publica *Experimentos y observaciones sobre la electricidad*.

1753. Franklin descubre el pararrayos.

1754. El escritor francés Denis Diderot publica sus *Pensamientos sobre la interpretación de la naturaleza*. Comienza a publicarse el *Journal de Medicine et de Chirugie* de Paris. El filósofo y naturalista suizo Charles Bonnet realiza experimentos sobre la absorción del agua por las hojas vegetales. Maupertuis publica *Ensayo sobre la formación de cuerpos organizados*.

1755. El matemático francés Joseph-Louis de Lagrange establece el cálculo de las variaciones. Euler publica *Instituciones del cálculo diferencial*. El físico y químico británico Joseph Black descubre el gas carbónico.

1757. El matemático italiano V. Riccati introduce las funciones hiperbólicas. El papa Benedicto XIV anula el decreto anticopernicano. Muere el físico y naturalista francés René Antoine de Réaumur. El astrónomo francés Louis de Lacaille publica *Fundamenta astronomiae*, donde cataloga cuatrocientas estrellas.

1759. El médico alemán Kaspar Friedrich Wolff sienta las bases de la embriología moderna en *Theoria generationis*.

1760. D'Alembert publica *Ecuaciones diferenciales*. Euler escribe *Theoria motus corporum solidarum seu rigidarum*. El matemático y físico francés Jean Henri Lambert publica *Photometria*.

1762. M. C. Hanov convierte a la metereología en una ciencia autónoma.

1764. El ingeniero británico James Watt perfecciona la máquina de vapor que había inventado el mecánico Thomas Newcomen.

1765. El físico y químico británico Henry Cavendish identifica el hidrógeno.

1766. Cavendish experimenta la composición del agua y del ácido nítrico. Euler descubre el cálculo de variaciones. El francés Le Roy inventa el resorte espiral isócrono en el cronómetro.

1767. El químico y filósofo británico Joseph Priestley publica *Historia de la electricidad*.

1768. El químico francés Antoine Laurent de Lavoisier es elegido miembro de la Academia de Ciencias de París. El naturalista italiano Lazzaro Spallanzani realiza experimentos sobre la reproducción y fecundación de los anfibios. Euler termina de redactar *Institutiones calculi integralis*. Comienza el viaje del navegante británico James Cook al continente austral.

1770. Louis de Lagrange, matemático francés, publica *Reflexiones sobre la resolución algebraica de las ecuaciones.*

1772. El químico y filósofo francés Joseph Priestley escribe *Observaciones sobre el aire.* Lagrange escribe *Adiciones a la Álgebra de Euler.*

1773. Laplace demuestra que los movimientos y las distancias de los planetas son invariables. El naturalista italiano Lazzaro Spallanzani experimenta sobre la circulación arterial. Lagrange termina de escribir *Sobre las pirámides triangulares.*

1774. El médico y físico británico Daniel Rutherford descubre la existencia del nitrógeno.

1775. Lavoisier publica sus primeros trabajos sobre la oxidación. El físico italiano Alessandro Volta inventa el electróforo y el electroscopio condensador.

1776. El ingeniero británico James Watt y el industrial Matthew Foulton fabrican la primera máquina de vapor. El médico británico Edward Jenner consigue preparar la vacuna antivariólica.

1777. El físico francés Charles Augustin de Coulomb formula las leyes fundamentales del magnetismo y la electrostática en el libro *Investigaciones sobre la mejor manera de fabricar agujas imantadas.* Muere el naturalista y médico sueco Carl von Linneo. Buffon publica *Épocas de la naturaleza.*

1781. El astrónomo y músico británico sir William Herschel descubre el planeta Urano.

1783. Muere el matemático y filósofo francés Jean Le Rond d'Alembert. El político e ingeniero francés Lazare Carnot publica *Ensayo sobre las máquinas en general.* Muere el matemático suizo Leonhard Euler.

1785. Coulomb formula los principios físicos que producen la atracción y repulsión de cargas eléctricas y masas magnéticas.

1787. Se crea el Real Colegio de Cirugía de Madrid. El químico francés Lavoisier establece el principio de conservación de la materia.

1788. Muere el naturalista y escritor francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon. Lagrange publica *Mecánica analítica*. Antoine Laurent de Lavoisier, químico francés, escribe *Tratado elemental de química*, en el que establece el Principio de Conservación de la Materia. El astrónomo británico Herschel construye su célebre telescopio de 12 m de longitud, y descubre el sexto y el séptimo satélites de Saturno. Antoine Laurent de Jussieu, botánico francés, publica *Genera plantarum*.

1790. El geómetra francés Gaspar Monge introduce los elementos de primer grado: línea recta y plano. En la Academia francesa se crea la comisión de pesos y medidas. Lavoisier introduce el calorímetro de hielo fundente para estudiar el calor animal. El mineralogista alemán Abraham Gottlob Werner publica un tratado sobre el origen de los filones minerales formados por precipitación química de materiales. El físico italiano Luigi Galvani publica las *Fuerzas eléctricas en el movimiento muscular*.

1792. El físico italiano Alessandro Volta formula la ley de variación de la presión de un gas al variar la temperatura. Jeremias Benjamin Richter, químico alemán, publica *Fundamento de la medición de los elementos químicos*.

1793. Fundación del Museo de Historia Natural de París.

1794. Volta detecta el movimiento «perpetuo» de la electricidad. Muere en la guillotina el químico francés Antoine Laurent de Lavoisier.

1796. Laplace propone, en su *Exposición del sistema del mundo*, una detallada hipótesis cosmogónica. Edward Jenner, médico y biólogo británico, aplica la primera vacuna contra la tuberculosis al niño James Philips.

1797. Lagrange descubre la Teoría de las Funciones Analíticas. El matemático italiano Lorenzo Mascheroni publica *Geometría del compás*. Laplace publica *Exposición del sistema del mundo*.

1798. El astrónomo británico William Herschel descubre la banda infrarroja del espectro luminoso.

1799. El matemático alemán Carl Friedrich Gauss demuestra el teorema según el cual la ecuación algebraica de grado enésimo tiene «n» raíces. Lagrange escribe *Lecciones sobre el cálculo de las funciones*. William Smith, geólogo británico considerado el «padre de la moderna estratigrafía», levanta un mapa de las formaciones rocosas del Secundario en Inglaterra, basado en los depósitos de fósiles. Coulomb formula las Leyes del Frotamiento. Se descubre la piedra Rosetta, que posibilitará descifrar los jeroglíficos egipcios.

1800. Muere, en París, el matemático italiano Lorenzo Mascheroni. Alessandro Volta construye la pila eléctrica.

7.1. La revolución de la química en el siglo XVIII

En el siglo XVIII, una observación hizo avanzar la comprensión de la química[2]. Al estudiarse cada vez más productos, los químicos observaron que ciertas sustancias combinaban más fácilmente o tenían más afinidad con un determinado producto químico que

2. Nos parecen muy útiles, claros y bien escritos los capítulos dedicados a la historia de la química en SERRES, M. (ed.): *Historia de las ciencias*, Catedra, Madrid, 1991 (capítulos 12 y 15, redactados por Isabelle Stengers y Bernardette Bensaude-Vincent, respectivamente). También es de interés para la historia de la química el capítulo 19 (sobre Mendeleiev), pero se sale ya del momento histórico que aquí nos concierne más directamente. Las historias generales de la ciencia (y diccionarios), ya citadas en anteriores capítulos, tratan con detenimiento las aportaciones de Lavoisier y, en general, la química del siglo XVIII y, por tanto, son también interesantes para este tema. Como historias específicas de la química remitimos a ASIMOV, I.: *Breve historia de la química*, Alianza, Madrid, 1975; LEICESTER, H. M.: *Panorama histórico de la química*, Alhambra, Madrid, 1967; PAPP, D. y PRELAT, C.: *Historia de las principios fundamentales de la química*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1950; CUEILLERON, J.: *Histoire de la Chimie*, P.U.F., Paris, 1957; VIDAL, B.: *Histoire de la Chimie*, P.U.F., Paris, 1985; HARTLEY, H.: *Studies in the History of Chemistry*, Clarendon Press, Oxford, 1971; PARTINGTON, J.R.: *A Short History of Chemistry*, McMillan, London, 1960-62. A ellas hay que añadir algunos de los artículos sobre historia de la química contenidos en los volúmenes publicados por la Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales (VV.AA.: *Historia de la química*, R.A.C.E.F.N., Madrid, 1981; ídem: *Historia de la bioquímica*, R.A.C.E.F.N., Madrid, 1985).

otras. Se prepararon tablas que mostraban las afinidades relativas al mezclar diferentes productos. El uso de estas tablas hizo posible predecir muchas reacciones químicas antes de experimentarlas en el laboratorio. Todos esos avances condujeron en el siglo XVIII al descubrimiento de nuevos metales y sus compuestos y reacciones. Comenzaron a desarrollarse métodos analíticos cualitativos y cuantitativos, dando origen a la química analítica. Sin embargo, mientras existiera la creencia de que los gases sólo desempeñaban un papel físico, no podía reconocerse todo el alcance de la química.

La interpretación inicial del papel de los gases en la química se produjo en Edimburgo (Escocia) en 1756, cuando Joseph Black[3] publicó sus estudios sobre las reacciones de los carbonatos de magnesio y de calcio. Al calentarlos, estos compuestos desprendían un gas y dejaban un residuo de lo que Black llamaba magnesia calcinada o cal (los óxidos). Esta última reaccionaba con el «álcali» (carbonato de sodio) regenerando las sales originales. Así el gas dióxido de carbono, que Black denominaba «aire fijo», tomaba parte en las reacciones químicas (estaba «fijo», según sus palabras). La idea de que un gas no podía entrar en una reacción química fue desechada, y pronto empezaron a reconocerse nuevos gases como sustancias distintas.

El estudio químico de los gases, generalmente llamados «aires», empezó a adquirir importancia después de que el fisiólogo británico Stephen Hales[4] desarrollara la cubeta o cuba neumática para re-

3. Joseph Black (1728-1799), químico británico, conocido por su detallada descripción del aislamiento y actividad química del dióxido de carbono. Nació en Burdeos, Francia, estudió en las universidades de Glasgow y Edimburgo, en Escocia. Fue profesor de química, medicina y anatomía en la Universidad de Glasgow desde 1756 a 1766; a partir de ahí, fue profesor de química en la Universidad de Edimburgo. Hacia 1761, Black introdujo el concepto de *calor latente*, y tres años más tarde midió el calor latente de vaporización. Su alumno y ayudante James Watt puso en práctica estos descubrimientos, más adelante, cuando hizo las mejoras de la primera máquina de vapor. Alrededor de 1754, Black descubrió el dióxido de carbono, un gas al que él llamaba «aire fijo», y demostró que se produce a partir de la respiración, la fermentación y la combustión del carbón vegetal; esto le ayudó a refutar la teoría del flogisto de la combustión. Descubrió también que sustancias diferentes tienen diferentes capacidades caloríficas.

4. Stephen Hales (Bekesbourne, Kent, 1677-1761). Fue párroco de Teddington desde 1709 y religioso en activo durante toda su vida. Hales está considerado

coger y medir el volumen de los gases liberados en un sistema cerrado; los gases eran recogidos sobre el agua tras ser emitidos al calentar diversos sólidos. La cuba neumática se convirtió en un mecanismo valioso para recoger y estudiar gases no contaminados por el aire ordinario. El estudio de los gases avanzó rápidamente y se alcanzó un nuevo nivel de comprensión de los distintos gases.

Algunos de los experimentos más importantes de Lavoisier examinaron la naturaleza de la combustión, demostrando que es un proceso en el que se produce la combinación de una sustancia con oxígeno. También reveló el papel del oxígeno en la respiración de los animales y las plantas. La explicación de Lavoisier de la combustión reemplazó la teoría del flogisto[5], sustancia que desprendían los materiales al arder. Como los logros de la nueva química no fueron los de un solo hombre, habrá que reconocer las funciones de los que colaboraron en el seno de la Academia Real de Ciencias hasta que fue disuelta por la Convención y el propio Lavoisier fue decapitado. Así, Lavoisier se pudo beneficiar de las investigaciones de Bucquet, en química pneumática, de Laplace en termodinámica, de Seguin en fisiología de la respiración, o de Berthollet, Foucroy y Guyton de Morveau en nomenclatura. La nueva nomenclatura constituyó una pieza clave en la revolución química. El objetivo era nombrar todas las sustancias que no se habían conseguido descomponer y fueron consideradas como elementales y, a partir de ahí, denominar los compuestos, mediante combinación de los nombres de sus componentes. Subrayamos el sesgo analítico que adquiere la química, en busca de los componentes de los componentes hasta donde sea posible, así como la desvinculación respecto de

fundador de la fisiología vegetal, pero es conocido también como fisiólogo, químico e inventor. Sus investigaciones figuran en su famosa obra *Ensayos sobre la estática*, publicada en dos volúmenes. El primero, *Estática vegetal* (1727), estudia la anatomía de las plantas. El segundo, *Hemostática* (1733), incorpora sus investigaciones sobre la mecánica del flujo sanguíneo. Gracias a una serie de experimentos con animales, logró demostrar que la sangre en circulación ejerce cierta presión. También estudió los reflejos y demostró que dependen de la existencia de la médula espinal.

5. Flogisto, (del griego *phlogistos*, inflamable), es una sustancia hipotética, que representa la inflamabilidad, postulada a finales del siglo XVII por los químicos alemanes Johann Becher y Georg Stahl para explicar el fenómeno de la combustión.

la química tradicional mediante el corte producido por la nomenclatura.

Las dos líneas más importantes de cambio en la química del siglo XVIII fueron el estudio de la combustión (y fenómenos relacionados) y el atomismo. En el apartado 7.1.4. nos ocuparemos de la nueva teoría de la combustión propuesta por Lavoisier y que sustituyó a la anterior teoría del flogisto. Pero el cambio que Lavoisier y sus colaboradores produjeron en química no se limita a la teoría de la combustión; junto con eso, construyeron nuevos sistemas experimentales, una nueva nomenclatura, una nueva metodología y, realmente, una nueva forma de entender la química. La otra línea importante de desarrollo de la nueva química, la construcción de una teoría atomista, será tratada en el apartado 7.1.5., donde veremos las aportaciones de Dalton, ya con un pie en el siglo XIX.

7.1.1. *De la alquimia a la química*

Dentro de este apartado nos interesaremos, en primer lugar, por algunos aspectos de la tradición alquímica en la Edad Media. La alquimia parece haber surgido en el Egipto helenístico, en el siglo I a.C. junto con la convicción de que los distintos materiales no son sino transmutaciones de los cuatro elementos. También influyó el estímulo comercial: fabricación de joyas y de tintes. Los más antiguos tratados nos llevan de nuevo a la tradición hermética; su redacción parece datar sólo del s. III d.C. Señalaremos cómo la alquimia y astrología se asociaron, relacionando el Sol con el oro, la Luna con la plata, Venus con el cobre, Mercurio con el mercurio, Marte con el hierro, Júpiter con el estaño y Saturno con el plomo. La obsesión de los alquimistas («la gran obra») fue convertir el plomo en oro, mediante un reactivo llamado «piedra filosofal». El fracaso en esta aventura condujo, no obstante, a logros importantes en el conocimiento de la química de los metales y tintes.

Entre los árabes, la alquimia evolucionó y pudo ser el precedente de la química. Es importante para la historia posterior el hecho de que Gebero (hacia el 775), reputado alquimista árabe, sustituyese la tradicional teoría de los *cuatro elementos* por la idea de que los seis metales principales estaban formados, en distintas pro-

porciones, por mercurio (de naturaleza líquida) y azufre (de naturaleza ígnea). Paracelso, en pleno Renacimiento, introduce algunas modificaciones en el esquema del azufre-mercurio. Concretamente, considera que se precisa un tercer principio para generar la variedad de los cuerpos y efectos que observamos. Este tercer principio será la sal (de naturaleza térrea). Si bien es cierto que se había abandonado la química de los cuatro elementos, también lo es que el mercurio se consideraba como el principio líquido, el azufre parece cumplir las funciones del fuego y, con la introducción de la sal, tenemos ya un tercer principio, esta vez asociable a la tierra. Por supuesto, se advertirá que el azufre y el mercurio o la sal de los alquimistas no eran exactamente lo que hoy entendemos por tales, sino principios que creían componentes de todos los metales. Paracelso, además, modifica los objetivos del químico, a quien propone la investigación de nuevos remedios y fármacos (iatroquímica) más que la búsqueda de la piedra filosofal.

Las aportaciones de Robert Boyle (1627-1691), científico británico, uno de los fundadores de la química moderna, fueron sobre todo de carácter crítico y programático. Se encargó de criticar las tradiciones medievales y renacentistas y de ubicar la química en el terreno de la ciencia natural, ocupada en la búsqueda de conocimiento sobre las sustancias y no sólo en la de un saber aplicado. Una de las críticas dirigidas por Boyle a los paracelsianos hubiese sido suscrita, sin duda, por Popper. Apreciaba que la ambigüedad con que utilizaban las nociones les ponía a salvo de todo intento de refutación. Boyle mismo intentó clarificar el concepto de «elemento». Su definición se aproxima a la ofrecida más tarde por Lavoisier.

Boyle reconoció la diferencia entre un compuesto y una mezcla, y formuló su teoría atómica de la materia basándose en sus experimentos de laboratorio. En su obra *El químico escéptico* (1661), atacó la teoría propuesta por Aristóteles, según la cual la materia está compuesta por cuatro elementos: tierra, aire, fuego y agua. Propuso que partículas diminutas de materia primaria se combinan de diversas maneras para formar lo que él llamó *corpúsculos*, y que todos los fenómenos observables son el resultado del movimiento y estructura de los corpúsculos. Boyle fue también el primero en verificar las diferencias entre ácidos, bases y sales.

Boyle es considerado uno de los fundadores de los métodos científicos modernos porque creyó en la necesidad de la observación objetiva y de los experimentos verificables en los laboratorios, al realizar los estudios científicos. Perfeccionó la bomba de aire y sus estudios le condujeron a formular, independientemente de su colega francés Edme Mariotte, la ley de física conocida hoy como *ley de Boyle-Mariotte*. Esta ley establece que, a una temperatura constante, la presión y el volumen de un gas son inversamente proporcionales. En el campo de la química, Boyle observó que el aire se consume en el proceso de combustión y que los metales ganan peso cuando se oxidan.

7.1.2. *La química del flogisto*

El estudio de la combustión ha tenido una enorme importancia en el desarrollo de la química, en parte debido a que aquélla se utilizó desde antiguo como un potente medio de análisis. En la combustión se entendía que se separaban los elementos ígneos del compuesto y a menudo se segregaban el resto de los componentes. El calor fue para los medievales prácticamente el único método de análisis. La *teoría del flogisto* de G. E. Stahl[6] pretendía dar cuenta de los fenómenos relacionados con la combustión. En la teoría del flogisto, piensa Stahl, se encuentra una explicación de la combustión. Según Stahl, toda sustancia susceptible de sufrir combustión contiene flogisto, y el proceso de combustión consiste básicamente en la pérdida de dicha sustancia. Para ello, rehabilitó la teoría de los *cuatro elementos*; el aire tenía como función absorber el flogisto (principio ígneo) liberado en la combustión, calcinación o respiración. En este momento, se conciben los cuatro principios clásicos

6. Georg Ernst Stahl (Ansbach, Baviera 1660-1734). Fue médico en la corte de Weimar, profesor de medicina en la Universidad de Halle y en 1716 médico del rey de Prusia, Federico Guillermo I. Basando sus investigaciones en las de su profesor, el químico alemán Johann Joachim Becher, Stahl propuso que la sustancia llamada *flogisto* era la base de la combustión y de la oxidación. Fue el primer químico que reconoció ambos procesos como análogos. En el campo de la medicina, Stahl defendió el punto de vista de que los procesos vitales son diferentes de los físicos o químicos.

como cuerpos simples accesibles a la experiencia, pues tres de ellos son el fin de todo proceso de análisis. El flogisto nunca aparece aislado, siempre se halla en composición. Aunque muchas de las ideas de Stahl han sido sustituidas por otras más modernas, su labor fue de utilidad en el desarrollo de la química.

En principio, la combustión era concebida como un proceso de análisis; lo que se desprendía del combustible era precisamente flogisto, es decir, su principio ígneo, algo parecido al azufre de los alquimistas. Mas, como el flogisto no podía darse aislado, la combustión exigía un cuerpo, pobre en flogisto, que absorbiese el liberado por el combustible. Un buen número de fenómenos relacionados con la combustión (incluso fisiológicos) recibieron explicación aceptable. Sin embargo, la calcinación de los metales, tomada como un proceso de combustión, añadía peso al metal calcinado. Este fue un importante escollo para la teoría del flogisto. Una tentativa de solución consistió en atribuir al flogisto peso negativo, es decir, ligereza. He aquí una vieja noción aristotélica recuperada que amenazaba con separar la química de la nueva mecánica. Incluso se llegó a pensar que sustancias como el carbón y el azufre estaban compuestas casi exclusivamente de flogisto.

Durante unos experimentos con lo que hoy llamamos *oxígeno*, el químico inglés Joseph Priestley (1731-1810), descubrió su capacidad para mantener la combustión, pero describió este gas como *aire deflogistado*. La teoría del flogisto fue descartada por el químico francés Antoine Lavoisier, quien sostuvo que la combustión es esencialmente un proceso en el cual el oxígeno se combina con otra sustancia. Ya en el año 1800, la mayoría de los químicos habían reconocido la validez del experimento de Lavoisier y la teoría del flogisto quedó definitivamente desestimada. El resto de la historia de cómo se fue debilitando la química del flogisto y cómo acabó por ser sustituida por la del oxígeno será contada en el apartado 7.1.4., pero antes hemos de referirnos al programa newtoniano que tanto influyó en la química del setecientos.

7.1.3. *La química newtoniana*

El concepto newtoniano de *gravedad*, que tan buen resultado había dado en la explicación de todo género de movimientos, tanto

celestes como terrestres, se intentó aplicar también en química. Se pensó que los elementos que forman parte de las sustancias están vinculados probablemente por alguna fuerza similar a la gravitatoria, o quizá por la misma fuerza de gravedad. Sin embargo, tal vez por no aventurar el tipo de fuerza, o por preservar la identidad de la química frente a la física, se denominó «afinidad» (y no «atracción») a la tendencia a la reunión de ciertos principios elementales en forma de sustancias compuestas.

Trazaremos en este apartado la historia de la *química de las afinidades* a lo largo del siglo XVIII. En primer lugar, se puede mostrar que el concepto newtoniano de atracción universal se transmutó en otros afines en los más diversos campos. Fue, por así decirlo, un concepto de moda. Se puede ejemplificar sobre la trama químico-amorosa trazada por Goethe en afinidades electivas. En la tradición química tenemos que remontarnos a las *tablas de relaciones* (que no son llamadas todavía «afinidades») entre diferentes sustancias construidas por Geoffroy a principios del siglo XVIII. Para nombrar estas «relaciones» sin necesidad de prejuzgar que fuesen fuerzas newtonianas, se rescató un antiguo término usado en alquimia y con el significado ambiguo de simpatía, el de «afinidad». La disputa entre cartesianos y newtonianos vigente en Francia a la sazón puede haber sido la causa de que se evitase cuidadosamente hacer explícito el sesgo newtoniano de la noción. Hasta tal punto fue ambiguo el término, que el concepto de *afinidad*, en principio con vocación reduccionista, se utilizó (por parte de Venel, seguidor de Stahl) para distinguir agregados y mezclas y, por tanto, para distinguir uniones físicas y químicas. Aun así las afinidades fueron vistas como fuerzas extrañas de acción a distancia por los cartesianos.

Cabe apreciar el cambio que constituye el enfoque relacional en la química, que tradicionalmente se había ocupado de las propiedades de las sustancias. Las relaciones eran sólo la ocasión con que se manifestaban las propiedades pertenecientes a la sustancia. En la química newtoniana todas las propiedades son relaciones, del mismo modo que lo son las fuerzas newtonianas que requieren la presencia de al menos dos para existir, no ya para manifestarse. El estudio de las afinidades admitió en su día un enfoque descriptivo, pero también sugirió la búsqueda de la causa de las diferentes reacciones, del orden de desplazamiento entre las sustancias. La espe-

ranza que animaba este segundo programa era la de encontrar, en el fondo, una fuerza estrictamente newtoniana. Se trata, por tanto, de un programa de reducción de la química a la física del momento. La búsqueda de tablas lo más exhaustivas posible (como las de Bergman) fue también síntoma de compromiso newtoniano, ya que se trataba de consignar todas las posibles relaciones entre sustancias, pues sólo estas relaciones eran objeto propio de estudio para el químico newtoniano. La química no relacional podía conformarse con el conocimiento de las reacciones consideradas más reveladoras de las propiedades de cada sustancia, sin necesidad de emprender una compilación exhaustiva.

Expondremos a continuación las dos estrategias que se intentaron para reducir la *afinidad* a *atracción*. Según la primera (la de Boscovitch), la afinidad tendría que ser hallada como fuerza resultante del complejo edificio que constituye cada mezcla o agregado. Según la otra estrategia (la de Buffon y Macquer), la afinidad vendría dada por la modulación de la fuerza gravitacional en distancias cortas y en función de la forma de los cuerpos intervinientes en la reacción, pues en esta escala la reducción de masas a puntos (como se puede hacer con los planetas) no sería admisible. Algunos intentos de precisión y cuantificación de las fuerzas de afinidad fueron llevados a cabo por Guyton de Morveaux y Berthollet ya en los últimos años del siglo. Sin embargo, tanto en la construcción de tablas como en el intento cuantificador, las anomalías se agolpan y el sueño newtoniano para la química acaba por ser abandonado por completo.

El debate entre Berthollet y Proust introduce la noción de «proporciones definidas», que será de gran importancia para el desarrollo de la nueva química analítica. Dicha ley, conocida más popularmente como *ley de Proust*, establece que los elementos de un compuesto están todos presentes en una proporción fija en masa, independientemente de cómo se prepare el compuesto. Proust incluyó la ley en un ensayo que publicó en 1794. Sin embargo, esta ley no fue aceptada totalmente hasta que el químico sueco Jöns Jakob Berzelius la apoyó en 1811. En este punto se puede añadir una consideración sociológica: la química newtoniana, más preocupada por los problemas conceptuales que por el manejo práctico de las sustancias, se desarrolló mejor en Francia que en la Inglaterra

industrial, donde los químicos, como Dalton, tendieron a favorecer una visión más práctica de su ciencia.

7.1.4. *Del flogisto al oxígeno*

Lavoisier entiende que el camino reduccionista y newtoniano no es el único posible para la consolidación de la química como ciencia. Él y su generación contribuyeron a reformar la química en su práctica, en su teoría, en los métodos e instrumentos, en su nomenclatura, intereses y enseñanza. El punto de partida para tal cambio fue el estudio de la combustión. Lo cual nos devuelve a la química del flogisto y a sus debilidades. Comentaremos, a este respecto, los experimentos de Priestley mediante los que consiguió aislar lo que después se llamará «oxígeno» y que Priestley aún interpreta como *aire desflogistado*.

En la década de 1750, el físico británico Henry Cavendish[7] aisló el «aire inflamable» (hidrógeno). En 1766 descubrió las propiedades del hidrógeno. Su trabajo más celebre fue el descubrimiento de la composición del agua. Afirmaba que «el agua está compuesta por aire deflogistado (oxígeno) unido al flogisto (hidrógeno)». También introdujo el uso del mercurio en lugar del agua como el líquido sobre el que se recogían los gases, posibilitando la recogida de los gases solubles en agua. Esta variante fue utilizada con frecuencia por el químico y teólogo británico Joseph Priestley[8], quien recogió y estudió casi una docena de gases nuevos.

7. Henry Cavendish (1731-1810), físico y químico británico, conocido sobre todo por sus investigaciones en la química del agua y del aire, y por el cálculo de la densidad de la Tierra. Nació de padres británicos en Niza (Francia) y estudió en la Peterhouse, Universidad de Cambridge. Sus primeros trabajos versaban sobre el calor específico de las sustancias. Mediante lo que se conoce como *experimento Cavendish*, determinó que la densidad de la Tierra era 5,45 veces mayor que la densidad del agua, un cálculo muy cercano a la relación establecida por las técnicas modernas (5,5268 veces). Cavendish también determinó la densidad de la atmósfera y realizó importantes investigaciones sobre las corrientes eléctricas.

8. Joseph Priestley (Fieldhead, Yorkshire, 1733-1804). Fue ministro calvinista de la Iglesia en Nantwich (Cheshire) desde 1758 hasta 1761. Más tarde fue tutor en la Academia Warrington en Lancashire, donde destacó por su planificación

Químico británico, Joseph Priestley está considerado uno de los fundadores de la química moderna por sus aportaciones al campo de la experimentación y porque aisló y describió varios gases (el oxígeno entre otros). Priestley fue animado a dirigir experimentos sobre la nueva ciencia de la electricidad por el estadista y científico estadounidense Benjamin Franklin, a quien conoció en Londres en 1766. Priestley escribió al año siguiente *Historia de la electricidad*. Descubrió también que el carbón de leña es un conductor de la electricidad. En 1767 fue ministro de la Iglesia en Leeds (Yorkshire), donde desarrolló su interés por la investigación sobre los gases. Por su innovador trabajo experimental, fue elegido miembro de la Academia Francesa de Ciencias en 1772, el mismo año en que William Petty Fitzmaurice, segundo conde de Shelburne, le empleó como bibliotecario y compañero literario. Durante los experimentos que Priestley realizó en 1774, descubrió el oxígeno y describió su función en la combustión y en la respiración.

El descubrimiento más importante de Priestley fue el del oxígeno; pronto se dio cuenta de que este gas era el componente del aire ordinario responsable de la combustión, y que hacía posible la respiración animal. Sin embargo, su razonamiento fue que las sustancias combustibles ardían enérgicamente y los metales formaban escorias con más facilidad en este gas porque el gas no contenía flogisto. Por tanto, el gas aceptaba el flogisto presente en el combustible o el metal más fácilmente que el aire ordinario que ya contenía parte de flogisto. A este nuevo gas lo llamó «aire deflogistado» y defendió su teoría hasta el final de sus días. Defensor de la teoría del flogisto, Priestley no fue totalmente consciente de la importancia que su descubrimiento tendría en el futuro. Priestley también aisló y describió las propiedades de muchos otros gases, como el amoníaco, óxido nitroso, dióxido de azufre y monóxido de car-

de cursos prácticos para el ingreso de estudiantes en la industria y en el comercio. Debido a su apoyo declarado a la Revolución Francesa, las multitudes le quemaron su casa y sus pertenencias en 1791. Se fue a vivir a Londres y en 1794 emigró a Estados Unidos, donde siguió escribiendo durante el resto de su vida. Priestley murió en Northumberland, el 6 de febrero de 1804. Sus *Escritos sobre teología y otros temas* (25 vols., 1817-1832) y *Memorias y correspondencia* (2 vols., 1831-1832) recopilados después de su muerte, abarcan una gran cantidad de temas sobre ciencia, política y religión.

bono. Durante su carrera, se opuso a las teorías revolucionarias del químico francés Antoine Lavoisier, que dio su nombre al oxígeno y describió correctamente su función en la combustión.

Aunque la obra de experimentadores tan notables como Scheele, Priestley y Cavendish condujo a numerosísimos descubrimientos, su interpretación mediante la teoría del flogisto impedía todo progreso en el conocimiento de los fenómenos químicos. Mientras tanto, la química había hecho grandes progresos en Francia, particularmente en el laboratorio de Lavoisier. A éste le preocupaba el hecho de que los metales ganaban peso al calentarlos en presencia de aire, cuando se suponía que estaban perdiendo flogisto. En 1774 Priestley visitó Francia y le comentó a Lavoisier su descubrimiento del aire deflogistado. Lavoisier entendió rápidamente el significado de esta sustancia, y este hecho abrió el camino para la revolución química que estableció la química moderna.

Es Antoine Laurent Lavoisier[9] el que destruye la teoría del flogisto al establecer la naturaleza verdadera de la combustión, y que en su obra *Tratado elemental de Química*, aparecido en 1789, crea las bases de la química moderna que, en consecuencia, ha podido ser considerada como una ciencia francesa. A los 30 años escasos, Lavoisier, empleando la balanza que fue siempre su más exacto colaborador, muestra de un modo indiscutible que toda combustión en el aire resulta de una combinación con una parte del aire.

Lavoisier calcinó estaño en un vaso cerrado y comprobó que el peso total del vaso no había cambiado con la calcinación, que el metal transformado en su «cal» (el óxido) ha aumentado de peso, que el peso del aire contenido en el vaso ha disminuido y que el aumento de peso del metal es igual a la disminución de peso del aire.

9. Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), químico francés, considerado el fundador de la química moderna. Nació el 26 de agosto de 1743 en París y estudió en el Instituto Mazarino. Fue elegido miembro de la Academia de Ciencias en 1768. Ocupó diversos cargos públicos, incluidos los de director estatal de los trabajos para la fabricación de la pólvora en 1776, miembro de una comisión para establecer un sistema uniforme de pesas y medidas en 1790 y comisario del tesoro en 1791. Lavoisier trató de introducir reformas en el sistema monetario y tributario francés y en los métodos de producción agrícola. Como dirigente de los campesinos, fue arrestado y juzgado por el Tribunal Revolucionario y guillotinado el 8 de mayo de 1794.

Repite el experimento con otros metales y en 1777, con mercurio, que le lleva al análisis del aire estableciendo su composición, que fija en 27% de aire respirable, que llamó después «oxígeno» que significa «generador de ácidos», y 73% de aire no respirable, que llamó más tarde «azote» (el nitrógeno). La composición verdadera es 21% de oxígeno y 79% de nitrógeno. Con esto, el flogisto ha recibido el golpe de gracia. La teoría del flogisto fue sustituida rápidamente por la visión de que el oxígeno del aire combina con los elementos componentes de la sustancia combustible formando los óxidos de dichos elementos.

Lavoisier considera la combustión, la calcinación de los metales y la respiración como procesos de combinación más que de desintegración. Son procesos en los cuales se fija oxígeno atmosférico. El resto de los componentes del aire atmosférico no intervienen en la combustión. Por el contrario, la reducción de los metales exige la pérdida de oxígeno. El flogisto, que no se podía aislar, resultaba, por otra parte, inútil en la nueva teoría, por lo que no había necesidad alguna de postular su existencia. La utilización de la balanza y de las cámaras para recoger los productos gaseosos de las reacciones fueron las claves de su nueva orientación experimental. Empleó la balanza de laboratorio para dar apoyo cuantitativo a su trabajo, y demostró que, en una reacción química, la cantidad de materia es la misma al final y al comienzo de la reacción. Estos experimentos proporcionaron pruebas para la ley de la conservación de la materia («nada se pierde, nada se crea»). En todas sus investigaciones usó sistemáticamente este principio del que en realidad no fue autor, ya que era aceptado implícitamente por otros químicos y que debe atribuirse a Jean Rey (1583-1645). Este médico y químico francés estudió también la calcinación de los metales y, al atribuirla al aire, fue un precursor de Lavoisier.

Si uno de los supuestos principios elementales, el aire, resultó analizable, la misma suerte corrió un segundo, el agua. Lavoisier también investigó la composición del agua y denominó a sus componentes «oxígeno» e «hidrógeno». Lavoisier estableció la noción precisa de *cuerpo puro* al demostrar que la destilación repetida del agua no cambia sus propiedades. Adoptó el concepto de *elemento* de Boyle, pero lo basó en el resultado experimental; halló la composición del agua, no sólo por síntesis sino por análisis; dio al aire

inflamable de Cavendish el nombre de *hidrógeno* (engendrador de agua), y pensó que todos los ácidos contienen oxígeno, pues si bien se conoce el ácido muriático (el ácido clorhídrico), se le cree un ácido oxigenado.

En *Tratado elemental de química* (1789), Lavoisier definió los *elementos* como sustancias que no pueden ser descompuestas por medios químicos, y elaboró una teoría de la formación de compuestos a partir de los elementos. Con el químico francés Claude Louis Berthollet y otros, Lavoisier sustituyó el sistema antiguo de nombres químicos (basado en el uso alquímico) por la nomenclatura química racional utilizada hoy. La describió en *Método de nomenclatura química* (1787). La revolución química producida por las ideas de Lavoisier condujo a una nueva nomenclatura, que hoy nos parece tan natural, en la que los nombres de los cuerpos dan idea de su constitución. Esta labor fue debida, junto a Lavoisier, a Guyton de Morveau, Berthollet y Fourcroy, que introducen nombres nuevos en sustitución de los antiguos. El *aceite de vitriolo* pasa a ser el ácido sulfúrico; el *espíritu de Venus*, el ácido acético; el *azafrán de Marte*, el óxido férrico; la *lana filosófica*, el óxido de cinc; el *vitriolo de Chipre*, el sulfato cúprico; etc., y si el poeta desconoce el nuevo lenguaje, el químico encuentra en él el suyo propio.

La obra de Lavoisier, extensísima en el campo químico, invadió otras ciencias y, por sus estudios acerca de la respiración, puede también considerarse como el fundador de la fisiología. Lavoisier es el primero que realiza con verdadero método científico sus investigaciones, en las que su gran capacidad como experimentador es superada por la claridad de su pensamiento y por el rigor de las deducciones que saca de los hechos investigados. Escribió *Sobre la combustión* (1777) y *Consideraciones sobre la naturaleza de los ácidos* (1778). Después de morir en la guillotina en 1794, sus colegas continuaron su trabajo y establecieron la química moderna. Un poco más tarde, el químico sueco Jöns Jakob, barón de Berzelius propuso representar los símbolos de los átomos de los elementos por la letra o par de letras iniciales de sus nombres.

7.1.5. *El desarrollo de la teoría atómica*

La teoría atomista reformulada por la química del siglo XVIII ha sido, desde entonces, una pieza clave en esta ciencia. Expondremos las conexiones con el atomismo griego y con su reformulación por parte de Gassendi y algunos de los científicos del siglo XVII. La clarificación terminológica es aquí de gran importancia, pues la noción de átomo se empleó en la antigua Grecia, en la física del siglo XVII, en la química del siglo XVIII y en la ciencia actual, tanto en física como en química. Sin embargo, las acepciones de «átomo» en estos diferentes contextos tienen que ser distinguidas. En este caso, suele ser motivo de confusión utilizar como guía la etimología.

Las sustancias y principios de que habla la química pueden entenderse como formados por un continuo, o bien por partículas. Podemos entender que las partículas son todas iguales, y la diferencia entre unas sustancias y otras depende de la estructura que formen en su composición, o bien, por el contrario, que existen partículas de diferentes tipos. Cada tipo de partículas correspondería a una de las sustancias simples, no analizables, mientras que las sustancias compuestas lo estarían de partículas de más de una clase. Las partículas serían atómicas si no pudiesen ser divididas en partes, y no atómicas, en caso contrario. Sin embargo, las partículas que cuentan en química, las que podemos asociar con elementos, recibieron el nombre de «átomos» y éste se ha mantenido a pesar de que más tarde se ha sabido que, en realidad, pueden ser divididas.

La virtud cardinal de la teoría atómica en química consistió en posibilitar una adecuada teoría del calor y en que clarificó la naturaleza de la combinación química. Aún Lavoisier concebía el calor como un fluido, el calórico, desprendido al producirse una combustión o similar. La teoría del fluido calórico dejaba sin explicar el hecho de que las variaciones de temperatura no se acompañen de cambios en el peso de un cuerpo. El atomismo permitía una teoría del calor como movimiento de las partículas que componen un cuerpo (que ya había sido propuesta por F. Bacon). La primera relación cuantitativa entre el calor y otras formas de energía fue observada en 1798 por el físico y estadista estadounidense de origen inglés Benjamin Thompson, conde de Rumford, que observó que el calor pro-

ducido al taladrar el ánima de un cañón era aproximadamente proporcional al trabajo empleado (en mecánica, el trabajo es el producto de la fuerza que actúa sobre un cuerpo por la distancia recorrida por el cuerpo en la dirección de esta fuerza durante su aplicación).

En cuanto a la clarificación de la naturaleza de la combinación química, las tesis de Dalton fueron muy ilustrativas. Según Dalton [10], el cambio químico se produce por un cambio en la composición atómica de las sustancias, sin que los átomos mismos resulten afectados. Toda transformación no es sino una nueva combinación de átomos a partir de una inicial. En Dalton, como en Lavoisier, es de primera importancia este principio de conservación de la materia. A juicio de Dalton, los átomos de un elemento son todos iguales entre sí y difieren de los de cualquier otro elemento por el peso. Esta tesis, como se sabe, ha tenido que ser revisada en vista de la aparición de isótopos de un mismo elemento y de heterótopos isobáricos. En realidad, la revisión supone un cambio en el concepto de átomo, que no vendrá ya identificado por su peso, sino por su número atómico, que depende de su estructura interna, cuya existencia no podía tener en cuenta Dalton. En cualquier caso, su contribución más importante a la ciencia fue su teoría de que la mate-

10. John Dalton (Eaglesfield, Cumberland, 1766-Manchester, 1844), químico y físico británico, desarrolló la teoría atómica en la que se basa la ciencia física moderna. Fue educado en una escuela cuáquera de su ciudad natal, en donde comenzó a enseñar a la edad de 12 años. En 1781 se trasladó a Kendal, donde dirigió una escuela con su primo y su hermano mayor. Se fue a Manchester en 1793 y allí pasó el resto de su vida como profesor, primero en el New College y más tarde como tutor privado. En 1787 Dalton comenzó una serie de estudios meteorológicos que continuó durante 57 años, acumulando unas 200.000 observaciones y medidas sobre el clima en el área de Manchester. El interés de Dalton por la meteorología le llevó a estudiar un gran número de fenómenos así como los instrumentos necesarios para medirlos. Fue el primero en probar la teoría de que la lluvia se produce por una disminución de la temperatura, y no por un cambio de presión atmosférica. Sin embargo, a la primera obra de Dalton, *Observaciones y ensayos meteorológicos* (1793), se le prestó muy poca atención. En 1794 presentó en la Sociedad Filosófica y Literaria de Manchester un ensayo sobre el daltonismo, un defecto que él mismo padecía; el ensayo fue la primera descripción de este fenómeno, denominado así por el propio Dalton. Dalton fue elegido miembro de la Sociedad Real de Londres en 1822 y cuatro años más tarde se le concedió la medalla de oro de esta sociedad.

ria está compuesta por átomos de diferentes masas que se combinan en proporciones sencillas para formar compuestos. Esta teoría, que Dalton formuló por primera vez en 1803, es la piedra angular de la ciencia física moderna.

En 1808 se publicó su obra *Nuevo sistema de filosofía química*, que incluía las masas atómicas de varios elementos conocidos en relación con la masa del hidrógeno. Sus masas no eran totalmente precisas, pero constituyen la base de la clasificación periódica moderna de los elementos. Dalton llegó a su teoría atómica a través del estudio de las propiedades físicas del aire atmosférico y de otros gases. En el curso de la investigación, descubrió la ley conocida como *ley de Dalton de las presiones parciales*, según la cual, la presión ejercida por una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales que ejercería cada uno de los gases si él solo ocupara el volumen total de la mezcla. Las partículas mínimas de un compuesto, según Dalton, serían todas iguales en cuanto a su composición y, dado que los átomos se diferencian por el peso, la relación entre el peso de los componentes tenía que conservarse en cualquier porción del compuesto que se tomase (cosa que no sucederá con los meros agregados mecánicos). La regla ya conocida empíricamente, a la que nos hemos referido antes, de las proporciones definidas queda así explicada. La ley de las proporciones múltiples, para compuestos distintos sintetizados a partir de los mismos elementos, también es consecuencia de la teoría de Dalton. Se pueden mencionar, por último, las contrastaciones experimentales llevadas a cabo por Berzelius de las consecuencias de la teoría atómica de Dalton.

7.2. Las matemáticas ilustradas

Durante el resto del siglo XVII y buena parte del XVIII, los discípulos de Newton y Leibniz se basaron en sus trabajos para resolver diversos problemas de física, astronomía e ingeniería, lo que les permitió, al mismo tiempo, crear campos nuevos dentro de las matemáticas. Así, los hermanos Jean y Jacques Bernoulli[11] inventaron

11. Jacques Bernoulli (Basilea, 1654-ídem, 1705) realizó numerosas investigaciones sobre diversas ramas de la matemática, especialmente sobre cálculo

el cálculo de variaciones y el matemático francés Gaspard Monge la geometría descriptiva. Joseph Louis Lagrange [12], también francés, uno de los matemáticos más importantes del siglo XVIII, dio un tratamiento completamente analítico de la mecánica en su gran obra *Mecánica analítica* (1788), en donde se pueden encontrar las famosas *ecuaciones de Lagrange* para sistemas dinámicos. Además, creó el cálculo de variaciones, hizo contribuciones al estudio de las ecuaciones diferenciales y la teoría de números, y desarrolló la teoría de grupos. Entre sus investigaciones en astronomía destacan los cálculos de la libración de la Luna y los movimientos de los planetas.

Su contemporáneo Laplace [13] escribió *Teoría analítica de las probabilidades* (1812) y *Ensayo filosófico sobre la probabilidad*

infinitesimal, geometría y cálculo de probabilidades. En 1717 se publicó *Ars coniectandi* (El arte de pronosticar), obra póstuma en la que introducía los conceptos de posibilidad, probabilidad y certeza. Enunció un teorema según el cual la razón de frecuencias entre el número de veces que se presenta un suceso y el número de experimentos realizados tiende a la probabilidad de este suceso cuando el número de experimentos tiende a infinito; Jean Bernoulli (Basilea, 1667-ídem, 1748), hermano y discípulo de Jacques, estudió, además de matemática, medicina y filología, y realizó también interesantes trabajos de astronomía y física. Sus investigaciones sobre cálculo diferencial quedaron recogidas en la obra de L'Hôpital. Se le considera como el fundador del cálculo exponencial; Daniel Bernoulli (Groninga, 1700-Basilea, 1782), hijo de Jean, estudió matemática, física, medicina y fisiología. Fue profesor en San Petersburgo y en Basilea, y miembro de diversas academias científicas (Berlín, San Petersburgo, Royal Society). Sentó las bases de la mecánica sobre el principio de conservación de la energía. Realizó trabajos sobre la mecánica de los fluidos y es de especial importancia su *Tratado de hidrodinámica* (1738). Desarrolló una extensa obra matemática.

12. Joseph Louis, Conde de Lagrange (Turín, 1736-1813). Estudió en la Universidad de su ciudad natal. Fue nombrado profesor de geometría en la Academia Militar de Turín a los 19 años y en 1758 fundó una sociedad que más tarde se convertirá en la Academia de Ciencias de Turín. En 1766 fue nombrado director de la Academia de Ciencias de Berlín y, 20 años después llegó a París invitado por el rey Luis XVII. Durante el período de la Revolución Francesa, estuvo al cargo de la comisión para el establecimiento de un nuevo sistema de pesos y medidas. Después de la Revolución, fue profesor de la nueva École Normale y, con Napoleón, fue miembro del Senado y recibió el título de conde.

13. Pierre Simon, marqués de Laplace (1749-1827), astrónomo y matemático francés, conocido por haber aplicado con éxito la teoría de la gravitación de New-

(1814). Pero el trabajo más importante que le valió el sobrenombre de «el Newton francés», fue el desarrollar el análisis matemático del sistema de astronomía gravitacional elaborado por el matemático, físico y astrónomo británico Isaac Newton. Demostró que los movimientos planetarios son estables y que las perturbaciones producidas por la influencia mutua de los planetas o por cuerpos externos, como los cometas, solamente son temporales. Trató de dar una teoría racional del origen del Sistema Solar en su hipótesis nebular de la evolución estelar. En *Mecánica celeste* (5 volúmenes, 1799-1825), Laplace sistematizó toda la obra matemática que se había realizado sobre la gravitación. *Exposición del sistema del mundo* (1796) contiene un resumen de la historia de la Astronomía.

El gran matemático del siglo XVIII fue el suizo Leonhard Euler[14], quien aportó ideas fundamentales sobre el cálculo y otras ramas de las matemáticas y sus aplicaciones. Euler escribió textos sobre cálculo, mecánica y álgebra que se convirtieron en modelos paradigmáticos para otros autores interesados en estas disciplinas. En su *Introducción al análisis de los infinitos* (1748), Euler realizó el primer tratamiento analítico completo del álgebra, la teoría de

ton a los movimientos planetarios en el Sistema Solar. Nació en Normandía y estudió en la Escuela Militar de Beaumont. En 1767 fue profesor de matemáticas en la Escuela Militar de París y en 1785 fue elegido miembro de la Academia de Ciencias Francesa.

14. Leonhard Euler (Basilea, 1707-San Petersburgo, 1783) Matemático suizo. A los veinte años consiguió el primero de los doce premios que, con el tiempo, había de concederle la Academia Francesa. Euler estudió en la Universidad de Basilea con el matemático suizo Jeann Bernoulli; se licenció a los 16 años y, por invitación de Catalina I de Rusia, se incorporó a la Academia de San Petersburgo merced a la gestión de los Bernoulli, instalados allí desde 1725. Fue nombrado catedrático de Física en 1730 y de Matemáticas en 1733. En 1741 fue profesor de Matemáticas en la Academia de Ciencias de Berlín a petición del rey de Prusia, Federico el Grande. En 1733 sucedió a Daniel Bernoulli al frente de la sección de matemáticas de dicha Academia. En 1766 aceptó una oferta de Catalina la Grande para reincorporarse a San Petersburgo, donde permaneció hasta su muerte. Aunque obstaculizado por una pérdida parcial de visión antes de cumplir 30 años y por una ceguera casi total al final de su vida, Euler produjo numerosas obras matemáticas importantes, así como reseñas matemáticas y científicas.

ecuaciones, la trigonometría y la geometría analítica. En esta obra trató el desarrollo de series de funciones y formuló la regla por la que sólo las series convergentes infinitas pueden ser evaluadas adecuadamente. También estudió las superficies tridimensionales y demostró que las secciones cónicas se representan mediante la ecuación general de segundo grado en dos dimensiones. Otras obras trataban del cálculo (incluido el cálculo de variaciones), la teoría de números, números imaginarios y álgebra determinada e indeterminada. Entre las más destacadas se encuentran: *Instituciones del cálculo diferencial* (1755), *Instituciones del cálculo integral* (1768-1770) e *Introducción al álgebra* (1770).

Euler, aunque principalmente era matemático, realizó también aportaciones a la astronomía, la mecánica, la óptica y la acústica. El primer logro científico importante de Euler lo constituyó su innovadora introducción (1736) del método analítico en la exposición de la mecánica newtoniana, esforzándose por reducir al mínimo la tradicional confianza en la demostración por métodos geométricos. De la mecánica, Euler trasladó estos planteamientos al cálculo infinitesimal, y en 1748 publicó la primera obra de análisis matemático en la que el papel principal estaba reservado a las funciones en lugar de a las curvas. La geometría fue, con todo, un campo en el que Euler realizó importantes contribuciones, siendo uno de sus resultados más conocidos la fórmula [15] que relaciona el número de caras, vértices y aristas de un poliedro regular. Sus obras completas, que abarcan más de ochocientos tratados, ocupan 87 volúmenes.

Sin embargo, el éxito de Euler y de otros matemáticos para resolver problemas tanto matemáticos como físicos utilizando el cálculo sólo sirvió para acentuar la falta de un desarrollo adecuado y justificado de las ideas básicas del cálculo. La teoría de Newton estaba basada en la cinemática y las velocidades, la de Leibniz, en los infinitésimos, y el tratamiento de Lagrange era completamente algebraico y basado en el concepto de las series infinitas. Todos estos sistemas eran inadecuados en comparación con el modelo lógico de

15. Es el conocido Teorema de Euler, en virtud del cual, en un poliedro regular, el número de caras más el número de vértices es igual al número de aristas más dos (C + V = A + 2).

la geometría griega, y este problema no fue resuelto hasta el siglo posterior.

7.3. La física ilustrada

La física europea del siglo XVIII es la física-matemática, la física newtoniana o mecanicista fundada sobre la concepción atomista de la materia y el espacio infinito como receptáculo de acciones que ejercen entre los cuerpos que en él interaccionan. La matemática inseparablemente asociada a ella es el nuevo cálculo diferencial e integral, rápidamente difundido entre los científicos que se habían unido a la nueva física.

7.3.1. *Teorías sobre el calor*

Hasta principios del siglo XIX, el efecto del calor sobre la temperatura de un cuerpo se explicaba postulando la existencia de una sustancia o forma de materia invisible, denominada *calórico*. Según la *teoría del calórico*, un cuerpo de temperatura alta contiene más calórico que otro de temperatura baja; el primero cede parte del calórico al segundo al ponerse en contacto ambos cuerpos, con lo que aumenta la temperatura de dicho cuerpo y disminuye la suya propia. Aunque la teoría del calórico explicaba algunos fenómenos de la transferencia de calor, las pruebas experimentales presentadas por el físico británico Benjamin Thompson en 1798 y por el químico británico Humphry Davy en 1799 sugerían que el calor, igual que el trabajo, corresponde a energía en tránsito (proceso de intercambio de energía).

Con la invención del termómetro en el siglo XVII y su posterior perfeccionamiento, se dio el paso decisivo en la aparición de una teoría del calor. La fundamental distinción entre grado de calor (temperatura) y cantidad de calor (capacidad calorífica) permitió, ya en el siglo XVIII, analizar ambas magnitudes por separado y estudiar las leyes a que obedecían, aun sin precisar exactamente su significado. Así, el perfeccionamiento del termómetro se convirtió en un problema fundamental para la elaboración de una teoría del

fenómeno calorífico. La invención del termómetro se atribuye a Galileo, aunque el termómetro sellado no apareció hasta 1650. Los modernos termómetros de alcohol y mercurio fueron inventados por el físico alemán Gabriel Fahrenheit [16], quien también propuso la primera escala de temperaturas ampliamente adoptada que lleva su nombre. En la escala Fahrenheit, el punto de congelación del agua corresponde a 32 grados (32 ºF) y su punto de ebullición a presión normal es de 212 ºF. En la escala centígrada, o Celsius, diseñada por el astrónomo sueco Anders Celsius [17] y utilizada en la mayoría de los países, el punto de congelación es 0 grados (0 ºC) y el punto de ebullición es de 100 ºC.

Celsius fue promotor y director de la construcción del observatorio astronómico de Upsala en 1740. Dos años más tarde, presentó en la Academia de Ciencias Sueca una propuesta sobre el uso de una nueva escala termométrica centesimal, tomando como referencia los puntos de congelación y ebullición del agua. Hasta entonces, todas las escalas de medición habían sido establecidas en virtud de las investigaciones sobre las propiedades de los gases llevadas a cabo por Robert Boyle en 1661, y sólo los trabajos de Fahrenheit habían demostrado la influencia de la presión atmosférica en la temperatura de los cuerpos. De inmediato, la escala Cel-

16. Daniel Gabriel Fahrenheit (Danzig, actualmente Gdansk, Polonia, 1686-1736). Se instaló en los Países Bajos y se dedicó a la fabricación de instrumentos meteorológicos. En 1714 construyó el primer termómetro con mercurio en vez de alcohol. Con el uso de este termómetro, concibió la escala de temperatura conocida por su nombre. Fahrenheit también inventó un higrómetro de diseño perfeccionado. Descubrió que además del agua, hay otros líquidos que tienen un punto de ebullición determinado y que estos puntos de ebullición varían con los cambios de presión atmosférica.

17. Anders Celsius (Upsala, 1701-ídem, 1744). Desde 1730 hasta 1744, fue catedrático de Astronomía en su Universidad, construyó el observatorio de esta ciudad en 1740 y fue nombrado su director. Fue el primero que propuso el termómetro centígrado, que tiene una escala de 100 grados que separan el punto de ebullición y el de congelación del agua. En 1733 publicó su colección de 316 observaciones sobre las auroras boreales y las perturbaciones climáticas que éstas producían, así como otras obras menores de astronomía. En 1737 formó parte de la expedición francesa organizada para medir el grado de meridiano situado en las regiones polares y que sirvió para confirmar las teorías de Newton sobre el achatamiento de los polos.

sius, que no recibió este nombre hasta 1948, fue aceptada en los medios científicos europeos y, en la actualidad, es la escala de medición utilizada universalmente. Además de diversos tratados en los que expone y justifica su escala de medición, Celsius publicó dos importantes tratados: *Dissertatio de nova methodo distantiam Solis a Terra determinandi* (Disertación sobre el método para determinar la distancia del Sol a la Tierra, 1730) y *De observationibus pro figura telluris determinanda in Gallia habitis* (1738), en el que recogía sus experiencias como miembro de la expedición francesa a las regiones polares.

Posteriormente, entre 1840 y 1849, el físico británico James Prescott Joule, en una serie de experimentos muy precisos, demostrará de forma concluyente que el calor es una transferencia de energía y que puede causar los mismos cambios en un cuerpo que el trabajo.

7.3.2. *La electricidad y el magnetismo*

El primer estudio científico de los fenómenos eléctricos no apareció hasta el 1600, cuando se publicaron las investigaciones del médico británico William Gilbert, quien aplicó el término «eléctrico» (del griego *elektron*, ámbar) a la fuerza que ejercen esas sustancias después de ser frotadas. También distinguió entre las acciones magnética y eléctrica. La primera máquina para producir una carga eléctrica fue descrita en 1672 por el físico alemán Otto von Guericke[18]. Estaba formada por una esfera de azufre movida por una ma-

18. Otto von Guericke (Magdeburgo, Alemania, 1602-1686). Estudió derecho en las universidades de Leipzig y Jena y matemáticas en la Universidad de Leiden. Después de oír hablar de los experimentos del científico francés Blaise Pascal y de los científicos italianos Galileo y Evangelista Torricelli en relación con la presión atmosférica, comenzó a trabajar en las propiedades del aire y en la creación de un vacío. En el transcurso de estos experimentos, inventó la primera bomba de aire en 1650. En 1654, realizó ante la Dieta Imperial de Ratisbona la famosa demostración de los hemisferios de Magdeburgo. Dos hemisferios huecos de bronce estaban encajados y con una bomba se extraía el aire de la esfera resultante. Dos recuas de ocho caballos no pudieron separar las dos mitades. Cuando se insufló aire al interior de la esfera, los hemisferios se desprendieron. Hoy se siguen utilizando hemisferios vacíos similares en las demostraciones de la presión atmosférica en la-

nivela, sobre la que se inducía una carga cuando se apoyaba la mano sobre ella. El científico francés Charles François de Cisternay Du Fay fue el primero en distinguir claramente los dos tipos diferentes de carga eléctrica: positiva y negativa. El condensador más antiguo, la botella de Leyden, fue desarrollado en 1745. Estaba formado por una botella de vidrio recubierta por dos láminas de papel de estaño, una en el interior y otra en el exterior. Si se cargaba una de las láminas con una máquina electrostática, se producía una descarga violenta si se tocaban ambas láminas a la vez.

El inventor estadounidense Benjamin Franklin [19] dedicó mucho tiempo a la investigación de la electricidad. Su teoría sobre la electricidad se basaba en la noción newtoniana de la repulsión mutua de las partículas que el científico inglés había expuesto en su *Óptica*. Su famoso experimento con una cometa o papalote demostró que la electricidad atmosférica que provoca los fenómenos del re-

boratorio. Von Guericke también investigó en otros campos de la ciencia. En 1672 desarrolló la primera máquina para producir una carga eléctrica. En astronomía trabajó en la predicción del regreso periódico de los cometas.

19. Benjamin Franklin (Boston, 1706-Filadelfia, 1790), filósofo, político y científico estadounidense, cuya contribución a la causa de la guerra de la Independencia estadounidense y gobierno federal instaurado tras ella le situaron entre los más grandes estadistas del país. En 1757 Franklin fue enviado a Inglaterra por la Asamblea de Pensilvania para solicitar al rey el derecho de recaudar impuestos por la propiedad de la tierra. Al acabar su misión se quedó cinco años más en Inglaterra como primer representante de las colonias estadounidenses. Durante este período entabló amistad con el químico Joseph Priestley, el filósofo e historiador David Hume y el economista Adam Smith. En 1775 Franklin viajó a Canadá para conseguir su apoyo y cooperación en la guerra en favor de las colonias. A su regreso fue uno de los cinco miembros del comité designado para redactar la Declaración de Independencia. El 6 de febrero de 1778 Franklin negoció los tratados de comercio y amistad con Francia y España que posteriormente cambiaron el rumbo de la guerra. Siete meses después fue nombrado por el Congreso ministro plenipotenciario de Estados Unidos en Francia. En marzo de 1785 Franklin renunció a su cargo en Francia para regresar a Filadelfia, donde fue elegido inmediatamente presidente del Consejo Ejecutivo de Filadelfia (1785-1787). En 1787 fue nombrado delegado de la convención que redactó la Constitución de Estados Unidos. Profundamente interesado en proyectos filantrópicos, uno de sus últimos actos públicos fue firmar una petición al Congreso, el 12 de febrero de 1790, como presidente de la Sociedad Abolicionista de Pensilvania, instando a la abolición de la esclavitud y la supresión del comercio de esclavos.

lámpago y el trueno es de la misma naturaleza que la carga electrostática de una botella de Leyden[20]. Inventó el pararrayos y desarrolló una teoría según la cual la electricidad es un fluido único que existe en toda la materia, y sus efectos pueden explicarse por el exceso o la escasez de ese fluido. La teoría del *fluido único* le sirvió para explicar los dos tipos de electricidad, positiva y negativa. En reconocimiento a sus impresionantes logros científicos, Franklin recibió títulos honorarios de las universidades de Saint Andrews y Oxford. También fue elegido miembro de la Sociedad Real de Londres y en 1753 fue galardonado con la Medalla Copley por sus destacadas contribuciones a la ciencia experimental. Benjamin Franklin fue el principal seguidor de los postulados de Isaac Newton en América.

La ley de que la fuerza entre cargas eléctricas es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre las cargas fue demostrada experimentalmente por el químico británico Joseph Priestley alrededor de 1766. Priestley también demostró que una carga eléctrica se distribuye uniformemente sobre la superficie de una esfera metálica hueca, y que en el interior de una esfera así no existen cargas ni campos eléctricos. Charles de Coulomb[21] inventó una balan-

20. La Botella de Leyden es uno de los condensadores más simples, descubierto alrededor de 1745, de forma independiente, por el físico holandés Pieter van Musschenbroek de la Universidad de Leyden y el físico alemán Ewald Georg von Kleist. La botella de Leyden original era una botella de cristal llena de agua y cerrada, con un alambre o una aguja que traspasaba el tapón y estaba en contacto con el agua. La botella se cargaba sujetándola con una mano y poniendo la parte saliente del alambre en contacto con un dispositivo eléctrico. Cuando se interrumpía el contacto entre el alambre y la fuente eléctrica y se tocaba el alambre con la mano, se producía una descarga que se presentaba como una sacudida violenta. La botella de Leyden se utiliza todavía para demostraciones y experimentos en los laboratorios.

21. Charles de Coulomb (1736-1806), físico francés, pionero en la teoría eléctrica. Nació en Angulema y trabajó como ingeniero militar al servicio de Francia en las Indias Occidentales (actuales Antillas), pero se retiró a Blois (Francia) durante la Revolución Francesa para continuar con sus investigaciones en magnetismo, rozamiento y electricidad. En 1777 inventó la balanza de torsión para medir la fuerza de atracción magnética y eléctrica. Con este invento, Coulomb pudo establecer el principio, conocido ahora como ley de Coulomb, que rige la interacción entre las cargas eléctricas. En 1779 publicó el tratado *Teoría de las máquinas simples*, un análisis del rozamiento en las máquinas. Después de la Revolución,

za de torsión para medir con precisión la fuerza que se ejerce entre las cargas eléctricas. Con ese aparato confirmó las observaciones de Priestley y demostró que la fuerza entre dos cargas también es proporcional al producto de las cargas individuales. Una manifestación habitual de la electricidad es la fuerza de atracción o repulsión entre dos cuerpos estacionarios que, de acuerdo con el principio de acción y reacción, ejercen la misma fuerza eléctrica uno sobre otro.

La carga eléctrica de cada cuerpo puede medirse en culombios. La fuerza entre dos partículas con cargas q_1 y q_2 puede calcularse a partir de la ley de Coulomb:

$$F_{elec} = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

según la cual la fuerza es proporcional al producto de las cargas dividido entre el cuadrado de la distancia que las separa. La constante de proporcionalidad K depende del medio que rodea a las cargas. La ley se llama así en honor al físico francés Charles de Coulomb. Faraday, que realizó numerosas contribuciones al estudio de la electricidad a principios del siglo XIX, también desarrolló la teoría de las líneas de fuerza eléctricas.

Los físicos italianos Luigi Galvani[22] y Alessandro Volta[23] llevaron a cabo los primeros experimentos importantes con corrientes

Coulomb salió de su retiro y ayudó al nuevo gobierno en la planificación de un sistema métrico decimal de pesos y medidas. La unidad de medida de carga eléctrica, el culombio, recibió este nombre en su honor.

22. Luigi Galvani, médico y físico italiano (Bolonia 1737-ídem, 1798). Hijo de un médico, estudió medicina en su ciudad natal y se licenció en 1759. Se dedicó al ejercicio privado, a la investigación anatómica y a la enseñanza. En 1766 el Senado de Bolonia le nombró conservador del Museo Anatómico y en 1775 ocupó la cátedra de anatomía y ginecología de la Universidad de Bolonia, que antes desempeñaba su maestro, Domenico Galeazzi, con cuya hija se casó. En 1782 fue elegido profesor de obstetricia del Istituto delle Scienze. Sus primeras investigaciones se desarrollaron en el campo de la Anatomía comparada, terreno en el que destaca su estudio sobre el oído de las aves. A partir de 1770 se interesó por la fisiología. Su nombre sigue asociándose con la electricidad en los términos galvanismo y galvanización.

23. Alessandro, conde Volta (1745-1827), físico italiano, conocido por sus trabajos sobre la electricidad. Nació en Como y estudió allí, en la escuela pública.

eléctricas. El interés de Galvani por los músculos le llevó a desarrollar, en 1780, un experimento en el cual sometió los músculos de una pata de rana diseccionada a una descarga eléctrica, procedente de una botella de Leyden. La chispa produjo contracciones espasmódicas en el músculo, lo cual no era sorprendente porque ya se conocía la acción de la electricidad sobre los músculos vivos, pero Galvani quiso llegar más lejos y sometió la pata de rana a los efectos de una tormenta eléctrica, sujetándola a dos ganchos de latón en el exterior de su ventana. El anca se contrajo, por supuesto, pero lo más sorprendente fue que sus espasmos continuaron cuando ya había desaparecido la tormenta. Galvani dedujo que la electricidad, en ese caso, procedía de los músculos del animal.

Su contemporáneo Alessandro Volta llegó a la conclusión opuesta, es decir, que la electricidad procedía de los metales, y para demostrarlo desarrolló la pila eléctrica (1800). En realidad Galvani también tenía su parte de razón, pues aun cuando en el caso de su experimento la electricidad era producida por los metales, también existía una electricidad de origen animal, pero esta teoría no fue confirmada hasta que Emile du Bois-Reymond estableció la electrofisiología muchos años después. Realizó gran número de experimentos e investigaciones basadas en este descubrimiento de la estimulación de los músculos por medio de corrientes eléctricas, fundando la ciencia denominada *galvanismo*, en la que posteriormente se basarían los electrocardiogramas y los electroencefalogramas.

En 1800, Volta presentó la primera fuente electroquímica artificial de diferencia de potencial, un tipo de pila eléctrica o batería. La existencia de un campo magnético en torno a un flujo de corriente eléctrica fue demostrada por el científico danés Hans Christian

En 1774 fue profesor de física en la Escuela Regia de Como y al año siguiente inventó el electróforo, un instrumento que producía cargas eléctricas. Durante 1776 y 1777 se dedicó a la química, estudió la electricidad atmosférica e ideó experimentos como la ignición de gases mediante una chispa eléctrica en un recipiente cerrado. En 1779 fue profesor de Física en la Universidad de Pavía, cátedra que ocupó durante 25 años. Hacia 1800 había desarrollado la llamada pila de Volta, precursora de la batería eléctrica, que producía un flujo estable de electricidad. Por su trabajo en el campo de la electricidad, Napoleón le nombró conde en 1801. La unidad eléctrica conocida como voltio recibió ese nombre en su honor.

Oersted en 1819, y en 1831 Faraday demostrará que la corriente que circula por una espira de cable puede inducir electromagnéticamente una corriente en una espira cercana.

7.3.3. *La astronomía*

A finales del siglo XVIII, William Herschel construyó los telescopios más grandes de su época y los utilizó para explorar los cielos. Herschel construye su célebre telescopio de 12 m de longitud. No sólo descubrió el planeta Urano en 1781, sino también el sexto y el séptimo satélites de Saturno, numerosos satélites y estrellas dobles, además de incontables cúmulos de estrellas y nebulosas. Sus recuentos en diferentes regiones de los cielos convencieron a Herschel de que el Sol es sólo una más de las innumerables estrellas dispuestas como los granos de basalto en una piedra de molino. Siguiendo con esta analogía, un observador que vive en un planeta cercano al Sol, en la profundidad de la piedra de molino, mira hacia su borde y ve un cinturón de estrellas lejanas y débiles denominado Vía Láctea, que se extiende a lo largo del cielo. Al mirar arriba o abajo, este observador ve relativamente pocas estrellas cercanas. Modernas investigaciones confirman este cuadro, excepto que hoy se sabe que el Sistema Solar está a unos dos tercios de su tamaño desde el centro. El nombre de «Vía Láctea» suele aplicarse a todo el sistema o galaxia, también conocida como *la Galaxia*. Las estrellas del sistema están todas unidas por la gravedad y giran alrededor de un centro distante. En 1798, William Herschel descubre la banda infrarroja del espectro luminoso.

7.4. La medicina del siglo XVIII

Tras los descubrimientos del astrónomo polaco Nicolás Copérnico, el astrónomo y físico italiano Galileo y el matemático inglés Isaac Newton, la medicina del siglo XVIII se esforzó en adaptarse a la investigación científica. Sin embargo, todavía disfrutaban de credibilidad teorías extrañas y sin fundamento. El médico británico William Cullen atribuyó la enfermedad a un exceso o deficiencia

de energía nerviosa; y el médico John Brown de Edimburgo creyó que la debilidad o la estimulación inadecuada del organismo era la causa de la enfermedad. En relación con sus teorías, conocidas como *sistema brunoniano*, la estimulación debía incrementarse con tratamientos irritantes de grandes dosis de fármacos. El médico alemán Samuel Hahnemann desarrolló el sistema de la homeopatía, a finales del siglo XVIII. Insistió en las pequeñas dosis de fármacos, en contra de lo postulado por el sistema brunoniano.

Otros sistemas particulares propuestos hacia finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX fueron la frenología, teoría formulada por los médicos alemanes Johann Kaspar Spurzheim y Franz Joseph Gall, quienes creían que del examen del cráneo podía extraerse información sobre las funciones mentales; y la teoría del magnetismo animal o mesmerismo, desarrollada por el médico austriaco Franz Mesmer, quien creía en la existencia de una fuerza magnética con poderosa influencia en el cuerpo humano.

Durante el s. XVIII, se fundaron varias escuelas médicas, entre ellas, las de Viena y Edimburgo y se estableció la cirugía sobre firmes principios, gracias al escoés John Hunter (1728-1793). De vital importancia fueron los trabajos del médico británico William Smellie, en el siglo XVIII, cuyas innovaciones en obstetricia rompieron el monopolio de las matronas; así como los del anatomista y obstetra William Hunter, hermano del famoso anatomista y cirujano británico John Hunter, que demostró el valor de la cirugía experimental. William Hunter revitalizó el estudio de la anatomía en Inglaterra y, basándose en el trabajo de Smellie, estableció la obstetricia como una rama separada de la medicina.

Entre las contribuciones de este período destacan el establecimiento de la patología por el anatomista y patólogo italiano Giovanni Battista Morgagni (1682-1771), quien argumentó que la enfermedad está localizada en partes del cuerpo en lugar de estar dispersa por todo el organismo; los estudios de fisiología experimental del naturalista y biólogo italiano Spallanzani, quien refutó la doctrina de la generación espontánea; la investigación en fisiología neuromuscular del científico suizo Albrecht von Haller (1708-1777), con su teoría de que las fibras nerviosas actuaban sobre músculos «irritables» para producir el movimiento; y los estudios de la tensión arterial del botánico, químico y fisiólogo británico

Stephen Heles. En botánica, hay que citar al taxónomo botánico sueco Carl von Linneo quien realizó un trabajo fundamental al establecer el sistema binomial (con dos términos) moderno de nomenclatura referente a la clasificación. El médico, botánico y mineralogista William Withering, que introdujo el fármaco digitalina es otro de los protagonistas de este período.

El médico británico James Lind trató el escorbuto y para ello combatió el déficit de vitamina C que causaba la enfermedad con la bebida del zumo de limón. El reformador social británico John Howard fomentó el tratamiento de los internos en los hospitales y cárceles de toda Europa. En 1796, el médico británico Edward Jenner (1749-1823) descubrió el principio de la vacunación como medida preventiva frente a la viruela. Su contribución posibilitó el control de esta temida enfermedad y estableció la ciencia de la inmunización, que se introduciría en los próximos siglos. La viruela fue erradicada finalmente en todo el mundo en la década de 1970.

7.5. La biología del XVIII

El conocimiento sistemático de los seres vivos hizo grandes progresos en esta época. Se estableció el concepto de especie como unidad constante y se elaboraron nuevos sistemas de clasificación y nomenclatura con Ray, uno de los fundadores de la botánica y de la zoología inglesas y, sobre todo, con Linneo. El naturalista inglés John Ray (1628-1705), a pesar de ser hijo de un herrero, consiguió abrirse camino hasta la Universidad de Cambridge. Tenía pasión por la historia natural y montaba a caballo durante largos ratos por el campo, observando y coleccionando plantas que crecían alrededor de Cambridge. Fue entonces cuando concibió la idea de preparar un tratado en el que se describieran todas las especies vivientes, tanto animales como vegetales. En 1667, Ray publicó un catálogo de las plantas de las Islas Británicas y ello le valió ser elegido miembro de la Royal Society. Hacia el final de su vida amplió su catálogo a una enciclopedia en tres volúmenes sobre la vida de las plantas que publicó entre 1686 y 1704. Describía en ella 18.600 especies vegetales distintas, con lo que facilitó el camino a Linneo, quien modernizó la clasificación sistemática.

Ray trató de sistematizar el reino animal y en 1693 publicó un libro que contenía la primera clasificación lógica de animales, basada especialmente en pezuñas, dedos y dientes. Su punto de vista acerca de los fósiles estaba bastante bien encauzado para la época. En 1691 publicó una nota en la que decía que los fósiles eran reminiscencias petrificadas de seres ya extinguidos. Esto no fue aceptado por los biólogos en general hasta un siglo después.

Karl von Linneo (1707-1778), naturalista y médico sueco, publicó en 1758 el *Systema Naturae*[24], obra en la que estableció las bases de la taxonomía natural en función de los órganos sexuales de las plantas, además de desarrollar la nomenclatura binaria todavía vigente. Su importante contribución a la clasificación de las especies desbrozó el camino y permitió el posterior desarrollo de las ideas evolucionistas. Es muy notable que el mismo Linneo admitiese, para explicar ciertas variaciones vegetales, un transformismo moderado, señalando que quizá la creación original hubiese sido lo que hoy llamamos «géneros» y que, a partir de ellos, las especies podrían haberse originado por hibridación.

Linneo organizará cada reino en cinco taxones: clase, orden, género, especie y variedad, en analogía con las categorías aristotélicas. Para el médico sueco, denominar una especie era sinónimo de definirla y de describirla, tan vinculadas están la descripción y la nomenclatura en su obra. Naturalmente, Linneo era consciente de que su método, considerado globalmente, era artificial. No obstante, trabajó toda su vida y valoró sus logros parciales como si no fuera así. De hecho, su *Systema Naturae* tiene pretensiones de universalidad que parecen aumentar con las sucesivas ediciones. En todo caso, Linneo afirma reiteradamente que tanto los géneros como las especies de su clasificación son «naturales», es decir, «obra de la naturaleza».

Ahora bien, el problema tradicional y básico de toda clasificación era determinar qué características eran las que permitían distinguir y definir las especies, los géneros, etc., y agruparlos debidamente en un sistema natural. Y Linneo fue el máximo exponente de

24. LINNEO, K.: *Systema Naturae*, British Museum [Natural History], London, 1758.

una tendencia que basaba la clasificación en unos pocos caracteres muy concretos, los estrictamente «esenciales». En el campo de la Botánica encontró sus mayores aciertos, al aplicar los conocimientos que se tenían desde principios del siglo XVIII sobre la sexualidad de las plantas. La «esencia» de la planta consiste, según Linneo, en su sistema reproductivo. En consecuencia, los tipos de órganos sexuales constituirán el elemento básico de su clasificación. Pero éstos se clasificarán de acuerdo con «cuatro sólidos principios mecánicos»: «número, figura, posición y tamaño relativo» de los estambres y pistilos constituirán especialmente el fundamento indiscutible para la clasificación botánica. Mediante este conocido método taxonómico, Linneo estableció las veinticuatro clases de plantas.

En el ámbito de la zoología, Linneo identificó seis clases: cuadrúpedos (mamíferos), aves, anfibios, peces, insectos y gusanos (invertebrados). En cuanto al orden de los cuadrúpedos, que en 1758 pasó a denominarse «mamíferos», utilizó como elemento fundamental los dientes, aunque también empleó como elemento subordinado la estructura de los pies.

Quizá el mayor mérito de Linneo fue la introducción de un sistema binomial de nomenclatura taxonómica. En 1753 la utilizó para designar a todo el reino vegetal, y en la décima edición del *Systema Naturae* la extendió también al reino animal. De los dos términos latinos que intervienen en la nomenclatura linneana, el primero indicaba el género y el segundo la especie, siendo suficientes para denominar e identificar cualesquier plantas o animales. El éxito de la taxonomía linneana fue indiscutible. En la primera edición de 1735, su *Systema Naturae* era apenas un opúsculo de 14 páginas. Tras ser ampliado y revisado, en la décima edición contaba ya con más de 2.300 páginas *in cuarto*. Linneo, empero, no sentía empacho en reconocer la importancia de su contribución: «He reorganizado en lo fundamental el campo entero de la historia natural, elevándola a la altura que ahora tiene. Dudo de que alguien pueda hacer hoy en día algún adelanto en este dominio sin mi ayuda y dirección» [25].

25. Ídem, cit. en Wilfrid Blunt: *El naturalista. Viajes, obra y vida de Carl von Linné*, Ediciones del Serbal, Barcelona, 1982, p. 190.

En el campo de la embriología alcanzó una gran resonancia la teoría de la «*preformación*», según la cual, el organismo adulto ya estaría contenido en el germen con todos sus caracteres, de tal modo que el desarrollo consistiría solamente en el despliegue o desenvolvimiento de lo ya existente en miniatura. En los siglos XVII y XVIII la teoría de la preformación fue sostenida por biólogos eminentes como M. Malpighi, C. Bonnet, A. von Haller y L. Spallanzani, quienes intentaron ofrecer incluso una demostración experimental de la misma. Pero como existe un germen masculino, el espermatozoide, y otro femenino, el óvulo, se llegó a pensar que el futuro ser vivo estaba preformado solamente en una clase de gametos y no en la otra. De este modo, los preformacionistas se dividieron en «espermatozistas» y en «ovistas». Tanto unos como otros formularon teorías peregrinas y descabelladas. Algunos animalculistas afirmaron seriamente haber visto pequeños «homúnculos» o animales ya formados en todas sus partes, al examinar los espermatozoides al microscopio. Los ovistas no se quedaron atrás y propugnaron que en el ovario de la hembra se encontraban ya encajonados unos en otros todos los seres futuros. Ni unos ni otros lograron hacer prevalecer definitivamente sus tesis sobre los defensores de la teoría opuesta, la epigénesis.

Christian Wolff (1738-1794) defendió, contra los preformacionistas, la teoría de la *epigénesis*, es decir, el desarrollo a partir de un material básico informe. Wolff fue el fundador de la embriología moderna. Basándose tanto en observaciones microscópicas como en hechos experimentales, llegó a la conclusión de que el organismo no se halla «preformado» en el huevo, sino que sus estructuras van surgiendo a lo largo del desarrollo embrionario. De similar postura es Kant quien, al ofrecer un cuadro sistemático de las distintas teorías sobre la formación de los organismos, distinguió dos concepciones diferentes: el *ocasionalismo* y el *preestabilismo*. El ocasionalismo sostiene que en todo acoplamiento de materia, la causa suprema del mundo produce inmediatamente la formación orgánica. El preestabilismo distingue dos tendencias: la primera, llamada «teoría de la evolución», considera que la preformación es el desarrollo del individuo aislado; la segunda concepción, o «preformación genérica» o «epigénesis» —defendida por Kant— sostiene que la potencia productora de los seres que generan ya está dada vir-

tualmente según una finalidad interna, característica de cada especie particular. La aparición del evolucionismo y el progreso de la investigación biológica experimental han modificado radicalmente los términos del problema, revelando el carácter puramente especulativo de la oposición entre preformacionismo y epigénesis.

Es el matemático y astrónomo francés Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759) quien lanza el primer esbozo de una teoría transformista[26]. Desarrolló una labor muy notable en el campo de las ciencias biológicas, cuyo valor no ha sido reconocido hasta fecha relativamente reciente, quizá porque sus ideas se adelantaron a su tiempo. Las principales obras de Maupertuis que tratan de cuestiones biológicas son *Vénus physique, Système de la Nature* y *Essai de Cosmologie*[27], en las cuales, entre temas muy diversos, enfocados con más o menos acierto, estudia el mecanismo de la reproducción y de la herencia, observa la aparición de cambios bruscos o mutaciones en los organismos y llega a entrever el principio de la selección natural en relación con el origen de las especies.

Rechazando ovismo y animalculismo, Maupertuis tuvo en cuenta tanto los gérmenes del macho como los de la hembra, a fin de poder explicar adecuadamente los fenómenos de la herencia, ya que en el hijo aparecen tanto los rasgos del padre como los de la madre. Realizó experimentos de hibridación y se interesó especialmente por los problemas de la herencia en el hombre. Consideró que las variedades humanas, lo mismo que las razas de animales, se han producido por cambios bruscos que luego se han conservado. Sin excluir por completo la influencia que el clima y el alimento pueden tener en la producción de nuevas formas, Maupertuis basa en la aparición fortuita de mutaciones, en «accidentes sufridos por los gérmenes», una verdadera concepción transformista. Tales cambios sufridos por los gérmenes masculino y femenino perdurarían desde la primera reproducción sobre cualquier organización precedente:

26. Una exposición detallada de su pensamiento se encuentra en MAUPERTUIS, P.L.M. de: *El orden verosímil del cosmos*, Alianza, Madrid, 1985.

27. Ídem: *Oeuvres*, 2ª ed., 4 vols., Lyon, 1768.

> «¿No podría explicarse así cómo a partir de sólo dos individuos se habría podido producir la multiplicación de las especies más dispares? Todas ellas deberían su origen a algunas producciones fortuitas, cuyas partes elementales no habrían retenido el orden que tenían en los animales padre y madre. Cada grado de error habría producido una nueva especie; y a fuerza de variaciones repetidas se habría originado la diversidad infinita de los animales que vemos hoy» [28].

Oponiéndose a Descartes, Maupertuis insiste en la insuficiencia del mecanicismo para explicar el fenómeno de la vida y de la reproducción de ésta. Como alternativa, sostiene la hipótesis vitalista de moléculas orgánicas, dotadas de un cierto grado de conciencia, aunque oscura, y, por tanto, de algo similar a la memoria, al deseo, a la aversión, etc., como elementos originarios de los seres vivos. A la teoría de Maupertuis, siguieron especulaciones transformistas, más o menos fundadas, debidas a Benoît de Maillet (1656-1738), Denis Diderot (1713-1784), Jean-Baptiste René Robinet (1735-1820) y E. Darwin (1731-1802)[29].

Erasmus Darwin, médico inglés, tenía por costumbre escribir largos poemas con cierto interés científico, pero de escaso valor poético. Sus primeros poemas trataban extensamente de botánica y en ellos defendía la clasificación sistemática que introdujo Linneo. Su segundo logro famoso fue su libro último, *Zoonomía*, escrito entre 1794 y 1796, elaborado sobre las ideas evolutivas de Buffon y anticipando en él alguna de las ideas de Lamarck sobre dicho tema. E. Darwin sostuvo que los cambios evolutivos eran causados por el medio ambiente que rodea al organismo. La fama de E. Darwin se ha oscurecido, en parte, por la de su más famoso nieto y, en parte, por una campaña del gobierno conservador británico que ridiculizó a E. Darwin y a otros que simpatizaban con los franceses revolucionarios de la era de la Revolución Francesa.

28. Ídem: *Système de la Nature*, en *Oeuvres*, op. cit., p. XLV.

29. MAILLET, B. de: *Telliamed ou Entretiens d'un philosophe indien avec un missionaire françois sur la diminution de la mer, la formation de la Terre, l'origine de l'homme*, ed. L'Abbé J.B. Le Mascrier, Amsterdam, 1748; DIDEROT, D.: *L'interpretation de la Nature*, en *Oeuvres*, A. Billy, Paris, 1952; ROBINET, J.B.R.: *Considérations philosophiques de la gradation naturelle des formes de l'être, ou les essais de la nature qui apprend à faire l'homme*, Paris, 1768.

Conviene señalar que en las obras de estos autores se notan influencias de la idea de la *Scala naturae* y presentan como una imagen lineal de la evolución, un incipiente transformismo en cadena desde los organismos más simples a los más complejos. La noción de continuidad en el espacio de la *Scala naturae* aristotélica se convierte así en continuidad en el tiempo. Por otro lado, junto al planteamiento de la teoría, comienzan a aparecer las primeras explicaciones sobre los factores que pueden determinar el proceso evolutivo. No obstante, estas explicaciones se quedaron a nivel puramente especulativo. Habrá que esperar a las de los naturalistas de los siglos XIX y XX para disponer de tesis mejor fundamentadas.

8

La ciencia contemporánea

Introducción

Nuestro recorrido por la historia de la ciencia se abrió con los lejanos días del amanecer mesopotámico, es decir, con los comienzos de la historia, y se cerrará, en las últimas décadas del siglo XX, con la referencia a la las últimas teorías psicológicas y sociológicas que constituyen la consolidación de las llamadas «ciencias sociales». Hemos viajado a lo largo de casi cinco mil años, toda una historia humana, que se extiende desde la astronomía hasta la biología y la antropología, pasando por la física y la química, desde los astros distantes hasta los más próximos seres vivos. A lo largo de los capítulos precedentes, hemos visto cómo varias veces se ha roto y recompuesto, siempre de modo incompleto, nuestra imagen del Universo. La última oleada de cambios arrancó el día en que se extendió la concepción de la Tierra en movimiento. A partir de ahí, las revoluciones se han ido sucediendo, y, en el siglo XIX, le llegó el momento a la biología. Ya Kant había concebido un Universo histórico, en el que nacían estrellas y planetas generados por una nebulosa en giro. Los geólogos comenzaron a jugar con la idea de una Tierra cambiante, no sólo en el espacio, sino también en el tiempo, una Tierra con historia. ¿Por qué no extender este proceso también a los seres vivos? Los biólogos se entregaron entonces a esta tarea y los seres vivos fueron sacados del mundo eterno del concepto y mezclados con el tiempo, como quería Kant para sus categorías. El cómo de este proceso será uno de los propósitos del presente capítulo.

Si tenemos que reflejar los últimos episodios de la historia de la ciencia, adentrándonos ya en los últimos siglos, hay que hacer referencia obligada, por tanto, a la biología. Dedicaremos atención, pues, a la ella (8.1.), pero sin olvidar las matemáticas (8.2.), ni la revolución de la física (8.3.), ni el progreso de la astronomía (8.4.), ni los avances la química (8.5.) o de la medicina contemporánea (8.6.). Simultáneamente, es necesario hablar de la génesis y constitución de las —así llamadas— *ciencias sociales*, a las que dedicaremos el último apartado (8.7.). Sin minusvalorar otras disciplinas humanas, nuestro compromiso, por razones de espacio, sólo incluye una estancia suficiente en la psicología, (8.6.1.), en la sociología (8.6.2.) y en la antropología (8.6.3.).

Los acontecimientos científicos más decisivos de las últimas centurias son los siguientes:

1801. El físico alemán Johann Wilhelm Ritter descubre la radiación ultravioleta.

1802. El físico francés Louis Joseph Gay-Lussac descubre la Ley de Dilatación de los Gases.

1804. Muere el químico británico Joseph Priestley, que descubrió el nitrógeno, el amoníaco, el gas clorhídrico y el anhídrido sulfuroso. El químico y físico británico John Dalton formula la ley de las *proporciones múltiples* y define su hipótesis atómica.

1807. El inventor norteamericano Robert Fulton construye, en Estados Unidos, el «Clermont», primer barco de vapor que realiza el servicio regular Nueva York y Albany por el río Hudson.

1809. Nace Charles Robert Darwin, naturalista británico. El naturalista francés Jean Baptiste Monet, caballero de Lamarck, adelanta la idea de evolución en su *Filosofía zoológica*.

1811. El físico y químico italiano Amedeo di Quaregna e Ceretto, conde de Avogadro formula la hipótesis, conocida como Ley de Avogadro, según la cual volúmenes iguales de gases, en las mismas condiciones de temperatura y presión, contienen el mismo número de moléculas. El químico sueco Jöns Jacob, barón Berze-

lius, consigue determinar el peso atómico de numerosos elementos.

1814. Invención de la locomotora por el ingeniero británico George Stephenson. El físico escocés David Brewster inventa el caleidoscopio.

1816. Avogadro publica *Memoria sobre el calor específico del gas compuesto*. El médico francés René Théophile Laennec introduce la técnica de la auscultación.

1820. François Arago, astrónomo y físico francés, construye el primer electroimán. El físico y matemático francés André Marie Ampère descubre la electrodinámica. El físico danés Hans Christian Oersted descubre el fenómeno del electromagnetismo.

1821. Michael Faraday, físico y químico británico, descubre la rotación electromagnética. Gauss enuncia la Teoría del Error y el Método del Mínimo Cuadrado. Nace el físico alemán Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz.

1822. J. B. Lamarck publica *Historia natural de los animales invertebrados*.

1823. Muere el médico británico Edward Jenner, descubridor de la vacuna de la viruela.

1824. Los químicos franceses Jean-Baptiste Dumas y Constant Prévost observan la división celular en un óvulo fecundado.

1826. El matemático húngaro Farkas Bolyai y el matemático ruso Nikolái Ivánovich Lobachevski descubren simultáneamente la geometría hiperbólica (no euclidiana). El físico francés Niepce obtiene la primera imagen fotográfica.

1827. Muere el físico Alessandro Volta. Georg Simon Ohm, físico alemán, descubre la ley fundamental de las corrientes eléctricas, que pasará a denominarse Ley de Ohm.

1829. Muere el fundador de la paleontología de los invertebrados, Jean-Baptiste Lamarck.

1830. Gaspard Coriolis, matemático francés, formula la relatividad del movimiento. Gracias al matemático belga Adolphe Quételet, se admite la utilidad de la estadística como medio para investigar cuestiones referidas al hombre y la sociedad. El físico francés Nicolas Léonard Sadi Carnot establece el principio de la equivalencia del calor y del trabajo.

1831. Inicio del viaje de exploración del naturalista británico Charles Darwin a bordo del Beagle. El físico inglés Michael Faraday formula la Ley de la Inducción Eléctrica e inventa la dínamo, que convierte energía mecánica en electricidad.

1832. Muere el naturalista francés Georges Cuvier.

1833. El geólogo británico Charles Lyell concluye *Principios de geología*, obra que influyó en el planteamiento del naturalista británico Charles Darwin respecto al origen de las especies. El matemático británico Charles Babbage construye una calculadora universal, precursora de los ordenadores. Faraday descubre la electrólisis.

1834. Nace el químico ruso Dimitri Mendeléiev. El matemático británico Georges Boole introduce en su *Laws of Thought* el análisis lógico de las matemáticas, desarrollando una lógica de las relaciones.

1837. El inventor norteamericano Samuel Morse pone a punto el primer telégrafo eléctrico, cuya transmisión se realiza por un código alfabético de su invención.

1838. El astrónomo alemán Friedrich Bessel determina la primera paralaje estelar: la estrella 61 del Cisne. El astrónomo y físico francés François Arago estudia la velocidad de propagación de la luz y de las ondas magnéticas.

1839. El físico francés Antoine Cesar Becquerel construye las primeras células fotovoltaicas.

1841. El físico británico James Prescott Joule formula las leyes que afectan al desprendimiento de calor por los conductores de corrientes eléctricas.

1842. El físico alemán Robert von Mayer enuncia el Principio de Conservación de la Energía. El físico británico James Prescott Joule determina el equivalente mecánico de la caloría.

1844. El escritor escocés Robert Chambers describe una teoría de la evolución en *Vestiges of the Natural History of Creation*, obra que influirá en el naturalista británico Charles Darwin.

1846. El astrónomo francés Urbain Le Verrier descubre el planeta Neptuno.

1847. Heinrich Hertz, físico alemán, descubre la radiación electromagnética. Nacen en Estados Unidos Thomas Alva Edison y Alexander Graham Bell. Charles Babbage inventa el oftalmoscopio, instrumento que permite explorar el interior del ojo.

1849. Armand Fizeau, físico francés, esteblece que la velocidad de la luz es 315.300 Km por segundo, con un margen de error del 5%.

1850. El físico alemán Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz mide la velocidad del impulso nervioso.

1851. Clausius introduce el concepto del «cero absoluto».

1852. Los físicos británicos James Prescott Joule y William Thompson (lord Kelvin), descubren que un gas que se expande se enfría automáticamente (Efecto Joule-Thompson). Rudolf Albert von Kölliger, embriólogo alemán, determina el origen celular del espermatozoide.

1854. Bernhard Riemann, matemático alemán, expone su Teoría de la Geometría Elíptica, punto de partida para la revisión de la geometría clásica.

1856. Louis Pasteur desarrolla la Teoría Vírica de la Enfermedad, estableciendo los fundamentos de la bacteriología. Descubrimiento, en el valle de Düssel (Alemania), del cráneo de Neanderthal, hombre fósil del pleistoceno. El médico francés Alfred Vulpian descubre la adrenalina, hormona producida en la glándula medulo-suprarrenal.

1857. Pasteur descubre la función de los microorganismos en la fermentación. Los físicos alemanes Rudolf Emanuel Clausius, August Karl Krönig y el británico William Thomson desarrollan la Teoría Cinética Molecular de los Gases.

1858. Alfred Russell Wallace, naturalista británico, desarrolla su teoría de la evolución, que se basa en la capacidad de la supervivencia de los más aptos, y envía una copia de sus trabajos a Charles Darwin.

1859. Se publica *El origen de las especies*, del naturalista británico Charles Darwin.

1860. Alvan Clark, astrónomo norteamericano, descubre que Sirius es una estrella doble. El físico británico James Clerk Maxwell publica un trabajo sobre la Teoría Cinética de los Gases. Gustave Theodor Fechner, filósofo alemán, escribe *Elementos de la psicofísica*.

1862. Kelvin sugiere que el Sol y la Tierra tienen más de un millón de años. Pasteur expone la teoría de que las enfermedades son producidas por gérmenes.

1864. Maxwell formula la Teoría Electromagnética de la Luz en su trabajo *A Dinamical Theory of the Electromagnetic Field*.

1865. El fisiólogo francés Claude Bernard publica *Introducción a la medicina experimental*, una de las obras de metodología de la ciencia más importantes del siglo.

1866. Gregor Mendel, botánico austríaco, elabora la Teoría de la Herencia Cuantitativa en *Ensayos sobre híbridos de plantas*.

1868. Hallazgo de los restos fósiles de un homínido en la cueva de Cro-Magnon, en el sur de Francia. El naturalista alemán Ernst Haeckel define, en su *Historia natural de la creación*, la Ley Biogenética Fundamental.

1869. Dimitri Ivánovich Mendeléiev, químico ruso, establece la tabla periódica de elementos.

1870. Lewis Henry Morgan, antropólogo norteamericano, publica *Systems of Consanguinity and affinity of Human Family*.

1871. Darwin publica *El origen del hombre y la selección natural*, obra en la que aplica al ser humano la teoría de la evolución. Maxwell formula la Teoría Ondulatoria de la Luz. El antropólogo británico Edward Burnett Tylor publica *La cultura primitiva*.

1872. Georg Cantor, matemático alemán, expone la Teoría de los Conjuntos.

1874. Thomas Alva Edison, inventor norteamericano, patenta un sistema de telegrafo cuádruple. El fisiólogo alemán Wilhelm Wundt publica los *Principios de Psicología fisiológica*.

1875. Wundt funda en la Universidad de Leipzig (Alemania) el primer laboratorio de Psicología experimental.

1876. Alexander Graham Bell, físico norteamericano, inventa el teléfono, a partir de sus trabajos sobre acústica médica (creación de un oído artificial para sordos).

1878. Edison idea la lámpara incandescente.

1882. Muere el naturalista británico Charles Darwin. Robert Koch, médico alemán, descubre el bacilo de la tuberculosis o bacilo de Koch.

1887. August Weismann, biólogo alemán, establece la Teoría Cromosómica de la Herencia. El físico alemán Heinrich Hertz demuestra que las ondas electromagnéticas se propagan con la velocidad de la luz, abriendo paso a las comunicaciones por radio.

1888. Galton introduce el concepto de «coeficientes de correlación», que perfecciona el análisis estadístico de las ciencias sociales.

1889. Giusseppe Peano, matemático italiano, publica *Arithmeticas principia nova methodo exposita*, obra en la que muestra que todas las ramas de la matemática se basan en la aritmética.

1896. Henri Becquerel, físico francés, descubre la radioactividad. Los hermanos Lumière presentan en público el cinematógrado en el Grand Café de París. Guglielmo Marconi, físico italiano, realiza la primera transmisión telegráfica sin hilos.

1897. Ramón y Cajal publica *Estructura del sistema nervioso del hombre y de los vertebrados.*

1900. El físico alemán Max Planck da a conocer la teoría de los cuantos.

1901. El fisiólogo ruso Iván Pavlov da inicio a sus experimentos sobre reflejos condicionados. El inventor italiano Guglielmo Marconi logra enviar señales morse a través del Atlántico. Max Planck publica *Las leyes de la radiación.*

1902. Lumière inventa el proceso de la autocromía para la fotografía en color. El psicólogo Edward Lee Thorndike publica *Educación psicológica.* Entrega del premio Nobel de Física a Henri Becquerel y Pierre y Marie Curie.

1904. El británico A. Glenny da a conocer la técnica de inmunización contra la difteria. Santiago Ramón y Cajal publica sus investigaciones sobre la composición celular del sistema nervioso. Iván Pavlov obtiene el premio Nobel de Fisiología por sus trabajos sobre la digestión.

1905. Albert Einstein publica tres artículos en *Annalen der Physik* que serán fundamentales para las teorías de la relatividad y de los cuantos. G. W. Crile lleva a cabo en EE.UU. la primera transfusión de sangre. Robert Koch obtiene el premio Nobel de Medicina y Fisiología por sus investigaciones sobre la tuberculosis. Los franceses A. Binet, V. Henri y B. Simon ponen a punto los primeros tests para medir la inteligencia.

1907. El matemático lituano H. Minkowski realiza una interpretación geométrica de la teoría de la relatividad a partir de un espacio cuatridimensional. El británico G. H. Hardy y el alemán W. Weinberg, descubren por separado las leyes de frecuencia en la herencia de rasgos dominantes. El soviético E. Méchnikov descubre el papel de los glóbulos blancos (fagocitos) en la defensa contra las invasiones bacterianas.

1909. El danés W. Johansen acuña los términos *genes, genotipos* y *fenotipos.* W. Bateson publica *Principios de la*

herencia de Mendel. Una defensa, que es una aplicación al mundo animal de los principios de Mendel. S. A. Arrhenius publica *Teoría de la química.*

1910. M. Curie publica *Tratado de radiactividad.* Muere el bacteriólogo alemán R. Koch. El estadounidense T. H. Morgan descubre la conexión entre rasgos heredados y sexo.

1911. A. Einstein enuncia el principio de la equivalencia de las fuerzas de inercia y gravitatorias. E. Rutherford elabora el modelo de átomo constituido por un núcleo en torno al cual giran los electrones. Marie Curie gana su segundo premio Nobel por sus trabajos sobre el radio y el polonio. Albert Einstein formula la Ley de Equivalencia Fotoquímica.

1913. En *Ensayos sobre la constitución del átomo*, el físico danés Niels Bohr desarrolla, sobre la base cuántica, su teoría de la estructura del átomo. El francés L. C. M. de Broglie obtiene el espectro de absorción de los rayos X. En su obra *Química de los elementos radiactivos,* F. Soddy anuncia el descubrimiento de los isótopos. El estadounidense J. B. Watson aplica la teoría conductivista a la psicología.

1916. Albert Einstein da a conocer su Teoría General de la Relatividad. El astrónomo inglés A. S. Eddington enuncia la teoría, posteriormente revisada, acerca de la constitución interna de las estrellas.

1918. Se termina la construcción del telescopio de Mount Wilson, en California. E. Rutherford logra la primera transmutación artificial de elementos, al obtener ozono bombardeando oxígeno con rayos alfa. Durante un eclipse solar, A. S. Eddington verifica que incluso la luz está sometida a la fuerza de la gravedad.

1920. El ingeniero español Juan de la Cierva publica *Memoria descriptiva de un nuevo aparato de aviación*, referido al autogiro. Son hallados los primeros restos del hombre de Pekín. E. Rutherford fundamenta su postulado sobre la existencia del neutrón.

1921. Albert Einstein es galardonado con el premio Nobel de Física. Sale al mercado una edición condensada de *La rama dorada*, de J. G. Frazer. El físico estadounidense A. H. Compton demuestra la naturaleza fotónica de las radiaciones electromagnéticas. Muere A. G. Bell, inventor del teléfono y catedrático de filosofía en la Universidad de Boston. El polaco B. Malinowski publica *Argonautas del Pacífico occidental*, con la que funda la escuela de antropología funcionalista.

1924. H. Berger registra los primeros encefalogramas. El biólogo soviético A. I. Oparin publica *El origen de la vida*. R. Dart descubre en África el primer ejemplar de *Australopithecus*.

1925. Werner K. Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan desarrollan la mecánica cuántica. W. Pauli formula el principio de exclusión que lleva su nombre. El físico W. Heisenberg formula la teoría de las matrices, fundamental para el estudio de los fenómenos atómicos.

1926. Erwin Schröedinger formula las leyes de la dinámica ondulatoria. W. B. Cannon acuña el término, y elabora el concepto, de «homeostasis».

1927. Heisenberg formula el principio de incertidumbre. A. Fleming descubre la actividad antibiótica de la penicilina. I. P. Pavlov da a conocer *Lecciones sobre el funcionamiento de los grandes hemisferios cerebrales*. El sacerdote y astrónomo belga Georges Lemaître formula la hipótesis del átomo primitivo, precedente de la teoría del Big Bang.

1928. El astrónomo estadounidense Edwin Powell Hubble demuestra el fenómeno de la expansión del Universo. Partiendo de la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad, el británico P. A. Dirac elabora su teoría relativista del electrón.

1929. Albert Einsten publica *Teoría del campo unificado*. P. A. Dirac formula su teoría de las partículas y antipartículas. El astrónomo E. P. Hubble formula las leyes

de la velocidad de fuga de las galaxias. E. Hubble y M.L. Humason deducen, basándose en la velocidad de fuga de las nebulosas, el momento inicial de la expansión del Universo. Muere el inventor estadounidense T. A. Edison, dejando no menos de 1.200 patentes a su nombre.

1934. V.K. Zworykin inventa el iconoscopio, que revolucionará la televisión. En la Universidad de Roma, E. Fermi obtiene la fisión del uranio mediante el bombardeo con neutrones. Muere Marie Sklodowska Curie, descubridora del radio y del polonio. El científico alemán Wernher von Braun construye un cohete de combustible líquido que alcanza una altura de 2,4 kilómetros. Los austríacos W. Pauli y V.F. Weiskopf prueban la existencia en el átomo de las antipartículas. Enrico Fermi formula la ley de probabilidad relativa a los neutrones retardados, hoy conocida como «efecto Fermi». C.F. Richter establece la escala que lleva su nombre para medir la intensidad de los terremotos.

1936. A. W. Turing presenta la llamada «máquina de Turing», antecedente mecánico de los ordenadores. Williams, Westphal y Andersag sintetizan la vitamina B1 o tiamina.

1937. Son hallados en Java los restos del *Pithecantropus erectus*. Richard Kuhn y Morris sintetizan la vitamina A. 1938 Al demostrar la escisión del uranio, O. Hahn y Fritz Strassman dan origen a la fisión nuclear.

1939. Muere el médico estadounidense H. W. Cushing, fundador de la neurocirugía. El astrónomo J. R. Oppenheimer alerta sobre la existencia de unas formaciones siderales, más adelante conocidas como *agujeros negros*.

1940. La obtención del uranio-235, separado de los isótopos más pesados, significa un avance decisivo hacia la fabricación de la bomba atómica. El canadiense M. D. Kamen descubre el átomo carbono 14.

1944. Johann von Neumann establece los principios teóricos del ordenador. Alexander Flemming comparte el pre-

mio Nobel de Medicina con los británicos Howard Florey y Ernst B. Chain por su descubrimiento y aplicación de la penicilina.

1946. Edward L. Tatum y Joshua Lederberg descubren las mutaciones dirigidas. La URSS inicia el lanzamiento de sondas atmosféricas. Willard Libby da a conocer un método, basado en el carbono 14, para calcular la edad de los fósiles. Entra en funcionamiento el primer reactor nuclear soviético. Muere el físico M. Planck.

1948. C. E. Shanon presenta la teoría estadística de la comunicación. G. E. Hale instala en Monte Palomar el mayor reflector óptico: tiene 5 metros de diámetro y un alcance de 2.000.000 de años luz. George A. Gamow, Herman y Alpher oponen el «Big Bang» a la teoría de Bondi, Gold y Hoyle sobre la continua creación de energía en el universo. Einstein publica su *Teoría general de la gravitación*, en que intenta unificar las fuerzas de gravedad, electromagnéticas y nucleares. Truman ordena la construcción de la bomba H. Se lanza desde Cabo Cañaveral el primer cohete. Entra en funcionamiento el V-4, primer ordenador en utilizar el sistema binario.

1953. El químico británico F. Sanger es el primero en identificar la secuencia completa de los aminoácidos que constituyen una proteína. IBM lanza el primer ordenador electrónico comercial. Albert Einstein da a conocer al mundo su prodigiosa formulación $E = mc^2$. J.D. Watson y F. H. C. Crick desarrollan su modelo de la estructura en doble hélice del ADN.

1954. El estadounidense J. E. Salk pone a punto la primera vacuna contra la poliomielitis.

1955. Muere en Princeton Albert Einstein. Salen al mercado los primeros radiotransistores. Botadura del «Nautilus», primer submarino propulsado por energía atómica.

1957. Entra en servicio el radiotelescopio de Jodrell Bank. W. K. Heisenberg y W. Pauli elaboran la «fórmula uni-

versal». La URSS lanza con éxito el «Sputnik I», primer satélite artificial de la historia. Comienza la «carrera espacial».

1959. Severo Ochoa y Arthur Kornberg sintetizan los ácidos nucleicos.

1961. François Jacob y Jacques Monod determinan la función genética del ADN y el ARN. Yuri Gagarin, a bordo del «Vostok I», se convierte en el primer hombre que penetra en la estratosfera.

1962. Muere el físico danés Niels Bohr.

1964. Muere, a los 68 años de edad, Norbert Wiener, considerado como uno de los padres de la informática. Los estadounidenses A. Penzias y R. Wilson descubren que el Universo entero emite unas radiaciones que podrían ser interpretadas como «rumores fósiles» del «Big Bang».

1965. Se comercializan las primeras cámaras de vídeo portátiles.

1967. El cirujano surafricano C. Barnard realiza el primer trasplante de corazón.

1969. El astronauta estadounidense del «Apolo XI», Neil Armstrong, se convierte en el primer ser humano en pisar la superficie lunar.

1970. Steptoe, Edwards y Davidser inician con el matrimonio Allen los primeros intentos de fecundación artificial *in vitro*. Se inaugura el radiotelescopio del Instituto Max Planck, el mayor del mundo. Entra en funcionamiento el T.A.C. (tomógrafo axial computerizado).

1972. Richard Leakey descubre en Kenya el cráneo de un homínido de tres millones de años de antigüedad.

1974. R. Leakey lanza la teoría de la existencia de al menos cuatro razas de homínidos prehistóricos. La posibilidad de manipular los genes confiere un impulso decisivo a la ingeniería genética. D. Johanson descubre en África fósiles humanos de cuatro millones de años de antigüedad.

1975. Se construyen los primeros robots comandados por calculadora y capaces de realizar el montaje de aparatos mecánicos y electrónicos. Rank Xerox pone en el mercado la primera fotocopiadora de color.

1976. En Estados Unidos se comercializa el microprocesador, inicio de una segunda revolución en la industria informática.

1977. Muere víctima de un cáncer Wernher von Braun, el padre de la astronáutica estadounidense. Commodore Business Machines lanza su primer ordenador doméstico. Entra en servicio en Japón un tren de alta velocidad que unirá Tokio y Hakata a una velocidad media de 210 km/h.

1981. Los bioquímicos estadounidenses R. Weimberg, G. Cooper y M. Wigler individualizan los oncogenes, o genes causantes de algunos tipos de cáncer. En el territorio de Afar (Etiopía) se descubre un esqueleto de australopiteco hembra de unos tres millones de años de antigüedad. En Estados Unidos se reconoce, por vez primera, el SIDA, o síndrome de inmunodeficiencia adquirida.

1982. En Japón se comercializan los primeros *compact discs* (CD).

1983. Se inaugura en Illinois, Estados Unidos, el Tevraton, el más potente acelerador de partículas del mundo. Se lleva a cabo en Italia la intervención quirúrgica de un feto en el útero materno.

1985. El Instituto Pasteur de París encuentra la secuencia completa del virus responsable del SIDA. Investigadores británicos descubren un agujero en la capa de ozono situado sobre la Antártida.

1990. IBM y Apple anuncian su alianza para avanzar en el campo de la creación de tecnología de microprocesadores y *software*. El «Discovery» pone en órbita un satélite para la observación ambiental, principalmente la capa de ozono. Un equipo de astrofísicos de los EE.UU. confirma la teoría del Big Bang, a la vista de los datos emitidos por el satélite COBE. Se demuestra

la importancia de los restos de homínidos hallados el año anterior en las excavaciones de Atapuerca, Burgos. Andrew Wiles demuestra el último teorema de Fermat y pone fin a uno de los enigmas matemáticos recurrentes durante los últimos tres siglos. Muere el científico Severo Ochoa a causa de un accidente cerebrovascular.

1994. El científico colombiano Manuel Elkin Patarroyo obtiene el premio Príncipe de Asturias de Investigación Científica por su vacuna contra la malaria. Un equipo de astrofísicos de la Agencia Europea del Espacio (ESA) comunica el hallazgo de helio ionizado en el espacio intergaláctico, lo que confirma la teoría del Big Bang sobre la formación de helio e hidrógeno en el origen del Universo. Un equipo internacional de paleontólogos descubre en el desierto etíope de Afar los restos más antiguos de un *Australophitecus ramidus*, de 4,4 millones de años de antigüedad, lo que lo convierte en el antecedente más lejano del ser humano. El astrónomo M. Pierce mide distancias a galaxias; gracias a la observación de tres estrellas del tipo cefeida, concluye que la velocidad de expansión del Universo es de 88 km/s lo que significaría que el cosmos tiene una antigüedad de tan sólo 11.000 millones de años.

2001. El 12 de febrero de este año, se hace pública la secuenciación completa del genoma humano.

8.1. La biología[1] contemporánea

Habrá que advertir que la biología del siglo XIX no es sólo el debate evolucionista, es mucho más; es también, por ejemplo, la

1. Jahn, I., Lothier, R. y Senglaub, K.: *Historia de la biología*, Labor, Barcelona, 1989, es una buena obra de consulta sobre historia de la biología, muy útil como fuente de datos y de información biográfica sobre biólogos, reciente y muy rigurosa. Otras historias de la biología también son de interés, pero presentan algunos inconvenientes: por ejemplo, Radl, E.M.: *Historia de las teorías biológicas*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1988, no está actualizada; Rostand, J.: *Introducción*

genética de Mendel, la polémica sostenida por Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea, los progresos en taxonomía, en embriología, en anatomía comparada, las expediciones naturalistas... Pero no cabe duda de que el problema de la evolución ha tenido y tiene las mayores repercusiones teóricas e intelectuales, por eso nos centraremos en él, clarificando los conceptos básicos de la evolución (8.1.1.), y las pruebas en que se basa (8.1.2.). Para contar la historia del debate evolucionista en el siglo pasado, comenzaremos con una exposición del lamarckismo, primera teoría evolutiva consistente (8.1.3.a). En segundo lugar, nos ocuparemos de las ideas darwinistas en la última parte del siglo pasado y primeras décadas del presente (8.1.3.b). Y, ya en nuestro siglo, nos detendremos en lo que se ha dado en llamar «la teoría sintética de la evolución» (8.1.3.c). Al margen del debate evolucionista, analizaremos «la revolución de la biología» (8.1.4.), y concluiremos con la génesis de una disciplina de reciente creación: la bioética (8.1.5.).

8.1.1. *Conceptos básicos sobre evolución*

Estableceremos, antes de entrar en materia, una precisión terminológica: el término «evolución» y sus derivados son anacrónicos si los empleamos refiriéndonos al siglo XIX. En efecto, durante el pasado siglo se hablaba de «transformismo» o «descendencia con modificación», pues la noción de *evolución* estaba vinculada a la embriología —significaba «el desarrollo del embrión»— y no al curso de la filogénesis. No obstante, una vez hecha la observación, utilizaremos la terminología actual siempre que no pueda dar lugar a confusión.

Ateniéndonos a su significado originario (*evolutio*, del verbo *evolvo*), el vocablo «evolución» designa la acción y el efecto de desenvolverse, desplegarse, desarrollarse algo. *Evolución* es uno de los términos de una numerosa familia de vocablos en cuya raíz se

a la historia de la biología, Península, Barcelona, 1979, no pretende siquiera ser completa; y de MAYR, E.: *The Growth of Biological Thought*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1982, no hay traducción al español.

halla la idea o la imagen de rodar, correr, dar vueltas: «involución», «devolución», «circunvolución», etc. La imagen o idea que suscita «evolución» es la del despliegue, desarrollo o desenvolvimiento de algo que se hallaba plegado, arrollado o envuelto. Junto a la citada idea o imagen de desenvolvimiento de lo envuelto, encontramos en «evolución» la idea de un proceso a la vez gradual y ordenado, a diferencia de la «revolución», que es un proceso de despliegue súbito y a menudo violento.

El proceso en cuestión puede afectar, en principio, a cualquier realidad. Puede afectar a las ideas o conceptos, de los cuales puede asimismo decirse que se desarrollan o pueden desarrollarse. No hay inconveniente en hablar de la «evolución de una idea» siempre que tengamos presente que la idea no «evoluciona» al modo como puede «evolucionar» un organismo. Una idea o un concepto pueden contener ciertos elementos que sólo se van manifestando sucesivamente. Pero es más adecuado decir que la idea o el concepto van explicitando lo que se hallaba en ellos implícito, y que en esta explicitación lo importante no es el proceso temporal, sino el paso de lo menos específico a lo más específico, de los principios a las consecuencias.

De «evolución» puede hablarse en sentido teológico, metafísico, histórico, biológico, etc., o, como hemos indicado antes, de evolución en sentido «conceptual». Puede aplicarse, por tanto, a muchos procesos diferentes. En el contexto de este tema vamos a referirnos exclusivamente al concepto de evolución biológica, porque se trata del que mayor importancia representa en los dominios de la filosofía. Vamos a partir de una definición propiamente científica, de una fórmula establecida por 50 científicos de reconocida solvencia, durante la celebración del centenario de *El origen de las especies*: «*Evolución* se define en términos generales como un proceso en el tiempo, irreversible, en una sola dirección, que durante su curso genera innovación, diversidad y niveles más altos de organización» (*Evolution after Darwin*, 1960). En el campo específico de la biología —donde los estudios sobre la evolución han sido más extensos y productivos— el término significa «un proceso por el que los organismos cambian con el paso del tiempo, de tal forma que sus descendientes difieren de sus antecesores» (ibídem). Como consecuencia, podemos señalar que todos los seres vivos, de una u

otra forma, están relacionados evolutivamente. El estudio de estas relaciones evolutivas que ligan unos grupos de seres vivos con otros a lo largo del tiempo, es lo que se llama *filogenia*.

En la teoría sobre la evolución biológica del momento actual hay que considerar tres tipos principales de enunciados: 1) Los enunciados o proposiciones que establecen que los organismos están emparentados por unos antepasados comunes. 2) Las proposiciones relativas al grado de parentesco y a la historia evolutiva de organismos concretos, y 3) Los enunciados que atañen a los mecanismos causales del cambio evolutivo. Así como los enunciados del primer tipo han sido corroborados de forma suficiente y decisiva por la ciencia, los enunciados del segundo y tercer tipo se mueven frecuentemente en el terreno de las hipótesis. En suma: el hecho de la evolución no se discute; sólo se dirime cómo se ha producido.

Finalmente, deben diferenciarse los conceptos «evolución» y «evolucionismo». El primero es un concepto predominantemente científico, mientras que el segundo se emplea más en ámbitos filosóficos. Hay evolución en todo ser vivo individual, desde su generación hasta su madurez y muerte, como constatan y tratan de conocer cada vez mejor las diversas ciencias biológicas. El evolucionismo, en cambio, trasciende el método y objeto de esas ciencias, suponiendo que la evolución afecta asimismo a la naturaleza inorgánica y culmina en el hombre y en la historia humana. El evolucionismo es, por eso, el término que designa la concepción o concepciones filosóficas que subyacen a los descubrimientos evolutivos. Dichas concepciones desbordan el marco específicamente científico, por lo que no son objeto de contrastación empírica, sino solamente de análisis racional.

8.1.2. *Las pruebas de la evolución*

Existen una serie de hechos que apoyan la realidad de la evolución. Estas pruebas pueden agruparse en varios tipos:

a) *Pruebas paleontológicas*

El estudio de los fósiles demuestra que en épocas anteriores vivieron seres diferentes a los que viven en la actualidad. La datación

temporal de estos fósiles permite saber el momento en el que hicieron su aparición, con una aproximación bastante grande. El registro fósil es incompleto y fragmentario, pero en ocasiones proporciona una información útil y precisa.

Son especialmente interesantes, en este sentido, las series filogenéticas y las formas intermedias. Una forma filogenética es un conjunto de fósiles, los cuales se pueden ordenar de más antiguo a más moderno, y en los que se puede observar la modificación sucesiva de uno o varios caracteres morfológicos. Las formas intermedias son fósiles en los que se reúnen características que en la actualidad presentan grupos diferentes de seres vivos.

b) *Pruebas taxonómicas*

La taxonomía es la ciencia que trata de la clasificación de los seres vivos. Al clasificar a los seres vivos, basándose en criterios de semejanza, se observa una ordenación jerárquica, lo que indica una relación de descendencia entre unos grupos y otros, pues, de lo contrario, las características de los seres vivos se presentarían mezcladas al azar y no de forma ordenada como de hecho ocurre.

c) *Pruebas anatómicas y morfológicas*

El estudio comparado de las estructuras de los seres vivos permite descubrir analogías y homologías que sirven para establecer relaciones de parentesco. Órganos análogos son los que, teniendo un origen diferente y una estructura interna diferente, presentan una forma semejante y una misma función. Representan un fenómeno de adaptación convergente, como consecuencia de una coincidencia de medio ambiente y función. Órganos homólogos son los que tienen una estructura interna similar y un mismo origen embrionario, aunque su forma externa y su función sean diferente. Representan una divergencia adaptativa a distintas funciones a partir de un órgano original del que proceden.

Por otra parte, se encuentran también en los seres vivos los órganos rudimentarios, que son órganos o porciones de órganos dege-

nerados, reducidos y sin función aparente. En otras especies cercanas se encuentran estos órganos íntegros y funcionales, lo que permite establecer una relación filogenética.

d) *Pruebas embriológicas*

Existen organismos que en su estado adulto no son muy semejantes, y, en ocasiones, francamente diferentes, pero, sin embargo, en estado embrionario, presentan una semejanza muy fuerte entre sí, como ocurre en el caso de los vertebrados. Esto hace pensar en la existencia de un tronco común del que han ido surgiendo evolutivamente los diferentes organismos.

e) *Pruebas biogeográficas*

Se basan en la distribución geográfica de los seres vivos. Se observa que las especies que son muy parecidas no suelen ocupar el mismo territorio, sino territorios cercanos separados por alguna barrera (cordillera, brazo de mar, etc.). Es el caso de las islas de un archipiélago, por ejemplo. La única explicación plausible es que la especie, tras aparecer y expansionarse, se separa en una serie de grupos aislados que siguieron caminos evolutivos diferentes.

f) Pruebas bioquímicas e inmunológicas

Es evidente la semejanza en las secuencias de aminoácidos y nucleótidos de las proteínas y del ADN, respectivamente, de especies parecidas, semejanza que disminuye entre especies diferentes. Las reacciones inmunológicas también demuestran el parentesco existente entre diferentes especies de seres vivos. Los anticuerpos elaborados contra una proteína de una especie pueden reaccionar también con las proteínas equivalentes de otras especies con más o menos intensidad, dependiendo del grado de parentesco que haya entre la primera especie y las demás.

8.1.3. *Las teorías de la evolución*[2]

a) *El lamarckismo*

Lamarck[3] fue el primero en utilizar la idea de herencia de los caracteres adquiridos, más o menos presentida por sus predeceso-

2. Sobre las teorías evolutivas, es utilísimo, riguroso y actualizado DEPEW, D.J. y WEBER, B.H.: *Darwinism Evolving*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1995, especialmente las partes I y II, acerca del darwinismo y la nueva síntesis. El libro de RUSE, M.: *La revolución darwinista*, Alianza, Madrid, 1983, puede servir de texto base para el lector, pues cuenta la historia de modo completo y claro, así como los de BOWLER, P.: *Charles Darwin. The Man and His Influence*, Blackwell, Oxford, 1990; ídem: *El eclipse del darwinismo*, Labor, Barcelona, 1985; ídem: *The Environmental Sciences*, Fontana, London, 1992. RICHARDS, R.: *The Meaning of Evolution*, The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1992, es una interpretación original de las teorías de Darwin y ha resultado muy polémico. Más recientemente hay un par de libros de divulgación de las teorías darwinistas y neodarwinistas: MAYR, E.: *One Long Argument. Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Penguin Press, 1992; trad. esp.: Crítica, 1992, y AYALA, F.J.: *La teoría de la evolución*, Temas de Hoy, Madrid, 1994, que pueden ser muy útiles para el lector. DOBZHANSKY, 1993; T., AYALA, F.J., STEBBINS, G.L. y VALENTINE, J.W.: *Evolución*, Omega, Barcelona, es más científico y más completo, pero requiere el nivel propio de un estudiante de biología; para un filósofo puede servir de libro de consulta en materia de biología evolutiva, y tiene además un buen índice analítico. KOHN, D. (ed.): *The Dawinian Heritage*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1985, es un libro completísimo en cuanto a la historia del darwinismo, su recepción en varios países y sus implicaciones de todo tipo. Sobre la historia de las teorías evolutivas puede verse en español ALONSO, C.J.: *Tras la evolución. Panorama histórico de las teorías evolucionistas*, Eunsa, Pamplona, 1999, TEMPLADO, J.: *Historia de las teorías evolucionistas*, Alhambra, Madrid, 1974, y CRUSAFONT, M., y col.: *La evolución*, BAC, Madrid, 1976. Acerca de los viajes de exploración y su función en el desarrollo de la biología puede verse el interesante artículo de DROUIN, J-M.: «De Linneo a Darwin: los viajeros naturalistas», en Serres, 1991. Sobre la polémica entre Lamarck y Cuvier nos parece muy claro LAURENT, G.: «Cuvier y Lamarck: la querella del catastrofismo», en *Mundo Científico*, 1987, 66: 136-144. MARCOS, A.: «Darwinismo holista», *Contextos*, VIII-1990, 15-16: 295-300, ídem: «Información y evolución», *Contextos*, IX-1991, 17-18: 197-214; ídem: «Información y entropía», *Arbor*, 1991, 549: 111-135; ídem: «Neodarwinismo, teoría de la información y termodinámica: estado de la cuestión», en *Estudios Filosóficos*, 1992, 41: 215-252, pueden ser de ayuda para algunos problemas aquí tratados. Sobre cuestiones de genética mendeliana puede verse SERRE, J.L.: «La genèsse de l'oeuvre de Mendel», en *La Recherche*, 1984, 158: 1072-1080; L'HÉRITIER, P. y COL.: *La grande aventure de la génétique*, Flammarion, Pa-

res, para explicar la transformación de las especies. Expuso su teoría en su obra, *La philosophie zoologique*, publicada en 1809. Esquemáticamente, la teoría de Lamarck podría resumirse así: La Naturaleza ha producido sucesiva y gradualmente todos los seres vivos, desde los más simples a los más complejos, según una secuencia de transformación lineal, sin ramificaciones. Sólo podría haber ramificaciones a nivel de los grupos menores (géneros y especies). Los organismos más sencillos se forman de manera continua por generación espontánea, y el proceso evolutivo tiene como motor principal una tendencia inherente de la materia viva hacia la consecución de estructuras más complejas.

ris, 1984, para conectar la genética mendeliana con la actual, y, en español, DROUIN, J-M.: «Mendel: faceta jardín», en Serres, op. cit., 1991.

3. Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet (1744-1829), caballero de Lamarck, nació en Bazantin, en la región francesa de la Picarde el primer día de agosto de 1744, de noble familia. Muerto su padre, se enroló en el ejército a la edad de 17 años. Participó, al día siguiente de alistarse, en una batalla en la que murieron la mayoría de sus compañeros. A Lamarck le recompensaron con un despacho de teniente y fue enviado a la guarnición de Toulonne, donde se interesó por la flora de las costas mediterráneas. Su obra *Flore française* (1778) conquistó el honor de ser impresa en la *Imprimerie royale* y le valió ser admitido en 1779 en la Academia de Ciencias. Se trata de la primera guía de campo con claves de las flores de Francia que facilitaba su identificación a los eventuales excursionistas. En dicha obra realizó su primera aportación destacada al desarrollo de las ciencias naturales: el método dicotómico. Del mismo año es su *Diccionario de Botánica*, que se hizo muy popular, pues —según malicia Cuvier— sólo robó a los mejores autores del momento. Al firmarse la paz en la guerra de los Siete Años, renuncia a su cargo militar, del que obtiene una pequeña pensión y vuelve a París. Allí conoce a Georges Louis Leclerc, conde de Buffon, quien se siente atraído por la flora mediterránea que Lamarck había descrito. Durante once años, publicó almanaques basados en su sistema meteorológico en los que predecía el tiempo atmosférico del año. La atmósfera se negaba a cooperar con él, pero la gente siguió comprando aquella mercancía anual de previsiones inexactas, como lo hace en la actualidad. En 1794, cuando el polvo de la Revolución francesa comienza a asentarse, se reorganiza el jardín botánico real (*Jardin des Plantes*) como Museo de Historia Natural, pero la mayoría de los nuevos cargos estaban ya prometidos a quienes habían sido profesores y conservadores durante el Antiguo Régimen. Sólo se le ofreció el puesto más bajo y menos deseable: el de asistente de insectos, crustáceos y gusanos, que Lamarck aceptó. Desempeñó posteriormente la cátedra de Zoología de invertebrados en el citado museo. Murió a los 85 años casi en la miseria, sin que sus méritos científicos le fuesen reconocidos.

Contrariamente a la opinión de su época, Lamarck insistió en la variabilidad de los seres vivos. Como causas de estas variaciones, distingue Lamarck el tiempo y las circunstancias, las cuales influyen sobre las costumbres, modificándolas. Éstas, a su vez, modifican los actos, lo que determina a la postre un cambio de órganos. La noción de costumbre tiene gran importancia en su doctrina: es lo que explica la reacción por medio de la cual el viviente, sea animal o planta, cambia de forma para adaptarse a las nuevas situaciones en las que se encuentra sumido, de acuerdo con la hipótesis de uso y desuso de los órganos, según la cual, todo órgano que no se utiliza, se atrofia, mientras que el que se utiliza, se fortalece. Puede decirse, por tanto, que es la función la que crea el órgano, lo transforma, lo fortalece o lo atrofia, según el pensamiento lamarckista. Y es el organismo el que evoluciona en su esfuerzo por adaptarse al medio en el que vive. Para resumir, veamos el encadenamiento de los hechos en el lamarckismo: un cambio de las circunstancias determina un cambio en las costumbres, el cual implica un cambio de los actos y éste, a su vez, determina un cambio de los órganos.

Aunque el nombre de Lamarck se haya visto salpicado por una ola de detractores, la realidad es que fue un gran naturalista; sólo sus contribuciones a la clasificación de los invertebrados son ya suficientes para otorgarle un puesto de honor en la historia de la biología. Pero además, tiene derecho a ser considerado el primer biólogo que propuso una teoría de la evolución:

> «La obra de Lamarck —enjuicia el profesor Templado— es una obra de transición, y al lado de intuiciones modernas, conserva muchas concepciones anticuadas. El concepto de evolución lineal, por ejemplo, es muy del s. XVIII, y sólo al final de su obra, comienza a substituirlo por el de evolución ramificada. Además, las observaciones que sirvieron de base a su teoría fueron muy reducidas y continuamente sobrepasadas por sus especulaciones, las cuales le condujeron a un evolucionismo a ultranza. El más pronunciado que haya existido jamás»[4].

4. TEMPLADO, J.: *Historia de las teorías evolucionistas*, Alhambra, Madrid, 1982, pp. 49-50.

c) *El darwinismo*

Charles Robert Darwin[5] nació en Shrewsbury, una ciudad de 20.000 habitantes. Fue el quinto de seis y el segundo varón entre los hijos del doctor Robert Darwin, un médico de destacado éxito. En 1831, el Almirantazgo Británico organizó una expedición científica a las costas de América del Sur y a algunas islas del Pacífico.

5. Charles Robert Darwin (Shrewsbury, 1809-Down, 1882). Nunca fue un buen estudiante, aunque ya desde niño mostró afición por las ciencias naturales. En 1825, su padre le envió a la Universidad de Edimburgo para que siguiera la carrera de medicina, como su padre y su abuelo. El fracaso fue completo, no sentía vocación para ser médico y el recuerdo de dos intervenciones quirúrgicas que vio entonces —eran los tiempos anteriores a la anestesia— le persiguió toda la vida. Convencido de que no seguiría la tradición paterna, el doctor Darwin propuso a su hijo que se hiciera eclesiástico y con este objeto fue inscrito en la Universidad de Cambridge en 1827, a fin de obtener el título necesario. Aunque al cabo de tres años consiguió el de «Magister artium», la realidad es que no prestó gran interés por la enseñanza académica. Sí lo hizo, en cambio, por la botánica y la geología, coleccionando insectos y aficionándose a la caza. Por aquella época leyó los libros de viaje del gran geógrafo Alexander Humboldt, que le causaron una profunda impresión. A Darwin pronto se le presentó la ocasión de hacer realidad los proyectos viajeros que le había inspirado la obra de Humboldt. En 1831 emprendió un viaje científico de cinco años alrededor de las costas de América del Sur y de algunas islas del Pacífico, en el que recabó una inmensa cantidad de datos científicos de todo tipo. En 1837, Darwin se estableció en Londres y en enero de 1839 contrajo matrimonio con su prima Emma Wedgwood. En septiembre de 1842 la joven pareja se trasladó de Londres a una casa de campo en el pequeño pueblo de Down (Kent), situado a unos 25 km al sur de Londres, porque la salud de Darwin precisaba un lugar tranquilo en el campo. Desde los 30 años, Darwin pasaba por frecuentes y largos períodos en los que no podía trabajar más de dos o tres horas al día o en los que, al final, estaba de hecho completamente incapacitado. La naturaleza exacta de su enfermedad no está aún completamente aclarada, pero todos los síntomas indican problemas en el funcionamiento del sistema nervioso autónomo. En 1859, apareció publicada *The Origin of Species*, obra en que refleja su ideario evolucionista. Darwin permaneció en Down al margen de las polémicas que originó su obra, aunque tuvo muy en cuenta las objeciones científicas que se le fueron haciendo. Entre 1868 y 1872 aparecieron sus otras dos obras importantes desde el punto de vista evolutivo: *The variation of animals and plants under domestication* y *The descent of man and selection in relation to sex*. También escribió su *Autobiografía* y numerosas cartas que luego fueron reunidas y publicadas por uno de sus hijos. En Down vivió hasta su muerte, el 19 de abril de 1882. Su cadáver fue sepultado en la abadía de Westminster, a pocos pasos del de Newton.

Un velero de 240 toneladas, el *H.M. S. Beagle*, fue equipado para este largo viaje alrededor del mundo. El capitán Fiz Roy, comandante de la nave, deseaba que formase parte de la expedición un naturalista que efectuara observaciones en tierra, a la vez que se iban realizando los trabajos hidrográficos. El puesto le fue ofrecido a Darwin, gracias a la amistad que había establecido con algunos naturalistas de la Universidad de Cambridge, especialmente gracias a su profesor de Botánica, J. S. Henslow, quien consiguió la invitación para que Darwin se uniera a la expedición. Aunque su padre opuso ciertos reparos, el caso es que el *Beagle* salió de Plymouth el 27 de diciembre de 1831, llevando a bordo a un joven de 22 años, futuro gran naturalista. Así comenzó uno de los viajes que más han influido en la historia de la ciencia. Un recorrido de 40.000 millas que duró cuatro años, nueve meses y seis días. A pesar de marearse terriblemente cada vez que el barco encontraba mal tiempo, Darwin consiguió leer una gran cantidad de importante bibliografía científica que había llevado consigo en el viaje. Ninguna obra científica fue tan crucial para su pensamiento posterior como los dos primeros volúmenes de los *Principios de Geología* de Charles Lyell (1832), que no sólo proporcionaron a Darwin un curso avanzado de geología uniformista, sino que también le introdujeron en los argumentos de Lamarck y de Lyell a favor y en contra respectivamente del pensamiento evolucionista. Cuando Darwin se embarcó en el *Beagle* aún creía en el fijismo de las especies, como creían Lyell y todos sus profesores en Cambridge. Pero durante las etapas sudamericanas del viaje del velero, Darwin hizo muchas observaciones que le desconcertaron sobremanera y que sacudieron su creencia en el fijismo de las especies. Existen, sin embargo, buenas pruebas de que Darwin no se volvió evolucionista en ese viaje. Su conversión se produjo en 1837, cuando inició su primer cuaderno de apuntes sobre la «transmutación de las especies». Lo cierto es que, durante ese viaje, recabó un enorme caudal de datos geológicos, botánicos y zoológicos, cuya sistematización le llevó varios años hasta la completa formulación de su teoría evolutiva.

Parece hoy día innegable la influencia en sus conclusiones de la obra de Thomas Robert Malthus, *Essay on the Principle of Population* («Ensayo sobre el principio de la población»), en la cual se advierte que la población humana tiende a aumentar más deprisa —en progresión geométrica— que los recursos necesarios para la subsis-

tencia —que crecen en progresión aritmética. A consecuencia de ello, se produce una «lucha por la existencia». Lo que Darwin extrajo de su lectura fue que el proceso de selección natural ejerce una presión que fuerza a algunos a «abandonar la partida» y a otros a «adaptarse». Es decir, que la lucha por la existencia en el mundo orgánico, dentro de un ambiente cambiante, engendra alteraciones orgánicas, en el curso de las cuales, sobreviven los más aptos, los cuales transmiten a sus descendientes esas características más favorables. En esto consiste básicamente la selección natural. Vemos, por tanto, aquí compendiados los tres elementos que configuran el trípode sobre el que descansa conceptualmente el darwinismo: variabilidad o posibilidad de variación, característica esencial de todos los seres vivos; selección natural, que actúa sobre esas variaciones, seleccionando las favorables y desechando las que no lo son; y herencia de los caracteres adquiridos. La obra donde Darwin desarrolla sus tesis es *The Origin of Species*, publicada en 1859, que constituyó un gran éxito editorial.

El evolucionismo darwinista se extendió muy rápidamente. Pero tuvo que afrontar serios problemas cuando comenzó a desarrollarse la moderna genética, a partir del redescubrimiento de las leyes de Mendel sobre la herencia en el año 1900. Los caracteres genéticos permanecen estables y se transmiten por mecanismos independientes del ambiente y del soma. La reciente biología molécular descubrió que los mecanismos de la herencia se encuentran en el nivel microscópico de los genes y ahí están, por tanto, las posibilidades de cambios hereditarios. Todo esto era ignorado por Darwin, y no estaba nada claro cómo se podría compaginar con sus teorías. Sin embargo, el evolucionismo darwinista siguió su camino, apoyándose en los estudios paleontológicos sobre los fósiles, que mostrarán la existencia de series o cadenas de vivientes en la evolución, y en la anatomía comparada, que parecía exigir una explicación evolucionista de las semejanzas y diferencias entre las especies vivientes.

d) *El neodarwinismo*

Desde 1859, la teoría darwinista fue aceptada por un número progresivamente mayor de científicos. Sin embargo, a finales del s.

XIX y comienzos del XX se produjo un eclipse del darwinismo debido a que los trabajos de Mendel habían colocado las posibles variaciones hereditarias al nivel microscópico de los genes. El darwinismo no consiguió sobrevivir sino mutando él mismo e integrando en su doctrina, de forma progresiva, las aportaciones de la genética (el mendelismo). Surgió así el neodarwinismo.

Autores como Dobzhanski, Huxley, Mayr y Simpson ampliaron la teoría darwinista a la luz de la teoría cromosómica de la herencia y de la genética de poblaciones, insistiendo en el carácter gradual de la evolución y en la importancia decisiva de la selección natural. Había nacido la síntesis moderna de la evolución. De acuerdo con ésta, la selección natural y la mutación son conjuntamente responsables del proceso evolutivo. El neodarwinismo concibe las mutaciones como cambios fortuitos en partes del mecanismo genético, la mayoría desfavorables. Es lo que cabría esperar, pues la constitución genética de un organismo es un proceso muy complejo. Pero en ocasiones, se producen mutaciones favorables que la selección natural se limita a conservar y a transmitir. Como éstas son pocas y muy pequeñas, hace falta que transcurran enormes períodos de tiempo para que lleguen a producirse cambios notables en las especies.

Hay que tener en cuenta que, para el neodarwinismo, el sujeto de la evolución no es el individuo, como en el darwinismo, sino la población, que se define como el conjunto de individuos que pueden intercambiar genes mediante reproducción sexual. En las poblaciones hay una gran variabilidad genética, es decir, existen varios alelos para cada carácter, procedentes de pequeñas alteraciones (mutaciones) del gen primitivo. Estas mutaciones son escasas, tienen efectos pequeños y se van acumulando con el paso del tiempo. La recombinación genética producida durante la meiosis tiende a combinar esos genes de muchas formas, de tal manera, que no sólo hay varios alelos para cada carácter, sino muchas combinaciones posibles de genes. Resumiendo, los ingredientes de la evolución son, de acuerdo con el neodarwinismo:

a) la mutación, que origina la materia prima de la evolución: nuevos genes y nuevos fenotipos.

b) la recombinación, que establece diversas combinaciones de genes con diferente valor adaptativo.

c) la selección natural, que, en función del ambiente, determina qué genes y qué combinaciones se convierten en mayoritarios en la población.

A diferencia del darwinismo, que la admitía, el neodarwinismo rechaza categóricamente la doctrina lamarckiana de la herencia de los caracteres adquiridos. Y se adoptan, en sustitución, las leyes genéticas de Mendel, para explicar las variaciones. Así pues, selección natural, variación de mutaciones y recombinación genética constituyen los ejes sobre los que se vertebra la síntesis moderna. A ellos hay que añadir, finalmente, la importancia del *aislamiento geográfico*. Éste constituye el elemento básico de una de las principales teorías de la especiación y, además, uno de los postulados centrales del neodarwinismo. En palabras de E. Mayr fechadas en 1963: «Hoy día se acepta de manera generalizada que la especiación geográfica es el modo casi exclusivo de especiación de los animales, y, muy probablemente, el usual incluso en las plantas»[6].

En 1937, apareció definitivamente conformada la teoría sintética con la obra de Theodosius Dobzhanski[7]: *Genetics and the Origin of Species*[8], que describe las ideas evolucionistas de Wright y las difunde enormemente. Dobzhanski intenta compatibilizar los factores de la evolución, que hasta entonces habían sido estudiados en disciplinas independientes, en una teoría global susceptible de esclarecer la mayoría de los hechos. Dentro de ella, se establece que las mutaciones son el entramado básico de los nuevos caracte-

6. MAYR, E.: *Animal species and evolution*, Harvard University Press, New York, 1963, p. 57.

7. Theodosius Dobzhanski nació en 1900, estudió en la Universidad de Kiev y se especializó en Genética en la Universidad de Leningrado. En 1927 marchó a Estados Unidos, donde fue profesor de la Universidad de Columbia y de la Institución Rockefeller. Adquirió la nacionalidad norteamericana en 1937. Su trabajo titulado *On Species and Races of living and Fossil Man*, publicado en 1944, abrió paso a una nueva era en la paleoantropología, acabando con el análisis puramente tipológico que había predominado durante casi un siglo. En 1955, apareció su *Evolution, genetics and man*, y en 1962, *Mankind Evolving. The Evolution of Human Species*.

8. DOBZHANSKI, T: *Genetics and the Origin of Species*, Columbia University Press, New York, 1937.

res hereditarios. El predominio en la descendencia de estos nuevos caracteres está en relación con la presión selectiva que ejercen tanto los agentes del suelo y atmosféricos como los otros vivientes que les rodean. Las mutaciones genéticas son aleatorias, se producen independientemente de que sean útiles o no para los organismos en que aparecen, y se difunden según las reglas de la Genética de poblaciones. Por su parte, la selección natural favorece las mutaciones que en un determinado medio resultan ventajosas para sus poseedores, evitando las mutaciones desventajosas y otorgando una dirección al flujo evolutivo.

Otras síntesis iban pronto a seguir a la de Dobzhanski. En primer lugar, la del zoólogo Julian Huxley[9], *Evolution: The Moderny Synthesis*[10], la cual representaba un esfuerzo muy notable de síntesis de diversas disciplinas biológicas en lo que atañe a la evolución y aportó el término popular de *teoría sintética* para describir la nueva perspectiva neodarwinista. En 1942, E. Mayr[11] publicó su *Systematics and the Origin of Species*[12], reforzando la tesis del aisla-

9. Julian S. Huxley nació en Londres en 1887, estudió en Eton y en la Universidad de Oxford. En 1912 marchó a los Estados Unidos, donde se dedicó a la investigación y a la docencia durante varios años. Volvió a Oxford en 1919 y fue profesor de Zoología del King's College de Londres (1925-35) y de Fisiología de la Royal Institution (1926-29). Entre 1946 y 1948 fue director general de la UNESCO. Nieto de T. H. Huxley y hermano del conocido Aldoux Huxley, Julian fue un científico de amplios conocimientos que ha tratado multitud de temas y ha colaborado frecuentemente con biólogos de diversas especialidades. Murió en 1975.

10. HUXLEY, J.S.: *Evolution: The Moderny Synthesis*, Allen & Unwin, London, 1942; New ed., New York, Wiley, 1964; trad. esp.: *La evolución, síntesis moderna*, Losada, Buenos Aires, 1946.

11. Erns Mayr (Kempten, Alemania, 1904), estudió Ciencias Naturales en la Universidad de Berlín. A partir de 1928 participó como ornitólogo en una serie de expediciones a Nueva Guinea e Islas Salomón. En 1931, se nacionalizó en Norteamérica quedó vinculado al Museo Americano de Historia Natural. Desde 1953, es catedrático de Zoología en la Universidad de Harvard. *Fellow* de la Royal Society, ha obtenido numerosos premios y distinciones, y es considerado como uno de los evolucionistas más importantes del siglo.

12. MAYR, E.: *Systematics and the Origin of Species*, Columbia University Press, New York, 1942. Aparte de la obra citada, Mayr ha publicado numerosos trabajos sobre la evolución y el pensamiento darwiniano, entre los que destacan: *Animal species and Evolution*. (De esta obra ha dicho Huxley que quizá sea el li-

miento geográfico postulada por Dobzhanski como factor causal del origen de nuevas especies. Para Mayr, los críticos de las teorías darwinistas se dividen entre los que han malinterpretado a Darwin debido a disensos ideológicos de fondo (Greene), los que demuestran ignorancia de toda cuestión evolutiva (Ho y Saunders, Reid) y los que no merecen ser citados [13]. La macroevolución constituye el argumento principal de la parte VIII de esta obra. Todo fenómeno macroevolutivo es coherente con los mecanismos genéticos conocidos, a pesar de que, durante el origen de la teoría sintética, este problema fue prácticamente obviado [14]. Finalmente, desde la óptica paleontológica, G.G. Simpson [15], en *Tempo and Mode in Evolution* [16], intentó mostrar cómo la paleontología podría ser coherente en relación con la estructura teórica de la genética de poblaciones.

A mediados de siglo, el neodarwinismo se convirtió en el código oficial de todo evolucionista, en la ortodoxia del evolucionismo.

bro más importante que se ha publicado sobre biología evolutiva *desde El Origen de las especies* hasta nuestros días); *Populations, species and evolution*; *The Growth of Biological Thought*, publicada en 1982; *Toward a New Philosophy of Biology. Observations of an Evolutionist*, obra en la que revisa los conceptos de *selección natural*, *especie* y *azar*.

13. Cfr. ibídem, p. 165.

14. Cfr. ibídem, p. 399.

15. George Gaylord Simpson (Chicago, 1902-1984). Estudió en las universidades de Colorado y Yale. Vinculado como director auxiliar de Paleontología de los vertebrados al Museo Americano de Historia Natural desde 1927, ha sido profesor de Paleontología de los vertebrados en la Universidad de Columbia (1945-1959), y luego en la de Harvard. Sus análisis vivos, y a menudo definitivos, de la teoría evolucionista y su historia se pueden leer en *The Major Features of Evolution*. Ha publicado otras obras importantes de carácter paleontológico y biológico, entre las que deben citarse: *Attending Marvels: A Patagonian Journal*, *The Meaning of Evolution*, *This View of Life*, *The Geography of Evolutiony Biology and Man*. Es destacable también su delicioso *Book of Darwin* (1982), una guía personal sobre la vida y obras del patriarca de la biología evolucionista. En 1946 se fundó en Norteamérica *The Society for the Study of Evolution*, cuyo objeto es promover las investigaciones y estudios sobre Biología y Paleontología evolutiva y la integración de los diversos dominios de la ciencia que confluyen en el campo de la evolución. Desde 1947 se viene editando *Evolution*, revista internacional publicada por dicha sociedad, cuyo primer presidente fue G.G. Simpson.

16. SIMPSON, G.G.: *Tempo and Mode in Evolution*, Columbia University Press, New York, 1944.

La teoría de la selección natural se presentaba como un dogma incuestionable y la creencia en la potencialidad de las mutaciones no conocía límites. La crisis del neodarwinismo comenzó a producirse a finales de 1960. En 1967, algunos matemáticos, como Murray Eden, ponen en tela de juicio que haya habido tiempo suficiente para que se diera la evolución según las tesis neodarwinistas. Dichos autores demuestran por cálculos estadísticos que si los organismos vivos hubiesen elegido ciegamente entre el gran número de posibilidades existentes, la probabilidad de existencia para la mayor parte de los seres vivos hoy sería nula [17].

Las críticas contra el neodarwinismo arrecian en la década de los 70, a cargo de la teoría neutralista de la evolución. Para Motoo Kimura, el más ardiente defensor del neutralismo, las variaciones genéticas son en su mayoría neutras en sus efectos, no confieren ni ventaja ni desventaja al portador y son capaces de derivar por las poblaciones sin el estorbo de la selección. Ésta posee, por tanto, un poder mucho menor que el que se empeñan en atribuirle los neodarwinistas.

Hacia 1972, la crisis comienza a afectar también al *gradualismo*, punto básico de la teoría sintética. Dos conocidos paleontólogos, Gould y Eldredge, ponen serios reparos a una evolución por acumulación de microvariaciones. Stephen Jay Gould es profesor de Paleontología de los vertebrados en la Universidad de Harvard y director de su Museo de Zoología Comparada. Niles Eldredge es director y conservador de la sección de invertebrados del Museo Americano de Historia Natural de Nueva York. Su trabajo conjunto titulado «Punctuated Equilibrium: An Alternative to Phyletic Gradualism» [18] pasó completamente desapercibido. Pero, cinco años más tarde, cuando publicaron otro en la revista *Paleobiology*, bajo el título «Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered» [19], estalló la polémica. A partir de un estudio

17. V.V.A.A.: «Heresy in the halls of biology: Mathematician quaestion darwinism», *Scientific Research*, XI, 1967.

18. ELDREDGE, N. y GOULD, S.J.: «Punctuated Equilibrium: An alternative to Phiietic Gradualism», *Models in Paleobiology*, S. Francisco, Freeman, 1972, pp. 82-115.

19. GOULD, S.J. y ELDREDGE, N.: «Punctuated Equilibria: The Tempo and Mode of Evolution Reconsidered», *Paleobiology*, vol. 3, 1977, pp. 115-151.

sobre los fósiles —en el que se mostraba cómo su forma no variaba gradualmente con el tiempo, sino que una versión desaparecía e, independiente y contemporáneamente, aparecía otra ligeramente distinta— obtenían la siguiente conclusión: la falta de eslabones o especies intermedias que caracteriza el registro fósil no se debe a la imperfección de éste, sino al curso peculiar de la evolución. Frente al gradualismo de la teoría sintética, Gould y Eldredge postulan la teoría *puntuacionista* o teoría de los *equilibrios intermitentes o interrumpidos*, según la cual, la forma de originarse las especies es *saltacionista* y rápida, a la que sigue luego una fase de estatismo morfológico. La nueva teoría propone el azar como agente director del cambio evolutivo, quitándole a la selección natural el protagonismo que los seleccionistas le habían conferido.

La objeción científica más seria —y filosóficamente más relevante— al neodarwinismo es seguramente la que proviene de la biología molecular, para la que cada vez resulta más claro que la aparición de variantes de ADN tiene mucho más de determinación molecular que de puro azar. Como ha señalado A. Lima-de-Faria[20], hoy empezamos a estar ya en condiciones de abandonar gran parte de las simplificaciones del neodarwinismo y cambiarlas por interpretaciones moleculares. Ciertamente, nuestro conocimiento de los sistemas moleculares en la célula está aún en sus inicios. Todavía no sabemos cómo los procesos atómicos originan estructuras celulares. Las interacciones entre los niveles atómicos y los celulares son áreas aún poco desarrolladas de la química, porque ha sido muy reciente el descubrimiento de su importancia en conexión con los patrones bioquímicos y con la morfogénesis celular. Sin embargo, a medida que aumenta nuestro saber acerca de las leyes que gobiernan el reconocimiento molecular y las leyes que rigen la organización del ADN, de los genes y de los cromosomas, aparece como más viable la presentación de una «alternativa molecular» frente al neodarwinismo, que se muestra cada vez más como una simplificación de los procesos evolutivos. Esto no quiere decir que la selección natural no juegue papel alguno en la evolución, sino que su importancia disminuye a medida que crece el conocimiento

20. Cfr. LIMA-DE-FARIA, A.: *Molecular Evolution and Organitation of the Chromosome*, 2ª ed., Amsterdam, 1986, p. 1083.

de las determinaciones moleculares. Los conceptos de mutación y de selección adquieren entonces un nuevo significado[21].

La situación actual del neodarwinismo es bastante delicada. Los postulados del azar de las mutaciones y de la selección natural no bastan para explicar los grandes pasos de la evolución: cómo se pasa de una especie a otra, de un tipo a otro, la formación de órganos complejos, etc. Hacen falta leyes y leyes más profundas en biología, y no se puede frenar su búsqueda considerando suficientes los postulados del azar y la selección natural, que no llegan a ser verdaderas leyes científicas. En la ciencia hay dos modos de detener el progreso: invocar el misterio o persuadirse de que se ha encontrado la solución. Es más honesto medir el camino recorrido y reconocer nuestra ignorancia a fin de encontrar los medios para superarla.

Simultáneamente a estos ataques, y a partir de los años 70, se ha desatado en EE.UU. una agria polémica entre creacionistas y evolucionistas. El *creacionismo científico* surgió como reacción ante el materialismo antisobrenaturalista que se difunde frecuentemente con las doctrinas evolucionistas en libros de texto. Para el creacionismo, las verdades sobre el origen de la materia y de la vida se encuentran solamente en las páginas de la Biblia. A juicio de ciertos analistas, el creacionismo se equivoca porque la Biblia no es propiamente un libro científico, ni contiene datos científicos desconocidos en la época en que fue escrita. Pero también el evolucionismo puede incurrir en graves errores si niega todo aquello que no se alcanza mediante el método científico. Por otra parte, no hay necesidad de plantear ningún conflicto entre ciencia y religión. En palabras del paleontólogo neodarwinista G. G. Simpson, «ningún credo, salvo el de las fanáticas sectas fundamentalistas, reconoce por dogma el rechazo de la evolución. Muchos profesores, religiosos y laicos, la aceptan en cambio como un hecho. Y muchos evolucionistas son hombres de profunda fe»[22].

21. Cfr. ídem: «Emerging principles of physical determinism in evolution», en ibídem, pp. 1067-1085.

22. SIMPSON, G.G.: *Fósiles e historia de la vida*, Labor, Barcelona, 1985, p. 211.

8.1.4. *La revolución de la biología molecular*

Como ya hicimos notar, los descubrimientos de Mendel fueron injustamente desconocidos hasta que en 1900 tres investigadores, Hugo de Vries, Karl Erich Correns y Erich von Tschermak, trabajando independientemente, confirmaron la validez de las experiencias mendelianas. Esto marcó el inicio de una nueva ciencia, la genética, que en el presente siglo habría de alcanzar un constante progreso y expansión. La existencia de caracteres hereditarios transmitidos por los ascendientes a sus descendientes es un hecho perfectamente conocido. Todos los hijos se parecen un poco a su madre y un poco a su padre. La genética, ciencia de la herencia, en el transcurso (todavía breve) de su historia, se ha planteado la pregunta: ¿Cuáles son los elementos materiales presentes en los padres y responsables de la reaparición de los caracteres hereditarios en los descendientes? La respuesta fue sugerida por A. Weismann (1885). Pero sólo fue establecida de una forma clara hacia 1910, por Thomas Hunt Morgan (1866-1945) y C. B. Bridges. Estos dos autores revelaron que los determinantes de los caracteres hereditarios eran llevados por los cromosomas de los padres y se recombinaban en los cromosomas del cigoto (teoría cromosómica de la herencia). Pero hasta los descubrimientos, en 1944, de tres científicos estadounidenses, que trabajaban en el Instituto Rockefeller de Nueva York: O. Avery, C. MacLeod y M. McCarty, la cuestión no quedó zanjada de forma definitiva. Estos biólogos evidenciaron el papel de los ácidos nucleicos, cuya existencia se conocía desde 1869 (F. Miescher[23]) y cuya estructura molecular en forma de doble hélice fue establecida en 1953 por Francis Crick y James Watson. El proceso por el que este material genético asegura la aparición de estos caracteres en el individuo que los posee está «en trámite» y constituye el centro de las investigaciones actuales en materia de biología molecular.

23. La sustancia que con el tiempo fue determinada como el material genético de casi todos los organismos, el ADN, fue descubierta en 1869, sólo cuatro años después de que Mendel anunciase sus descubrimientos, por Friedrich Miescher. Sin embargo, este médico suizo no estableció ninguna relación del ADN con la herencia, aunque algunos de sus contemporáneos entablaron algunas asociaciones tenues.

Lo cierto es que, hasta bien entrada la década de los 40 de la pasada centuria, se suponía que el material genético estaba compuesto de proteínas. Se sabía que los cromosomas contenían proteínas y ADN, pero ésta última era una sustancia prácticamente desconocida, mientras que el conocimiento de las proteínas progresaba rápidamente. Éstas tienen como característica común la de estar compuestas de aminoácidos. El orden en que se encuentran los aminoácidos dispuestos en la molécula determina la naturaleza de las proteínas. Es decir, que las proteínas son sintetizadas a partir de los aminoácidos por todos los seres vivos. Como resulta que hay 20 aminoácidos y éstos pueden sintetizar un sinfín de proteínas diferentes, se pensaba que ahí estaba el origen de toda novedad en la naturaleza.

Por eso resultó espectacular en 1944 el descubrimiento realizado por el médico canadiense Oswald Theodore Avery y sus colaboradores MacLeod y McCarty, en virtud del cual se demostraba que era el ADN quien portaba la información genética. El ADN había sido detectado ya en 1918 mediante la reacción nuclear de Feulgen y se sabía que formaba parte de los cromosomas de la bacteria, pero no se había vislumbrado claramente su importancia genética. A partir de entonces, varios experimentos ampliaron y confirmaron el descubrimiento de Avery, y el interés se centró cada vez más en el ADN.

Astbury, Bell, Wilkins y Franklin analizaron la estructura del ADN[24] por medio del método llamado «difracción de rayos X». Sin embargo, estos análisis no hallaron su descripción definitiva hasta 1953. En este año, James D. Watson y Francis Crick postularon la estructura doble helicoidal como modelo que permitía explicar la

24. El ADN —ácido desoxirribonucleico— está compuesto por una cadena de unidades llamadas nucleótidos, compuestos integrados por ácido fosfórico, un azúcar del grupo de las pentosas —la desoxirribosa— y una base nitrogenada que puede ser púrica o pirimídica. Además del ADN, existe otro ácido nucleico, el ARN —ácido ribonucleico— que tiene como azúcar la ribosa. Las bases púricas son, en ambos ácidos, la adenina y la guanina, y las pirimídicas son, en el ARN, la citosina y el uracilo, mientras que en el ADN existe igualmente citosina, pero en vez de uracilo, hay timina. El material hereditario propiamente dicho está constituido por ADN en todos los organismos, exceptuando algunos virus en los que la transmisión hereditaria corre a cargo del ARN.

codificación como la duplicación del ADN[25]. El modelo de Watson y Crick de la estructura del ADN se ha mantenido a través del tiempo, habiendo requerido pequeñas precisiones. Estos bioquímicos fueron galardonados con el premio Nobel en 1962 por su descubrimiento. El modelo que sugieren es el de una macromolécula de ADN constituida por dos cadenas de nucleótidos dispuestos paralelamente y enrollados formando una doble hélice. Los nucleótidos de cada cadena se corresponden formando parejas, en las cuales la base nitrogenada de cada nucleótido se une a la de su pareja mediante puentes de hidrógeno. Un dato muy interesante para comprender una de las propiedades biológicas más importantes del ADN —la facultad de formar réplicas exactas de sí mismo— es que las bases nitrogenadas, que se unen mediante los puentes de hidrógeno, no pueden ser cualesquiera. Siempre una adenina se une con una timina, y una guanina con una citosina. En este sentido, el ADN se puede comparar a una cinta magnética que, al ser leída, establece la síntesis del ácido ribonucleico —ARN— a través de los nucleótidos complementarios; es decir, la adenina (A) en ADN, será timina (T) en ARN; la citosina (C) será guanina (G); G será C, y T será U —el uracilo—, nucleótido que, como hemos dicho, distingue al ARN del ADN. De este modo, si una cadena de nucleótidos tiene una secuencia específica, la secuencia de la complementaria queda automáticamente determinada. Por consiguiente, si los dos filamentos se separan, cada uno de ellos puede servir de molde para la síntesis de su complementario, resultando dos dobles hélices idénticas entre sí y a aquélla de que proceden.

Pero, además de aportar una explicación plausible de la replicación binaria del material genético, el modelo de Watson y Crick permitía comprender cómo se efectuaba el transporte de la información genética. Actualmente, parece demostrado que las unidades de transcripción de la información contenida en el ADN a las proteínas son grupos de tres nucleótidos, llamados tripletes o codones. Una ordenación dada de tres nucleótidos contiene la información para un aminoácido concreto. Siendo cuatro los diferentes nucleótidos del ADN, pueden formarse 64 tripletes distintos. Pero sólo

25. Cfr. WATSON, J.D.: *The Double Helix*, Atheneum, New York, 1968; trad. esp.: *La Doble Hélice*, Plaza y Janés, Barcelona, 1970.

existen veinte aminoácidos. De hecho, lo que ocurre es que, en general, son varios los tripletes que se traducen por un mismo aminoácido. Si con sólo una cadena de diez nucleótidos, que corresponde a una vuelta completa de la hélice del ADN, se pueden presentar 4^{10} —es decir, 1.048.576— ordenaciones distintas, hemos de concluir que con la doble cadena macromolecular del ADN es posible almacenar cualquier cantidad de información. Así, una cadena de 600 nucleótidos —longitud típica probable para el segmento informativo de un gen estructural— puede contener 20^{200} mensajes distintos. Este número es inmensamente más grande que el número de átomos del Universo conocido. El ADN de una bacteria típica comprende unos tres millones de nucleótidos que codifican unos 3.000 genes. En cambio, el ADN del hombre contiene unos tres mil millones de nucleótidos, pero sólo codifica como máximo 32.000 genes. Mientras el mensaje genético de aquélla bacteria ocuparía 2.000 páginas, para el mensaje genético humano harían falta casi un millón de páginas, que contendrían abreviada la clave para sus 100 billones de células.

Cuando la mayor parte de los individuos que se encuentran en la naturaleza tienen los mismos caracteres, se dice que su fenotipo es normal o, también, salvaje. Los mismos calificativos se aplican a los genes que determinan el fenotipo. Si en el seno de una población salvaje aparece un individuo portador de caracteres nuevos se dice que ha habido *mutación*[26] (= modificación) de uno o varios genes. En este caso, el individuo es un *mutante*. Así, las moscas del género *Drosophila* tienen los ojos rojo ladrillo, sin embargo, en 1908 Morgan pudo aislar un mutante de ojos blancos. Por tanto, en este individuo el gen salvaje w+ se halla reemplazado por el gen mutado (alelo w). Cuando en una población coexisten dos o varios

26. Por *mutación* suele entenderse hoy día cualquier cambio en el material genético, heredable y detectable, no atribuible a segregación o recombinación, que se transmite a las células hijas e incluso a la siguiente generación, dando lugar a células o individuos mutantes. La mutación puede afectar a células somáticas, con lo que todas las células descendientes de éstas la llevarán, pero la mutación muere con el individuo; y puede ocurrir en una o más células germinales, que tienen capacidad de reproducir un organismo completo, con lo que es probable que algún descendiente lleve el gen mutado, perpetuándose la mutación.

fenotipos sin que uno parezca más «normal» que el otro (o los otros), se dice que existe polimorfismo.

La frecuencia de mutaciones varía de unas especies a otras, e incluso entre individuos de la misma especie. Precisamente por esto, no se pueden dar valores absolutos. Partiendo de la constante $1/10^5$, nos darán una idea de su valor las siguientes cifras: en *Drosophila*, la frecuencia de mutación de ojo normal rojo a blanco es de $1/10^5 \times 2{,}9$; en la especie humana, el albinismo se presenta con una frecuencia de $1/10^5 \times 3$, y la hemofilia, con una frecuencia de $1/10^5 \times 2$. Sólo entre los vegetales es algo mayor: en el maíz, por ejemplo, el endospermo rojo aparece con la frecuencia de $1/10^5 \times 49$.

Las probabilidades de que se produzcan las mutaciones pueden incrementarse mediante la intervención de factores físicos y químicos, capaces de aumentar dicha frecuencia. Se trata de los llamados agentes mutagénicos, que son susceptibles de inducir nuevas cualidades hereditarias en los individuos. Hermann Joseph Muller, en 1927, descubrió que los rayos X eran mutagénicos. Poco después, L.J. Staedler mostró las propiedades mutagénicas de los rayos X en el maíz. Sin embargo, es importante destacar que la mayoría de los agentes naturales investigados no inducen mutación en línea germinal, ya que el plasma germinal se encuentra muy bien protegido. La lista de productos mutagénicos se extiende hoy a ciclamatos, sacarina, nitritos, cloruro de vinilo, mercurio, humo de tabaco y tintes de cabello.

La inserción de genes extraños puede realizarse en microorganismos, en células cultivadas y, también, en el genoma de un organismo pluricelular (animal o vegetal). Si se quiere que la alteración inducida por el gen extraño se transmita de padres a hijos, la implantación se hace en las células germinales (espermatocitos u ovocitos). Las técnicas de manipulación del genoma más usadas en la actualidad se basan en la inyección física directa del gen en los primeros estadios del embrión, o bien en el uso de un vector vírico que lo transporte hasta las células embrionarias. Por esta vía se pueden conseguir, por ejemplo, alteraciones en el desarrollo del ganado productor de carne, en la resistencia de plantas cultivadas a ciertas enfermedades, etc.

La mutagénesis dirigida consiste en la modificación de los genes de un organismo cambiando la secuencia de ADN mediante manipulaciones tecnológicas. El mecanismo natural en virtud del

cual se produce gran parte de las mutaciones genéticas, ya se ha explicado al hablar de la recombinación genética, es decir, el intercambio biológico o la adición de genes de diferentes orígenes para formar un cromosoma alterado que puede ser replicado, transcrito y traducido. Cuando un virus, por ejemplo, infecta las células de un organismo, puede producirse un intercambio y una recombinación de genes; los agentes reparadores son determinados enzimas (ADN-ligasas) cuyo descubrimiento hizo posible la construcción en el laboratorio de nuevas clases de moléculas de ADN, en las que se han combinado, en este caso, genes de dos especies distintas.

Los cambios en el ADN inducidos, también de forma natural por agentes del entorno y que no pueden ser reparados por los mecanismos celulares, dan lugar a mutaciones que pueden ser permanentes y heredables, o bien letales. Así, se ha descubierto que muchos agentes mutagénicos también son carcinógenos[27].

Tres logros principales hicieron posible vencer los obstáculos que impedían determinar las secuencias de bases (secuenciación) de los ADN: a) El primero fue el descubrimiento de los *enzimas de restricción*, procedentes de bacterias, que rompen las moléculas de ADN sólo en ciertos puntos específicos: efectivamente, el empleo de dos o más endonucleasas de restricción diferentes permite fragmentar las moléculas de ADN de distintas maneras, dando lugar a secuencias que pueden superponerse; b) El segundo avance importante fue el perfeccionamiento de los métodos electroforéticos en gel, para separar fragmentos de ADN mediante el número de unidades nucleotídicas que contienen; y c) El tercero fue la técnica de clonado o clonación del ADN, que hizo posible la preparación de grandes cantidades de genes puros como material de partida para la secuenciación.

Actualmente, los genes o grupos de genes pueden recombinarse en el laboratorio, de forma artificial, para producir nuevas combinaciones que no aparecen biológicamente. Para ello basta con sustituir un fragmento de ADN, obtenido mediante enzimas de restricción,

27. Se ha estimado que hasta un 90% de los cánceres humanos pueden producirse por exposición a agentes físicos o químicos nocivos, capaces de transformar una célula normal en una célula maligna.

por otro distinto en medio del gen clonado. También se pueden incorporar en un gen segmentos de ADN de síntesis química, reemplazando o añadiéndose a una secuencia de información ya existente. Todo este conjunto de manipulaciones ha dado lugar al desarrollo de lo que se ha llamado «tecnología del ADN recombinante». Las moléculas se aíslan sin dificultad, intactas y en grandes cantidades. Se corta el ADN por determinados puntos con enzimas de restricción, y los fragmentos resultantes se recombinan entre sí para reconstruir la molécula original o para unirse a segmentos de ADN extraño y formar una molécula híbrida. El ensamblaje se realiza gracias a las ADN-ligasas que reconocen los extremos de las moléculas de ADN, fusionándolas sin dejar rastro del punto de unión.

La genética bacteriana fue pionera de los éxitos posteriores alcanzados en la manipulación biomolecular. Los plásmidos[28] tienen dos propiedades muy importantes a este fin: pueden pasar de una célula a otra y, por tanto, de una especie bacteriana a otra; además, se pueden unir genes extraños a los plásmidos con gran facilidad, para luego ser transportados junto con ellos al interior de las células huésped, pasando a formar parte de su genoma. Gracias a su existencia, las bacterias constituyen un caso especial de transmisión molecular de gran interés para la ingeniería genética, ya que los plásmidos son portadores de información genética y experimentan replicación, dando lugar a plásmidos hijos, que se transfieren a las células hijas después de la división celular.

Como consecuencia de la semejanza entre la organización molecular de todos los organismos, desde las bacterias hasta los mamíferos, los ADN bacterianos y los de los mamíferos son estructuralmente compatibles; es decir, segmentos de ADN procedentes de una forma de vida pueden mezclarse de manera efectiva con los de otro organismo. Así pues, el ADN híbrido formado por un plásmido fusionado con material genético extraño —por ejemplo, de un mamífero— puede replicarse ya introducido en la célula bacteriana. Ello significa que el genoma del plásmido puede servir de vec-

28. Los plásmidos son elementos extracromosómicos presentes en la mayoría de especies bacterianas, formados por una o varias moléculas de ADN que se encuentran libres en el citoplasma celular, además de la molécula de ADN que forma el cromosoma bacteriano.

tor para establecer y multiplicar el ADN extraño en la bacteria. Estas técnicas han saltado a la opinión pública desde que el científico escocés Ian Wilmut y su equipo han conseguido reproducir una oveja (bautizada como Dolly) con un genotipo idéntico al de otra oveja. Otros investigadores de diversos países están consiguiendo clones de otras especies de mamíferos.

Para obtener un organismo clónico, primero se deben obtener células de éste. Teóricamente cualquier célula del organismo serviría, ya que todas presentan la misma información genética; pero en la práctica, algunas células son más apropiadas que otras. De estas células se extrae el núcleo, que contiene la información genética, y se introduce en un óvulo. A éste previamente se le ha vaciado de su material genético. Este cigoto está en condiciones de desarrollarse, y posee la misma información genética que el organismo «madre»; el individuo que se origine presentará un genotipo idéntico al primero. Si se realiza el experimento varias veces, se obtendrá un grupo de seres genéticamente uniformes. La aplicación fundamental de estas técnicas consiste en la llamada «terapia génica». Ésta consiste en reemplazar genes defectuosos por genes sanos, lo que sólo exige el trazado del mapa del genoma humano.

La Iniciativa Genoma Humano es un inmenso proyecto gestado en 1987 por grupos de investigadores biomoleculares de Estados Unidos, para determinar la secuencia de cada una de los aproximadamente 3.000 millones de sustancias químicas que constituyen nuestra dote genética o genoma (dotación completa de genes en una célula). Los cromosomas humanos contienen alrededor de 31.000 genes, aproximadamente el doble que los de Drosophila melanogaster, la mosca de la fruta. Confeccionar los mapas genéticos (ordenación de los distintos fragmentos a lo largo de cada cromosoma) es una empresa relativamente poco ambiciosa comparada con la secuenciación. Ésta última constituye una empresa enormemente ambiciosa porque implica secuenciar 3.000 millones de bases. No obstante, una vez pueda leerse la secuencia para una determinada enfermedad, se podrá recurrir a tratamientos más simples que la sustitución de los genes.

Ya se tienen los mapas de ciertos cromosomas, como el del cromosoma 16 (portador de los genes de la enfermedad de Kidney y de la leucemia), el del 19 (portador de los genes que reparan el

ADN dañado por la radiación y otros carcinógenos), y el del 21 (portador de genes asociados con el síndrome de Down y la enfermedad de Alzheimer). Recientemente, se ha conseguido secuenciar el cromosoma 22 humano (portador de genes asociados a ciertos trastornos como la esquizofrenia). En el momento de salir a la luz este manual y, con fecha de 12 de febrero de 2001, se ha hecho pública la secuencia completa del genoma humano, simultáneamente en cinco ciudades de diversos continentes. Esto determinará, que la medicina del futuro sea mucho mas personalizada y eficaz. Por otra parte, el desvelamiento de los secretos de la herencia, que resultará de la secuenciación del genoma humano completo, creará sin duda problemas jurídicos y de índole ética.

8.1.5. *La génesis de la Bioética*

El término *bioética*, construido a partir del griego *bios*, «vida», y *êthiké*, «ética», se aplica a aquella parte de la ética, cuyo objeto es el estudio de los problemas morales que surgen en la actividad médica, en las investigaciones biológicas y en las ciencias de la vida en general. La *Encyclopedia of Bioethics*, norteamericana, la define en su sentido más amplio como «el estudio sistemático de la conducta humana en el área de las ciencias de la vida y del cuidado de la salud en cuanto que dicha conducta es examinada a la luz de los valores y de los principios morales» (vol. I, New York, 1978, p. XIX).

Las razones, o factores, del desarrollo de esta disciplina, de la que ya existen cátedras en diversas facultades universitarias de todo el mundo, son, por un lado, los avances científico-técnicos producidos en los últimos años en la biología y la medicina (en ingeniería genética, técnicas de reproducción asistida, transplante de órganos, diversos avances en procedimientos aplicables a técnicas de eugenesia, etc.), y por el otro lado, el creciente interés por la ética en todos los ámbitos de la sociedad. La temática general de la bioética puede enunciarse con preguntas como las siguientes: ¿Qué es preferible, salvar la vida o disfrutarla? ¿Todo lo que técnicamente puede hacerse, puede o debe éticamente hacerse? La temática concreta abarca cuestiones como: diagnóstico prenatal, aborto, eugenesia, dejar morir a recién nacidos deficientes, experimentación

fetal, inseminación artificial y fecundación *in vitro*, manipulación genética, transplante de órganos, relaciones entre médico y enfermo, derecho a la asistencia sanitaria, eutanasia, atención al enfermo terminal, etc.

En el ámbito de la biología y de las ciencias de la vida, las noticias sobre nuevas posibilidades técnicas son a menudo ambivalentes. Los nuevos avances sólo supondrán un progreso si contribuyen a elevar la dignidad humana. Pero muchas veces hay más perplejidades que respuestas. Por eso, la reflexión sobre los problemas de bioética se ha convertido en un presupuesto indispensable para enjuiciar lo que es avance o no en las ciencias de la vida. El punto central que se debate actualmente en la bioética es cómo aplicar los principios generales de la ética a los nuevos problemas que se plantean en el ámbito de la vida. Se debe rechazar la respuesta utilitarista, pues no vale meramente determinar qué solución clínica tiene una mayor utilidad o qué consecuencias se derivan de ella. La validez de las normas de comportamiento ha de basarse en la dignidad del hombre como tal, en la verdad del hombre, como paciente o como médico: la ética debe enraizarse en una visión completa de la persona humana. Esto exige que el especialista en bioética esté familiarizado, por una parte, con el estado actual de los conocimientos científicos, tal y como se presentan en el contexto clínico; y por otra parte, debe tener una amplia formación humanística y de filosofía moral, de manera que pueda juzgar con suficiente conocimiento de causa los hechos que al clínico se le plantean. Pasar por alto o renunciar a cualquiera de estas dos vertientes, forzosamente dejaría desamparada a la bioética. Las decisiones éticas no pueden quedar estrictamente en manos de la tecnología biológica o de los investigadores y médicos: es preciso apelar a la ética, para determinar qué debe hacerse y qué no.

Pero, por otra parte, el especialista en ética, cuando emite sus juicios sin una formación suficientemente relevante y precisa de los avances técnicos en biología o en medicina, muy posiblemente también se equivoque, por no entender los términos reales del problema planteado. Es necesario, pues, un diálogo entre la ética y la biología. La bioética se plantea, por tanto, como una parte de la ética. Es la propia filosofía moral que se aplica a un campo que la ciencia y técnica actual han desarrollado. No es un nuevo conjunto

de principios o reglas útiles, sino la aplicación de esos criterios científicos a una serie de problemas particulares. Y como tal ética, necesita una metafísica que explique de qué forma la persona humana es fundamento de las valoraciones morales. El principio fundamental de la bioética que la metafísica descubre es el de la suprema dignidad de la persona humana sobre los otros valores humanos. Por esta senda puede encontrarse solución a los actuales problemas debatidos en la bioética, donde se contraponen en tantas ocasiones unos valores con otros, sin acabar de acertar en algunos casos con soluciones dignas de la persona.

8.2. Las matemáticas contemporáneas

El objetivo de las matemáticas en el siglo XIX consiste en determinar los métodos que serán utilizados en las demás ciencias. Importantes descubrimientos matemáticos constituyen el origen de un desarrollo general en las otras disciplinas científicas. En Francia, Lagrange hace progresar el estudio de la mecánica, Monge crea la geometría descriptiva, Laplace demuestra la estabilidad del sistema solar, Arago lleva a cabo la medición del meridiano terrestre. Sus sucesores, Cauchy y Galois (que muere en un duelo, a los 21 años), son los promotores de la nueva álgebra y de la matemática pura. En 1821, Augustin Louis Cauchy, consiguió un enfoque lógico y apropiado del cálculo. Cauchy basó su visión del cálculo sólo en cantidades finitas y el concepto de límite. Sin embargo, esta solución planteó un nuevo problema, el de la definición lógica de número real. Aunque la definición de cálculo de Cauchy estaba basada en este concepto, no fue él sino el matemático alemán Julius W. R. Dedekind quien encontró una definición adecuada para los números reales, a partir de los números racionales, que todavía se enseña en la actualidad; los matemáticos alemanes Georg Cantor y Karl T. W. Weierstrass también dieron otras definiciones casi al mismo tiempo. Un problema más importante que surgió al intentar describir el movimiento de vibración de un muelle —estudiado por primera vez en el siglo XVIII— fue el de definir el significado de la palabra función. Euler, Lagrange y el matemático francés Joseph Fourier aportaron soluciones, pero fue el matemático alemán Peter G. L. Dirichlet quien propuso su definición en los términos actuales.

Además de fortalecer los fundamentos del análisis, nombre dado a partir de entonces a las técnicas del cálculo, los matemáticos del siglo XIX llevaron a cabo importantes avances en esta materia. A principios del siglo, Carl Friedrich Gauss dio una explicación adecuada del concepto de número complejo; estos números formaron un nuevo y completo campo del análisis, desarrollado en los trabajos de Cauchy, Weierstrass y el matemático alemán Bernhard Riemann. Otro importante avance del análisis fue el estudio, por parte de Fourier, de las sumas infinitas de expresiones con funciones trigonométricas. Éstas se conocen hoy como series de Fourier, y son herramientas muy útiles tanto en las matemáticas puras como en las aplicadas. Además, la investigación de funciones que pudieran ser iguales a series de Fourier llevó a Cantor al estudio de los conjuntos infinitos y a una aritmética de números infinitos. La teoría de Cantor, que fue considerada como demasiado abstracta y criticada como «enfermedad de la que las matemáticas se curarán pronto», forma hoy parte de los fundamentos de las matemáticas y recientemente ha encontrado una nueva aplicación en el estudio de corrientes turbulentas en fluidos.

Durante este período, la escuela matemática alemana demuestra una gran originalidad: los trabajos del alemán Bernhard Riemann (1826-1866) tienen particular importancia, siendo él el iniciador de las geometrías no euclidianas. En ellas se pueden trazar al menos dos rectas paralelas a una recta dada que pasen por un punto que no pertenece a ésta. Aunque descubierta primero por Gauss, éste tuvo miedo de la controversia que su publicación pudiera causar. Los mismos resultados fueron descubiertos y publicados por separado por el matemático ruso Nikolái Ivánovich Lobachevsky y por el húngaro János Bolyai. Las geometrías no euclídeas fueron estudiadas en su forma más general por Riemann, con su descubrimiento de las múltiples paralelas. En el siglo XX, a partir de los trabajos de Einstein, se le han encontrado también aplicaciones en física.

Gauss es uno de los más importantes matemáticos de la historia. Los diarios de su juventud muestran que ya en sus primeros años había realizado grandes descubrimientos en teoría de números, un área en la que su libro *Disquisitiones arithmeticae* (1801) marca el comienzo de la era moderna. En su tesis doctoral presentó la primera demostración apropiada del teorema fundamental del ál-

gebra. A menudo combinó investigaciones científicas y matemáticas. Por ejemplo, desarrolló métodos estadísticos al mismo tiempo que investigaba la órbita de un planetoide recién descubierto, realizaba trabajos en teoría de potencias junto a estudios del magnetismo, o estudiaba la geometría de superficies curvas a la vez que desarrollaba sus investigaciones topográficas.

De mayor importancia para el álgebra que la demostración del teorema fundamental por Gauss fue la transformación que ésta sufrió durante el siglo XIX, para pasar del mero estudio de los polinomios al estudio de la estructura de sistemas algebraicos. Un paso importante en esa dirección fue la invención del álgebra simbólica por el inglés George Peacock. Otro avance destacado fue el descubrimiento de sistemas algebraicos que tienen muchas propiedades de los números reales. Entre estos sistemas se encuentran las cuaternas del matemático irlandés William Rowan Hamilton, el análisis vectorial del matemático y físico estadounidense Josiah Willard Gibbs y los espacios ordenados de *n* dimensiones del matemático alemán Hermann Günther Grassmann. Otro paso importante fue el desarrollo de la teoría de grupos, a partir de los trabajos de Lagrange. Galois utilizó estos trabajos muy a menudo para generar una teoría sobre qué polinomios pueden ser resueltos con una fórmula algebraica.

Del mismo modo que Descartes había utilizado en su momento el álgebra para estudiar la geometría, el matemático alemán Felix Klein y el noruego Marius Sophus Lie lo hicieron con el álgebra del siglo XIX. Klein la utilizó para clasificar las geometrías según sus grupos de transformaciones (el llamado «Programa Erlanger»), y Lie la aplicó a una teoría geométrica de ecuaciones diferenciales mediante grupos continuos de transformaciones conocidas como grupos de Lie. En el siglo XX, el álgebra se ha aplicado a una forma general de la geometría conocida como topología.

También los fundamentos de las matemáticas fueron completamente transformados durante el siglo XIX, sobre todo por el matemático inglés George Boole en su libro *Investigación sobre las leyes del pensamiento* (1854) y por Cantor en su teoría de conjuntos. Sin embargo, hacia finales del siglo, se descubrieron una serie de paradojas en la teoría de Cantor. El matemático y filósofo inglés Bertrand Russell encontró una de estas paradojas, que afectaba al

propio concepto de conjunto. Los matemáticos resolvieron este problema construyendo teorías de conjuntos lo bastante restrictivas como para eliminar todas las paradojas conocidas, aunque sin determinar si podrían aparecer otras paradojas —es decir, sin demostrar si estas teorías son consistentes. Hasta nuestros días, sólo se han encontrado demostraciones relativas de consistencia (si la teoría *B* es consistente entonces la teoría *A* también lo es). Especialmente preocupante es la conclusión, demostrada en 1931 por el lógico estadounidense Kurt Gödel, según la cual en cualquier sistema de axiomas lo suficientemente complicado como para ser útil a las matemáticas es posible encontrar proposiciones cuya certeza no se puede demostrar dentro del sistema. El científico francés Henri Poincaré (1854-1912), «símbolo vivo de las ciencias racionales», resume el esfuerzo de análisis que caracteriza la segunda mitad del siglo.

En la Conferencia Internacional de Matemáticos que tuvo lugar en París en 1900, el matemático alemán David Hilbert expuso sus teorías. Hilbert era catedrático en Gotinga, el hogar académico de Gauss y Riemann, y había contribuido de forma sustancial en casi todas las ramas de las matemáticas, desde su clásico *Fundamentos de la geometría* (1899) a su *Fundamentos de la matemática* en colaboración con otros autores. La conferencia de Hilbert en París consistió en un repaso a veintitrés problemas matemáticos que él creía podrían ser las metas de la investigación matemática del siglo que empezaba. Estos problemas, de hecho, han estimulado gran parte de los trabajos matemáticos del siglo XX, y cada vez que aparecen noticias de que otro de los «problemas de Hilbert» ha sido resuelto, la comunidad matemática internacional espera los detalles con impaciencia.

A pesar de la importancia que han tenido estos problemas, un hecho que Hilbert no pudo imaginar fue la invención del ordenador o computadora digital programable, primordial en las matemáticas del futuro. Aunque los orígenes de las computadoras fueron las calculadoras de relojería de Pascal y Leibniz en el siglo XVII, fue Charles Babbage quien, en la Inglaterra del siglo XIX, diseñó una máquina capaz de realizar operaciones matemáticas automáticamente siguiendo una lista de instrucciones (programa) escritas en tarjetas o cintas. La imaginación de Babbage sobrepa-

só la tecnología de su tiempo, y no fue hasta la invención del relé, la válvula de vacío y después la del transistor, cuando la computación programable a gran escala se hizo realidad. Este avance ha dado un gran impulso a ciertas ramas de las matemáticas, como el análisis numérico y las matemáticas finitas, y ha generado nuevas áreas de investigación matemática como el estudio de los algoritmos.

El ordenador se ha convertido en una poderosa herramienta en campos tan diversos como la teoría de números, las ecuaciones diferenciales y el álgebra abstracta. Además, ha permitido encontrar la solución a varios problemas matemáticos que no se habían podido resolver anteriormente, como el problema topológico de los cuatro colores propuesto a mediados del siglo XIX. El teorema dice que cuatro colores son suficientes para dibujar cualquier mapa, con la condición de que dos países limítrofes deben tener distintos colores. Este teorema fue demostrado en 1976 utilizando una computadora de gran capacidad de cálculo en la Universidad de Illinois (Estados Unidos). El conocimiento matemático del mundo moderno ha avanzando más rápidamente que nunca. Teorías que eran completamente distintas se han reunido para formar teorías más completas y abstractas. Aunque la mayoría de los problemas más importantes han sido resueltos, otros como las hipótesis de Riemann siguen sin solución. Al mismo tiempo siguen apareciendo nuevos y estimulantes problemas. Parece que incluso las matemáticas más abstractas están encontrando aplicación.

8.3. La física contemporánea

Descubrimientos esenciales revolucionaron la física en los últimos siglos: rechazando todas las afirmaciones precedentes, el óptico Fresnel demuestra que los fenómenos luminosos son debidos a la propagación de ondas vibratorias. Al lado del viejo Berthollet, Biot y Arago realizan las primeras mediciones precisas relativas a la densidad del aire. El mismo año, Gay-Lussac descubre la ley de dilatación de los gases y estudia la composición de la atmósfera. En cuanto a Sadi Carnot, define en un largo estudio las primeras leyes de la termodinámica. A fines del siglo XIX, los físicos verifican y

precisan las nociones ya adquiridas: perfeccionan la termodinámica (es decir, la ciencia que estudia las relaciones entre el calor y el trabajo) gracias a los estudios de los alemanes Helmholtz y Clausius y del inglés Kelvin. Pero veámoslo con más detalle.

8.3.1. *Electricidad y magnetismo*

Los progresos más ricos en consecuencias se llevan a cabo en el campo de la electricidad. En 1800, los italianos Galvani y Volta construyen la primera pila. El danés Oersted descubre la acción de la corriente eléctrica sobre una aguja imantada, y el francés Ampère define las leyes del electromagnetismo. El inglés Faraday y el americano Henry establecen la noción de inducción, y el alemán Ohm expone su teoría matemática de la corriente eléctrica. Estos descubrimientos permiten el empleo del telégrafo eléctrico (preparado por Steinheil y por Morse), que funciona en Francia y en Inglaterra hacia los años cuarenta del siglo.

Aunque los antiguos griegos conocían las propiedades electrostáticas del ámbar, y los chinos ya fabricaban imanes con magnetita en el 2700 a.C., los fenómenos eléctricos y magnéticos no empezaron a comprenderse hasta finales del siglo XVIII, cuando comenzaron a realizarse experimentos en estos campos. En 1785, el físico francés Charles de Coulomb confirmó por primera vez, de forma experimental, que las cargas eléctricas se atraen o se repelen con una intensidad inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa (ley de Coulomb). Más tarde, el matemático francés Siméon Denis Poisson y su colega alemán Carl Friedrich Gauss desarrollaron una potente teoría para calcular el efecto de un número indeterminado de cargas eléctricas estáticas arbitrariamente distribuidas.

Dos partículas con cargas opuestas se atraen, por lo que tienden a acelerarse una hacia la otra. Si el medio a través del cual se mueven ofrece resistencia, pueden acabar moviéndose con velocidad constante (en lugar de moverse con aceleración constante) a la vez que el medio se calienta y sufre otras alteraciones. La posibilidad de mantener una fuerza electromotriz capaz de impulsar de forma continuada partículas eléctricamente cargadas llegó con el desarro-

llo de la pila química en 1800, debido al físico italiano Alessandro Volta. La teoría clásica de un circuito eléctrico simple supone que los dos polos de una pila se mantienen cargados positiva y negativamente debido a las propiedades internas de ella. Cuando los polos se conectan mediante un conductor, las partículas cargadas negativamente son repelidas por el polo negativo y atraídas por el positivo, con lo que se mueven hacia él y calientan el conductor, ya que ofrece resistencia a dicho movimiento. Al llegar al polo positivo, las partículas son obligadas a desplazarse dentro de la pila hasta el polo negativo, en contra de las fuerzas que se oponen a ello según la ley de Coulomb. El físico alemán Georg Simon Ohm descubrió la existencia de una constante de proporcionalidad sencilla entre la corriente que fluye por el circuito y la fuerza electromotriz suministrada por la pila. Esta constante es la resistencia eléctrica del circuito, *R*. La ley de Ohm, que afirma que la resistencia es igual a la fuerza electromotriz, o tensión, dividida entre la intensidad de corriente, no es una ley fundamental de la física de aplicación universal, sino que describe el comportamiento de una clase limitada de materiales sólidos.

Los conceptos elementales del magnetismo, basados en la existencia de pares de polos opuestos, aparecieron en el siglo XVII y fueron desarrollados en los trabajos de Coulomb. Sin embargo, la primera conexión entre el magnetismo y la electricidad se encontró en los experimentos del físico y químico danés Hans Christian Oersted, quien en 1819 descubrió que un cable conductor por el que fluía una corriente eléctrica desviaba una aguja magnética situada en sus proximidades. A la semana de conocer el descubrimiento de Oersted, el científico francés André Marie Ampère demostró experimentalmente que dos cables por los que circula una corriente ejercen una influencia mutua igual a la de los polos de un imán. En 1831, el físico y químico británico Michael Faraday descubrió que podía inducirse el flujo de una corriente eléctrica en un conductor en forma de espira no conectado a una batería, moviendo un imán en sus proximidades o situando cerca otro conductor por el que circulara una corriente variable. La forma más fácil de enunciar la íntima relación entre la electricidad y el magnetismo, perfectamente establecida en la actualidad, es a partir de los conceptos de campo eléctrico y magnético. La intensidad, dirección y sentido del campo en cada punto mide la fuerza que actuaría sobre una carga unidad (en el caso del

campo eléctrico) o una corriente unidad (en el caso del campo magnético) situadas en ese punto. Las cargas eléctricas estacionarias producen campos eléctricos; las corrientes —esto es, las cargas en movimiento— producen campos eléctricos y magnéticos. Un campo eléctrico también puede ser producido por un campo magnético variable, y viceversa. Los campos eléctricos ejercen fuerzas sobre las partículas cargadas por el simple hecho de tener carga, independientemente de su velocidad; los campos magnéticos sólo ejercen fuerzas sobre partículas cargadas en movimiento.

Estos hallazgos cualitativos fueron expresados en una forma matemática precisa por el físico británico James Clerk Maxwell, que desarrolló las ecuaciones diferenciales en derivadas parciales que llevan su nombre. Las ecuaciones de Maxwell relacionan los cambios espaciales y temporales de los campos eléctrico y magnético en un punto, con las densidades de carga y de corriente en dicho punto. En principio, permiten calcular los campos en cualquier momento y lugar a partir del conocimiento de las cargas y corrientes. Un resultado inesperado que surgió al resolver las ecuaciones fue la predicción de un nuevo tipo de campo electromagnético producido por cargas eléctricas aceleradas. Este campo se propagaría por el espacio con la velocidad de la luz en forma de onda electromagnética, y su intensidad disminuiría de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente. En 1887, el físico alemán Heinrich Hertz consiguió generar físicamente esas ondas por medios eléctricos, con lo que sentó las bases para la radio, el radar, la televisión y otras formas de telecomunicaciones.

El comportamiento de los campos eléctrico y magnético en estas ondas es bastante similar al de una cuerda tensa muy larga cuyo extremo se hace oscilar rápidamente hacia arriba y hacia abajo. Cualquier punto de la cuerda se mueve hacia arriba y hacia abajo con la misma frecuencia que la fuente de las ondas situada en el extremo de la cuerda. Los puntos de la cuerda situados a diferentes distancias de la fuente alcanzan su máximo desplazamiento vertical en momentos diferentes. Cada punto de la cuerda hace lo mismo que su vecino, pero lo hace algo más tarde si está más lejos de la fuente de vibración. La velocidad con que se transmite la perturbación a lo largo de la cuerda, o la «orden» de oscilar, se denomina velocidad de onda. Esta velocidad es función de la densidad lineal de la cuerda (masa por unidad de longitud) y de la tensión a la que

esté sometida. Una fotografía instantánea de la cuerda después de llevar moviéndose cierto tiempo mostraría que los puntos que presentan el mismo desplazamiento están separados por una distancia conocida como *longitud de onda*, que es igual a la velocidad de onda dividida entre la frecuencia. En el caso del campo electromagnético la intensidad del campo eléctrico se puede asociar al movimiento vertical de cada punto de la cuerda, mientras que el campo magnético se comporta del mismo modo, pero formando un ángulo recto con el campo eléctrico (y con la dirección de propagación). La velocidad con que la onda electromagnética se aleja de la fuente es la velocidad de la luz.

8.3.2. *Óptica*

La aparente propagación lineal de la luz se conoce desde la Antigüedad, y los griegos creían que la luz estaba formada por un flujo de corpúsculos. Sin embargo, había gran confusión sobre si estos corpúsculos procedían del ojo o del objeto observado. Cualquier teoría satisfactoria de la luz debe explicar su origen y desaparición y sus cambios de velocidad y dirección al atravesar diferentes medios. En el siglo XVII, Newton ofreció respuestas parciales a estas preguntas, basadas en una teoría corpuscular; el científico británico Robert Hooke y el astrónomo, matemático y físico holandés Christiaan Huygens propusieron teorías de tipo ondulatorio. No fue posible realizar ningún experimento cuyo resultado confirmara una u otra teoría hasta que, a principios del siglo XIX, el físico y médico británico Thomas Young demostró el fenómeno de la interferencia en la luz. El físico francés Augustin Jean Fresnel apoyó decisivamente la teoría ondulatoria.

La interferencia puede observarse colocando una rendija estrecha delante de una fuente de luz, situando una doble rendija algo más lejos y observando una pantalla colocada a cierta distancia de la doble rendija. En lugar de aparecer una imagen de las rendijas uniformemente iluminada, se ve una serie de bandas oscuras y claras equidistantes. Para explicar cómo las hipotéticas partículas de luz procedentes de la misma fuente, que llegan a la pantalla a través de las dos rendijas, pueden producir distintas intensidades de luz en diferentes puntos —e incluso anularse unas a otras y producir zonas oscuras—

habría que considerar complejas suposiciones adicionales. En cambio, las ondas de luz pueden producir fácilmente un efecto así. Si se supone, como hizo Huygens, que cada una de las dos rendijas actúa como una nueva fuente que emite luz en todas direcciones, los dos trenes de onda que llegan a la pantalla en un mismo punto pueden no estar en fase, aunque lo estuvieran al salir de las rendijas (se dice que dos vibraciones están en fase en un punto determinado cuando en cada momento se encuentran en la misma etapa de la oscilación: sus máximos coinciden en un mismo momento, y lo mismo ocurre con los mínimos). Según la diferencia de recorrido entre ambos trenes en cada punto de la pantalla, puede ocurrir que un desplazamiento «positivo» de uno de ellos coincida con uno «negativo» del otro —con lo que se producirá una zona oscura— o que lleguen simultáneamente dos desplazamientos positivos, o negativos, lo que provocará un refuerzo de las intensidades, y por ende una zona brillante. En cada punto brillante, la intensidad de la luz experimenta una variación temporal a medida que las sucesivas ondas en fase van desde el máximo desplazamiento positivo hasta el máximo negativo, pasando por cero, y vuelven de nuevo al máximo desplazamiento positivo. Sin embargo, ni el ojo ni ningún instrumento clásico puede determinar este rápido «parpadeo», que en la zona de luz visible tiene una frecuencia que va de 4×10^{14} a $7{,}5 \times 10^{14}$ herzios (ciclos por segundo). Aunque la frecuencia no puede medirse directamente, puede deducirse de las medidas de longitud de onda y velocidad. La longitud de onda puede determinarse midiendo la distancia entre ambas rendijas y la separación entre dos franjas brillantes adyacentes en la pantalla. Las longitudes de onda van desde 4×10^{-5} cm en la luz violeta hasta $7{,}5 \times 10^{-5}$ cm en la luz roja; los demás colores corresponden a longitudes de onda intermedias.

Los trabajos de Maxwell aportaron resultados importantes a la comprensión de la naturaleza de la luz, al demostrar que su origen es electromagnético: una onda luminosa corresponde a campos eléctricos y magnéticos oscilantes. Las investigaciones de Faraday y de Maxwell sobre la teoría electromagnética de la luz fueron confirmadas por Hertz en 1889. Sus trabajos predijeron la existencia de luz no visible, y en la actualidad se sabe que las ondas o radiaciones electromagnéticas cubren todo un espectro, que empieza en los rayos gamma, con longitudes de onda de 10^{-12} cm y aún menores, pasando por los rayos X, la luz visible y las microondas, hasta las on-

das de radio, con longitudes de onda de hasta varios cientos de kilómetros. Maxwell también consiguió relacionar la velocidad de la luz en el vacío y en los diferentes medios con otras propiedades del espacio y la materia, de las que dependen los efectos eléctricos y magnéticos. Sin embargo, los descubrimientos de Maxwell no aportaron ningún conocimiento sobre el misterioso medio por el que se pensaba que se propagaban la luz y las ondas electromagnéticas. A partir de las experiencias con las olas, el sonido y las ondas elásticas, los científicos suponían que existía un medio similar, un «éter luminífero», sin masa, que llenaba todo el espacio (puesto que la luz puede desplazarse a través del vacío) y actuaba como un sólido (ya que se sabía que las ondas electromagnéticas eran transversales, puesto que las oscilaciones se producen en un plano perpendicular a la dirección de propagación, y en los gases y líquidos sólo pueden propagarse ondas longitudinales, como las ondas sonoras). La búsqueda de este misterioso éter ocupó la atención de una gran parte de los físicos a lo largo de los últimos años del siglo XIX.

El problema se complicaba por un aspecto adicional. Una persona que camine a 5 km/h en un tren que se desplaza a 100 km/h tiene una velocidad aparente de 105 km/h para un observador situado en el andén. La pregunta que surgía en relación con la velocidad de la luz era la siguiente: si la luz se desplaza a unos 300.000 km/s a través del éter, ¿a qué velocidad se desplazará con respecto a un observador situado en la Tierra, puesto que la Tierra también se mueve en relación al éter? ¿Cuál es la velocidad de la Tierra con respecto al éter, indicada por sus efectos sobre las ondas luminosas? El famoso experimento de Michelson-Morley, realizado en 1887 por Michelson y por el químico estadounidense Edward Williams Morley con ayuda de un interferómetro, pretendía medir esta velocidad. Si la Tierra se desplazara a través de un éter estacionario debería observarse una diferencia en el tiempo empleado por la luz para recorrer una distancia determinada según que se desplazase de forma paralela o perpendicular al movimiento de la Tierra. El experimento era lo bastante sensible para detectar —a partir de la interferencia entre dos haces de luz— una diferencia extremadamente pequeña. Sin embargo, los resultados fueron negativos: esto planteó un dilema para la física que no se resolvió hasta que Einstein formuló su teoría de la relatividad en 1905.

8.3.3. *La termodinámica*

Una rama de la física que alcanzó pleno desarrollo en el siglo XIX fue la termodinámica. En primer lugar aclaró los conceptos de calor y temperatura, proporcionando definiciones coherentes y demostrando cómo podían relacionarse éstas con los conceptos de trabajo y energía, que hasta entonces tenían un carácter puramente mecánico. Cuando una persona toca un cuerpo caliente y otro frío experimenta sensaciones diferentes: esto llevó al concepto cualitativo y subjetivo de temperatura. La adición de calor a un cuerpo lleva a un aumento de su temperatura (mientras no se produzca fusión o vaporización); cuando se ponen en contacto dos cuerpos a temperaturas diferentes, se produce un flujo de calor del más caliente al más frío hasta que se igualan sus temperaturas y se alcanza el equilibrio térmico. Para llegar a una medida de la temperatura, los científicos aprovecharon la observación de que la adición o sustracción de calor produce un cambio en alguna propiedad bien definida del cuerpo. Por ejemplo, la adición de calor a una columna de líquido mantenida a presión constante aumenta la longitud de la columna, mientras que el calentamiento de un gas confinado en un recipiente aumenta su presión. Esto hace que la temperatura pueda medirse a partir de otra propiedad física (por ejemplo, la longitud de la columna de mercurio en un termómetro) siempre que se mantengan constantes las otras propiedades relevantes. La relación matemática entre las propiedades físicas relevantes de un cuerpo o sistema y su temperatura se conoce como ecuación de estado. Por ejemplo, en los gases llamados *ideales*, hay una relación sencilla entre la presión p, el volumen V, el número de moles n y la temperatura absoluta T, dada por la ecuación $pV = nRT$, donde R es una constante igual para todos los gases. La ley de Boyle-Mariotte, llamada así en honor al físico y químico británico Robert Boyle y al físico francés Edme Mariotte, y la ley de Charles y Gay-Lussac, llamada así en honor a los físicos y químicos franceses Joseph Louis Gay-Lussac y Jacques Alexandre Cesar Charles, están contenidas en esa ecuación de estado.

A mediados del siglo XIX, el físico alemán Hermann Ludwig von Helmholtz y el matemático y físico británico lord Kelvin explicaron la equivalencia entre calor y trabajo. Esta equivalencia significa que la realización de trabajo sobre un sistema puede producir

el mismo efecto que la adición de calor. Por ejemplo, puede lograrse el mismo aumento de temperatura en un líquido contenido en un recipiente suministrándole calor o realizando la cantidad de trabajo apropiada, haciendo girar una rueda de paletas dentro del recipiente. El valor numérico de esta equivalencia, el llamado «equivalente mecánico del calor», fue determinado en experimentos realizados entre 1840 y 1849 por el físico británico James Prescott Joule.

Con ello quedó establecido que la realización de trabajo sobre un sistema y la adición de calor a éste son formas equivalentes de transferir energía al sistema. Por tanto, la cantidad de energía añadida como calor o trabajo debe aumentar la energía interna del sistema, que a su vez determina la temperatura. Si la energía interna no varía, la cantidad de trabajo realizado sobre un sistema debe ser igual al calor desprendido por el mismo. Esto constituye el primer principio de la termodinámica, que expresa la conservación de la energía. Esta energía interna sólo pudo relacionarse con la suma de las energías cinéticas de todas las partículas del sistema, cuando se comprendió mejor la actividad de los átomos y moléculas dentro de un sistema.

El primer principio indica que la energía se conserva en cualquier interacción entre un sistema y su entorno, pero no pone limitaciones a las formas de intercambio de energía térmica y mecánica. El primero en formular el principio de que los intercambios de energía se producen globalmente en una dirección determinada fue el físico e ingeniero militar francés Sadi Carnot, quien en 1824 mostró que una máquina térmica (un dispositivo que puede producir trabajo de forma continua a partir del intercambio de calor con su entorno) necesita un cuerpo caliente como fuente de calor y un cuerpo frío para absorber el calor desprendido. Cuando la máquina realiza trabajo, hay que transferir calor del cuerpo caliente al cuerpo frío; para que ocurra lo contrario, hay que realizar trabajo mecánico (o eléctrico). Por ejemplo, en un refrigerador que funciona de forma continua, la absorción de calor del cuerpo de baja temperatura (el espacio que se quiere refrigerar) exige realizar trabajo (por lo general en forma eléctrica) y desprender calor al entorno (a través de aletas o rejillas de refrigeración situadas en la parte trasera del aparato). Estas ideas, basadas en los conceptos de Carnot, fueron formuladas de forma rigurosa como segundo principio de la

termodinámica por el físico matemático alemán Rudolf Emanuel Clausius y lord Kelvin en formas diversas aunque equivalentes. Una de estas formulaciones es que el calor no puede fluir de un cuerpo frío a un cuerpo caliente sin que se realice trabajo.

Del segundo principio se deduce que, en un sistema aislado (en el que no existen interacciones con el entorno), las partes internas que se encuentran a temperaturas distintas siempre tienden a igualar sus temperaturas y alcanzar así el equilibrio. Este principio también puede aplicarse a otras propiedades internas inicialmente no uniformes. Por ejemplo, si se vierte leche en una taza de café, las dos sustancias se mezclan hasta hacerse inseparables e indiferenciables. Por lo tanto, un estado inicial ordenado, con componentes diferenciados, se convierte en un estado mezclado o desordenado. Estas ideas se pueden expresar a partir de una propiedad termodinámica denominada «entropía» (enunciada por primera vez por Clausius), que mide lo cerca que está un sistema del equilibrio, es decir, del desorden interno perfecto. La entropía de un sistema aislado, y del Universo en su conjunto, sólo puede aumentar y, cuando se alcanza finalmente el equilibrio, ya no son posibles cambios internos de ninguna clase. Cuando se aplica al conjunto del Universo, este principio sugiere que la temperatura de todo el cosmos acabará siendo uniforme, con lo que se producirá la llamada «muerte térmica» del Universo.

Sin embargo, la entropía puede disminuirse localmente mediante acciones externas. Esto ocurre en las máquinas (por ejemplo un refrigerador, en el que se reduce la entropía del espacio enfriado) y en los organismos vivos. Por otra parte, este aumento local del orden sólo es posible mediante un incremento de la entropía del entorno, donde necesariamente tiene que aumentar el desorden. Este aumento continuado de la entropía está relacionado con la irreversibilidad que se observa en los procesos macroscópicos. Si un proceso fuera reversible espontáneamente —es decir, si después de realizado el proceso, tanto el sistema como el entorno pudieran regresar a su estado inicial— la entropía permanecería constante, lo que violaría el segundo principio. Aunque los procesos macroscópicos observados en la experiencia cotidiana son irreversibles, no ocurre lo mismo con los procesos microscópicos. Por ejemplo, las reacciones químicas entre moléculas individuales no se rigen por el

segundo principio de la termodinámica, que sólo es válido para conjuntos macroscópicos.

A partir de la formulación del segundo principio, se produjeron otros avances en la termodinámica, cuyas aplicaciones se extendieron más allá de la física y alcanzaron a la química y la ingeniería. La mayor parte de la ingeniería química, toda la ingeniería energética, la tecnología de acondicionamiento de aire y la física de bajas temperaturas son algunos de los campos que deben su base teórica a la termodinámica y a los logros posteriores de científicos como Maxwell, el físico estadounidense Willard Gibbs, el químico físico alemán Walther Nernst o el químico estadounidense de origen noruego Lars Onsager.

Hacia 1880, la física presentaba un panorama de calma: la mayoría de los fenómenos podían explicarse mediante la mecánica de Newton, la teoría electromagnética de Maxwell, la termodinámica y la mecánica estadística de Boltzmann. Parecía que sólo quedaban por resolver unos pocos problemas, como la determinación de las propiedades del éter y la explicación de los espectros de emisión y absorción de sólidos y gases. Sin embargo, estos fenómenos contenían las semillas de una revolución cuyo estallido se vio acelerado por una serie de asombrosos descubrimientos realizados en la última década del siglo XIX: en 1895, Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos X; ese mismo año, Joseph John Thomson descubrió el electrón; en 1896, Antoine Henri Becquerel descubrió la radiactividad; entre 1887 y 1899, Heinrich Hertz, Wilhelm Hallwachs y Philipp Lenard descubrieron diversos fenómenos relacionados con el efecto fotoeléctrico. Los datos experimentales de la física, unidos a los inquietantes resultados del experimento de Michelson-Morley y al descubrimiento de los rayos catódicos, formados por chorros de electrones, desafiaban todas las teorías disponibles.

8.3.4. *La revolución de la física*

Mientras la biología adquiría una base más firme, la física se vio sacudida por las inesperadas consecuencias de la teoría cuántica y la de la relatividad. En 1927, el físico alemán Werner Heisen-

berg formuló el llamado *principio de incertidumbre*, que afirma que es imposible especificar con exactitud y al mismo tiempo la posición y el momento lineal de una partícula. En otras palabras, los físicos no pueden medir la posición de una partícula sin causar una perturbación en la velocidad de dicha partícula. Se dice que el conocimiento de la posición y de la velocidad son complementarios, es decir, que no pueden ser precisos al mismo tiempo. Este principio también es fundamental en la visión de la mecánica cuántica que suele aceptarse en la actualidad: los caracteres ondulatorio y corpuscular de la radiación electromagnética pueden interpretarse como dos propiedades complementarias de la radiación. Por este motivo, la mecánica cuántica no opera con datos exactos, sino con deducciones estadísticas relativas a un gran número de sucesos individuales.

El físico británico nacido en Nueva Zelanda Ernest Rutherford[29] fue uno de los primeros y más importantes investigadores en física nuclear. Poco después del descubrimiento de la radiactividad en 1896 por el físico francés Antoine Henri Becquerel, Rutherford identificó los tres componentes principales de la radiación y los denominó rayos *alfa*, *beta* y *gamma*. También demostró que las partículas *alfa* son núcleos de helio. En 1919, Rutherford dirigió un importante experimento en física nuclear que consistía en bombardear nitrógeno con partículas alfa, y obtuvo átomos de un isótopo de oxígeno y protones. Esta transmutación de nitrógeno en oxígeno

29. Ernest Rutherford (1871-1937), nació el 30 de agosto de 1871, en Nelson, Nueva Zelanda y estudió en la Universidad de Nueva Zelanda y en la de Cambridge. Fue profesor de Física en la Universidad McGill de Montreal, Canadá, desde 1898 a 1907 y en la de Manchester, en Inglaterra, durante los 12 años siguientes. A partir de 1919 ejerció como profesor de Física experimental y director del Laboratorio Cavendish en la Universidad de Cambridge y también mantuvo una cátedra, a partir de 1920, en la Institución Real de Gran Bretaña en Londres. Rutherford fue elegido miembro de la Sociedad Real en 1903 y ejerció como presidente de esta institución desde 1925 a 1930. En 1908 fue galardonado con el Premio Nobel de Química y recibió el título de sir en 1914. Murió en Londres el 19 de octubre de 1937 y fue enterrado en la Abadía de Westminster. Entre sus escritos se encuentran: *Radioactivity* (Radiactividad, 1904); *Radiations from Radioactive Substances* (Radiaciones de las sustancias radiactivas, 1930), que redactó con los físicos James Chadwick y Charles Drummond Ellis y que se ha convertido en un texto clásico, y *The Newer Alchemy* (La nueva alquimia, 1937).

fue la primera que produjo una reacción nuclear de forma artificial. Inspiró la investigación de los científicos posteriores sobre otras transformaciones nucleares y sobre la naturaleza y las propiedades de la radiación. Rutherford y el físico británico Frederick Soddy desarrollaron la explicación de la radiactividad que todavía aceptan los científicos actuales.

Su estudio de la radiación le llevó a formular una teoría de la estructura atómica que fue la primera en describir el átomo como un núcleo denso alrededor del cual giran los electrones. Demostró que los átomos no podían ser concebidos a modo de esferas llenas ya que, bombardeando unas placas metálicas con partículas emitidas por una sustancia radioactiva, se mostraba que la mayoría de ellas las atravesaban. A partir de los datos experimentales de la dispersión de partículas alfa por núcleos de átomos de oro, estableció en 1911 que los átomos eran como pequeños sistemas planetarios constituidos por un núcleo denso con carga positiva, en torno al cual giraban los electrones negativos, y «llenos» de vacío.

Sin embargo, la teoría electromagnética clásica desarrollada por el físico británico James Clerk Maxwell predecía inequívocamente que un electrón que girara en torno a un núcleo radiaría continuamente energía electromagnética hasta perder toda su energía, y acabaría cayendo en el núcleo. Por tanto, según la teoría clásica, el átomo descrito por Rutherford sería inestable. Esta dificultad llevó al físico danés Niels Bohr[30] a postular, en 1913, que la teoría clá-

30. Niels Bohr (1885-1962), físico danés, nació en Copenhague el 7 de octubre de 1885; era hijo de un profesor de fisiología y estudió en la universidad de su ciudad natal, donde alcanzó el doctorado en 1911. Ese mismo año fue a la Universidad de Cambridge (Inglaterra) para estudiar física nuclear con J.J. Thomson, pero pronto se trasladó a la Universidad de Manchester para trabajar con Ernest Rutherford. En 1916, Bohr regresó a la Universidad de Copenhague como profesor de Física, y en 1920 fue nombrado director del Instituto de Física Teórica de esa universidad, recién constituido. Allí, Bohr elaboró una teoría que relaciona los números cuánticos de los átomos con los grandes sistemas que siguen las leyes clásicas, y realizó otras importantes aportaciones a la física teórica. Su trabajo ayudó a impulsar el concepto de que los electrones se encuentran en capas y que los de la última capa determinan las propiedades químicas de un átomo. En 1939, reconociendo el significado de los experimentos de la fisión de los científicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassmann, Bohr convenció a los físicos en una conferencia en Estados Unidos de la importancia de estos experimentos. Más tarde, demostró que el uranio 235

sica no es válida en el interior del átomo y que los electrones se desplazan en órbitas fijas. La teoría de la estructura atómica de Bohr, que le valió el Premio Nobel de Física en 1922, se publicó en una memoria entre 1913 y 1915. Su trabajo versó sobre el modelo nuclear del átomo de Rutherford, en el que el átomo se ve como un núcleo compacto rodeado por un enjambre de electrones más ligeros. El modelo de átomo de Bohr utilizó la teoría cuántica y la constante de Planck, estableciendo que un átomo emite radiación electromagnética sólo cuando un electrón del átomo salta de un nivel cuántico a otro. Cada cambio de órbita de un electrón corresponde a la absorción o emisión de un «cuanto» de radiación. La aplicación de la teoría de Bohr a átomos con más de un electrón resultó difícil. Las ecuaciones matemáticas para el siguiente átomo más sencillo, el de helio, fueron resueltas durante la segunda y tercera década del siglo XX, pero los resultados no concordaban exactamente con los datos experimentales. Para átomos más complejos sólo pueden obtenerse soluciones aproximadas de las ecuaciones, y se ajustan sólo parcialmente a las observaciones. De cualquier forma, el modelo bohriano contribuyó enormemente al desarrollo de la física atómica teórica.

En definitiva, todo el formalismo de la física clásica se mostraba insuficiente para explicar el comportamiento de la materia al nivel de las partículas subatómicas, razón por la cual sería reemplazado por un formalismo mucho más elaborado y muy distinto, mucho más difícil de transcribir al lenguaje corriente. Nacía así la mecánica cuántica.

es el isótopo del uranio que experimenta la fisión nuclear. Bohr regresó posteriormente a Dinamarca, donde fue obligado a permanecer después de la ocupación alemana del país en 1940. Sin embargo, consiguió llegar a Suecia con gran peligro de su vida y de la de su familia. Desde Suecia, la familia Bohr viajó a Inglaterra y por último a los Estados Unidos, donde Bohr se incorporó al equipo que trabajaba en la construcción de la primera bomba atómica en Los Álamos (Nuevo México), hasta su explosión en 1945. Bohr se opuso, sin embargo, a que el proyecto se llevara a cabo en total secreto, y temía las consecuencias de este siniestro nuevo invento. Deseaba un control internacional. En 1945, Bohr regresó a la Universidad de Copenhague donde, inmediatamente, comenzó a desarrollar usos pacifistas para la energía atómica. Organizó la primera conferencia «Átomos para la paz» en Ginebra, celebrada en 1955, y dos años más tarde recibió el primer premio «Átomos para la paz». Bohr murió el 18 de diciembre de 1962 en Copenhague.

a) *La mecánica cuántica*

Si en los siglos XVIII y XIX, la mecánica newtoniana o clásica parecía proporcionar una descripción totalmente precisa de los movimientos de los cuerpos, como por ejemplo el movimiento planetario, sin embargo, a finales del siglo XIX y principios del XX, ciertos resultados experimentales introdujeron dudas sobre si la teoría newtoniana era completa. Entre las nuevas observaciones figuraban las líneas que aparecen en los espectros luminosos emitidos por gases calentados o sometidos a descargas eléctricas. Según el modelo del átomo desarrollado a comienzos del siglo XX por Rutherford, en el que los electrones cargados negativamente giran en torno a un núcleo positivo, en órbitas dictadas por las leyes del movimiento de Newton, los científicos esperaban que los electrones emitieran luz en una amplia gama de frecuencias, y no en las estrechas bandas de frecuencia que forman las líneas de un espectro.

Otro enigma para los físicos era la coexistencia de dos teorías de la luz: la teoría corpuscular, que explica la luz como una corriente de partículas, y la teoría ondulatoria, que considera la luz como ondas electromagnéticas.

Un tercer problema era la ausencia de una base molecular para la termodinámica. En su libro *Principios elementales en mecánica estadística* (1902), el físico estadounidense J. Willard Gibbs reconocía la imposibilidad de elaborar una teoría de acción molecular que englobara los fenómenos de la termodinámica, la radiación y la electricidad tal como se entendían entonces.

A principios del siglo XX, los físicos aún no reconocían claramente que éstas y otras dificultades de la física estaban relacionadas entre sí. En 1900, Planck[31] formuló que la energía se radia en unidades pequeñas separadas denominadas *cuantos*. El concepto de cuanto era el resultado de los estudios de la radiación del cuerpo

31. Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947), físico alemán, nació en Kiel el 23 de abril de 1858 y estudió en las universidades de Munich y Berlín. Fue nombrado profesor de Física en la Universidad de Kiel en 1885, y desde 1889 hasta 1928 ocupó el mismo cargo en la Universidad de Berlín. Reconoció en 1905 la importancia de las ideas sobre la cuantificación de la radiación electromagnética expuestas por Albert Einstein, con quien colaboró a lo largo de su carrera. Planck recibió muchos premios por este trabajo, especialmente, el Premio Nobel de Física, en 1918.

negro[32] realizados por los físicos en los últimos años del siglo XIX. Un cuerpo a temperatura alta —al rojo vivo— emite la mayor parte de su radiación en las zonas de baja frecuencia (rojo e infrarrojo); un cuerpo a temperatura más alta —al rojo blanco— emite proporcionalmente más radiación en frecuencias más altas (amarillo, verde o azul). Durante la década de 1890, los físicos llevaron a cabo estudios cuantitativos detallados de esos fenómenos y expresaron sus resultados en una serie de curvas o gráficas. La teoría clásica, o *precuántica*, predecía un conjunto de curvas radicalmente diferentes de las observadas. Lo que hizo Planck fue diseñar una fórmula matemática que describiera las curvas reales con exactitud; después dedujo una hipótesis física que pudiera explicar la fórmula. Su hipótesis fue que la energía sólo es radiada en cuantos cuya energía es hu, donde u es la frecuencia de la radiación y h es el «cuanto de acción», ahora conocido como *constante de Planck*. La ley de Planck establece que la energía de cada cuanto es igual a la frecuencia de la radiación multiplicada por la constante universal. Sus descubrimientos, sin embargo, no invalidaron la teoría de que la radiación se propagaba por ondas. Los físicos en la actualidad creen que la radiación electromagnética combina las propiedades de las ondas y de las partículas. Los descubrimientos de Planck, que fueron verificados posteriormente por otros científicos, fueron el nacimiento de un campo totalmente nuevo de la física, conocido como *mecánica cuántica* y proporcionaron los cimientos para la investigación en campos como el de la energía atómica.

Los siguientes avances importantes en la teoría cuántica se debieron a Albert Einstein[33], que empleó el concepto del cuanto intro-

En 1930 Planck fue elegido presidente de la Sociedad Kaiser Guillermo para el Progreso de la Ciencia, la principal asociación de científicos alemanes, que después se llamó Sociedad Max Planck. Sus críticas abiertas al régimen nazi que había llegado al poder en Alemania en 1933 le forzaron a abandonar la Sociedad, de la que volvió a ser su presidente al acabar la II Guerra Mundial. Murió en Gotinga el 4 de octubre de 1947. Entre sus obras más importantes se encuentran *Introducción a la física teórica* (5 volúmenes, 1932-1933) y *Filosofía de la física* (1936).

32. El término «cuerpo negro» se refiere a un cuerpo o superficie ideal que absorbe toda la energía radiante sin reflejar ninguna.

33. Albert Einstein (1879-1955), nació en Ulm el 14 de marzo de 1879 y pasó su juventud en Munich, donde su familia poseía un pequeño taller de máquinas

ducido por Planck para explicar determinadas propiedades del efecto fotoeléctrico, un fenómeno experimental en el que una superficie metálica emite electrones cuando incide sobre ella una ra-

eléctricas. Ya desde muy joven mostraba una curiosidad excepcional por la naturaleza y una capacidad notable para entender los conceptos matemáticos más complejos. A los doce años ya conocía la geometría de Euclides. A la edad de 15 años, cuando su familia se trasladó a Milán, Italia, a causa de sucesivos fracasos en los negocios, Einstein abandonó la escuela. Pasó un año con sus padres en Milán y viajó a Suiza, donde terminó los estudios secundarios, e ingresó en el Instituto Politécnico Nacional de Zurich. Durante dos años, Einstein trabajó dando clases particulares y de profesor suplente. En 1902 consiguió un trabajo estable como examinador en la Oficina Suiza de Patentes en Berna. En 1905 se doctoró por la Universidad de Zurich, con una tesis sobre las dimensiones de las moléculas. En 1913, fue nombrado director del Instituto de Física Kaiser Guillermo en Berlín. A partir de 1919, Einstein recibió el reconocimiento internacional y acumuló honores y premios de distintas sociedades científicas, como el Nobel de Física en 1922. Sus visitas a países de todo el mundo (visitó España en 1923 y Argentina, Uruguay y Brasil en 1925) eran un acontecimiento; le seguían fotógrafos y periodistas. El pacifismo y el sionismo fueron los dos movimientos sociales que recibieron todo su apoyo. Durante la I Guerra Mundial, Einstein fue uno de los pocos académicos alemanes que condenaron públicamente la participación de Alemania en el conflicto. Después de la guerra siguió con sus actividades pacifistas y sionistas, por lo que fue blanco de los ataques de grupos antisionistas y de derechas alemanes. Sus teorías llegaron a ser ridiculizadas en público, especialmente la de la relatividad. Cuando Hitler llegó al poder en 1933, Einstein abandonó Alemania y emigró a Estados Unidos, donde ocupó un puesto en el Instituto de Estudios Superiores en Princeton, Nueva Jersey. En 1939 Einstein participó junto con otros físicos en la redacción de una carta dirigida al presidente Franklin D. Roosevelt en la que se pedía la creación de un programa de investigación sobre las reacciones en cadena. La carta, que sólo iba firmada por Einstein, consiguió acelerar la fabricación de la bomba atómica, en la que él no participó ni supo de su finalización. En 1945, cuando ya era evidente la existencia de la bomba, Einstein volvió a escribir al presidente para intentar disuadirlo de utilizar el arma nuclear. Después de la guerra, Einstein se convirtió en activista del desarme internacional y del gobierno mundial, y siguió contribuyendo a la causa del sionismo, pero declinó una oferta de los líderes del Estado de Israel para ocupar el cargo de presidente. A finales de la década de 1940 y principios de la de 1950, defendió en Estados Unidos la necesidad de que los intelectuales del país hicieran todo lo posible para mantener la libertad política. Einstein murió el 18 de abril de 1955 en Princeton. Entre sus obras se encuentran *La relatividad: la teoría especial y restringida* (1916); *Sobre el sionismo* (1931); *Los constructores del Universo* (1932); *¿Por qué la guerra?* (1933), con Sigmund Freud; *El mundo como yo lo veo* (1934); *La evolución de la Física* (1938) con el físico polaco Leopold Infeld, y *En mis últimos años* (1950).

diación. Según la teoría clásica, la energía de los electrones emitidos —medida por la tensión eléctrica que generan— debería ser proporcional a la intensidad de la radiación. Sin embargo, se comprobó que esta energía era independiente de la intensidad —que sólo determinaba el número de electrones emitidos— y dependía exclusivamente de la frecuencia de la radiación. Cuanto mayor es la frecuencia de la radiación incidente, mayor es la energía de los electrones; por debajo de una determinada frecuencia crítica, no se emiten electrones. Einstein explicó estos fenómenos suponiendo que un único cuanto de energía radiante expulsa un único electrón del metal. La energía del cuanto es proporcional a la frecuencia, por lo que la energía del electrón depende de la frecuencia.

El efecto fotoeléctrico, anticipaba una teoría revolucionaria sobre la naturaleza de la luz. Según Einstein, bajo ciertas circunstancias, la luz se comportaba como una partícula. También afirmó que la energía que llevaba toda partícula de luz, denominada fotón, era proporcional a la frecuencia de la radiación. Lo representaba con la fórmula E = hu, donde *E* es la energía de la radiación, *h* una constante universal llamada *constante de Planck* y *u* es la frecuencia de la radiación. Esta teoría, que planteaba que la energía de los rayos luminosos se transfería en unidades individuales llamadas *cuantos*, contradecía las teorías anteriores que consideraban que la luz era la manifestación de un proceso continuo. Las tesis de Einstein apenas fueron aceptadas. De hecho, cuando el físico estadounidense Robert Andrews Millikan confirmó experimentalmente sus tesis casi una década después, éste se mostró sorprendido e inquieto por los resultados.

La primitiva mecánica ondulatoria permitía obtener una teoría sintética de las ondas y los corpúsculos, en la cual el corpúsculo aparecía como un accidente incorporado a la estructura de una onda y estaba guiado por la propagación de ésta. El físico francés Louis Victor de Broglie sugirió en 1924 que, puesto que las ondas electromagnéticas muestran algunas características corpusculares, las partículas también deberían presentar en algunos casos propiedades ondulatorias. Esta predicción fue verificada experimentalmente pocos años después por los físicos estadounidenses Clinton Davisson y Lester Halbert Germer y también por el físico británico George Paget Thomson, quienes mostraron que un haz de electrones dis-

persado por un cristal da lugar a una figura de difracción característica de una onda.

De forma simultánea con el desarrollo de la mecánica ondulatoria, Heisenberg desarrolló un análisis matemático diferente conocido como *mecánica de matrices*. La teoría de Heisenberg, elaborada en colaboración con los físicos alemanes Max Born y Ernst Pascual Jordan, no empleaba una ecuación diferencial, sino una matriz infinita formada por infinitas filas compuestas a su vez de un número infinito de cantidades. La mecánica de matrices introdujo las matrices infinitas para representar la posición y el momento lineal en el interior de un átomo. Existen otras matrices, una para cada una de las restantes propiedades físicas observables asociadas con el movimiento de un electrón, como la energía o el momento angular. Estas matrices, igual que las ecuaciones diferenciales de Schrödinger, podían resolverse; en otras palabras, podían manipularse para predecir las frecuencias de las líneas del espectro del hidrógeno y otras cantidades observables. Al igual que la mecánica ondulatoria, la mecánica de matrices coincidía con la teoría cuántica anterior, en los procesos en que dicha teoría concordaba con los experimentos, y también explicaba fenómenos que la teoría anterior no podía explicar.

El concepto ondulatorio de las partículas llevó al físico austríaco Erwin Schrödinger[34] a desarrollar, en 1927, una ecuación gene-

34. Erwin Schrödinger (1887-1961), físico y premio Nobel austríaco, nació en Viena y estudió en la universidad de esa ciudad. Dio clases de física en las universidades de Stuttgart (Alemania), Breslau (Polonia), Zurich, Berlín, Oxford y Graz (Austria). Desde 1940 hasta su jubilación, en 1955, fue director de la escuela de física teórica del Instituto de Estudios Avanzados de Dublín. La aportación más importante de Schrödinger a la física fue el desarrollo de una rigurosa descripción matemática de las ondas estacionarias discretas que describen la distribución de los electrones dentro del átomo. Schrödinger demostró que su teoría, publicada en 1926, era el equivalente en matemáticas a las teorías de mecánica matricial que había formulado el año anterior el físico alemán Werner Heisenberg. Juntas, sus teorías constituyeron, en buena medida, la base de la mecánica. Schrödinger compartió en 1933 el Premio Nobel de Física con el británico Paul A. M. Dirac por su aportación al desarrollo de la mecánica cuántica. Su investigación incluía importantes estudios sobre los espectros atómicos, la termodinámica estadística y la mecánica ondulatoria. Entre los libros de Schrödinger se encuentran *Collected Papers on Ware Mechanics* (Recopilación de artículos sobre mecánica

ral para describir las propiedades ondulatorias de una partícula y, más concretamente, el comportamiento ondulatorio del electrón en el átomo de hidrógeno. Aunque esta ecuación diferencial era continua y proporcionaba soluciones para todos los puntos del espacio, las soluciones permitidas de la ecuación estaban restringidas por ciertas condiciones, expresadas por ecuaciones matemáticas llamadas *funciones propias* o *eigenfunciones* (del alemán *eigen*, «propio»). Así, la ecuación de onda de Schrödinger sólo tenía determinadas soluciones discretas; estas soluciones eran expresiones matemáticas en las que los números cuánticos aparecían como parámetros (los números cuánticos son números enteros introducidos en la física de partículas para indicar las magnitudes de determinadas cantidades características de las partículas o sistemas). La ecuación de Schrödinger se resolvió para el átomo de hidrógeno y dio resultados que encajaban sustancialmente con la teoría cuántica anterior. Además, tenía solución para el átomo de helio, que la teoría anterior no había logrado explicar de forma adecuada, y también en este caso concordaba con los datos experimentales. Las soluciones de la ecuación de Schrödinger también indicaban que no podía haber dos electrones que tuvieran sus cuatro números cuánticos iguales, esto es, que estuvieran en el mismo estado energético. Esta regla, que ya había sido establecida empíricamente por Wolfgang Pauli en 1925, se conoce como *principio de exclusión*.

Posteriormente, Schrödinger demostró que la mecánica ondulatoria y la mecánica de matrices son versiones matemáticas diferentes de una misma teoría, hoy denominada mecánica cuántica. En otras palabras, la mecánica ondulatoria y la mecánica matricial son sustancialmente equivalentes. En lo sucesivo, junto con las aportaciones de otros científicos, como Dirac[35], por ejemplo, formarían una única mecánica cuántica. No obstante, aunque se hubiese de-

ondulatoria, 1928), *Modern Atomic Theory* (Teoría atómica moderna, 1934), *Statistical Thermodynamics* (Termodinánimca estadística, 1945) y *Expanding Universes* (Universos en expansión, 1956).

35. Dirac fundó otra parte de la mecánica cuántica, al unirla en ciertos casos con la teoría de la relatividad, dando lugar a la mecánica cuántica relativista, y elaborando una función de onda de cuatro componentes, uno para cada dimensión espacial y un cuarto para el tiempo, dando lugar a la noción de *spin*.

mostrado que el formalismo de la mecánica matricial podía considerarse como una mera transposición algebraica del de la mecánica ondulatoria, y aunque estas dos teorías se unificaran, partían de tendencias opuestas en cuanto a la interpretación epistemológica. Así, mientras que de Broglie intentaba obtener una representación de los fenómenos microfísicos en el marco del espacio y el tiempo, ofreciendo una imagen de la asociación de las ondas y los corpúsculos en un esquema epistemológico descriptivista, la interpretación impulsada por Heisenberg y la llamada escuela de Copenhague insistía más bien en que la teoría es un puro formalismo matemático capaz de explicar los fenómenos, pero sin atribuir a la teoría el rango de descripción de lo real. Según esta interpretación, que influyó en los filósofos del Círculo de Viena, en la física cuántica no hay más que leyes puramente probabilísticas[36] sin mecanismos causales ocultos. Así, una onda es considerada solamente como la solución de una determinada ecuación, mientras que el corpúsculo, según las relaciones de incertidumbre o principio de indeterminación de Heisenberg, no puede, tampoco, ser localizado en el espacio de manera precisa, sino que está presente en estado potencial en una región del espacio distribuido estadísticamente entre varios estados de movimiento.

Además de la síntesis establecida entre la mecánica ondulatoria y la matricial, la nueva mecánica cuántica surgió como una óptica mecánica generalizada de los haces de corpúsculos (a cualquier haz de corpúsculos se asocia una longitud de onda determinada por la constante *h* de Planck). Schrödinger amplió la nueva mecánica a los corpúsculos subatómicos sometidos a una interacción eléctrica, abandonó el terreno meramente óptico y elaboró una auténtica dinámica microfísica y subatómica capaz de explicar el fenómeno de la cuantificación de los movimientos corpusculares, es decir, el fenómeno de la discontinuidad microfísica de fenómenos que, en magnitudes físicas habituales o macrofísicas, aparecen como continuos

36. La mecánica cuántica es fundamentalmente probabilística, de forma que el movimiento de los corpúsculos manifiesta un cierto azar, como lo expresa el principio de incertidumbre de Heisenberg. Este principio de incertidumbre o de indeterminación ha sido interpretado, especialmente a partir de la Escuela de Copenhague, como el fundamento de una concepción indeterminista que cuestiona el principio de causalidad en la Naturaleza. Esta interpretación, no obstante, no es compartida por todos los físicos y filósofos que se han ocupado de esta cuestión.

(la energía, por ejemplo), y según el cual un corpúsculo sólo puede adoptar un tipo de movimiento dentro de una serie discreta de clases de movimientos (que se expresan por el estado cuántico y el número cuántico).

Aunque la mecánica cuántica describe el átomo exclusivamente a través de interpretaciones matemáticas de los fenómenos observados, puede decirse a grandes rasgos que, en la actualidad, se considera que el átomo está formado por un núcleo rodeado por una serie de ondas estacionarias; estas ondas tienen máximos en puntos determinados, y cada onda estacionaria representa una órbita. El cuadrado de la amplitud de la onda en cada punto en un momento dado es una medida de la probabilidad de que un electrón se encuentre allí. Ya no puede decirse que un electrón esté en un punto determinado en un momento dado.

La mecánica cuántica resolvió todas las grandes dificultades que preocupaban a los físicos en los primeros años del siglo XX. Amplió gradualmente el conocimiento de la estructura de la materia y proporcionó una base teórica para la comprensión de la estructura atómica y del fenómeno de las líneas espectrales: cada línea espectral corresponde a la emisión o absorción de un cuanto de energía o fotón, cuando un electrón experimenta una transición entre dos niveles de energía. La comprensión de los enlaces químicos se vio radicalmente alterada por la mecánica cuántica y pasó a basarse en las ecuaciones de onda de Schrödinger. Los nuevos campos de la física —como la física del estado sólido, la física de la materia condensada, la superconductividad, la física nuclear o la física de partículas elementales— se han apoyado firmemente en la mecánica cuántica. No obstante, existen dudas sobre si la mecánica cuántica es o no completa. La dificultad de divergencia, por ejemplo, sólo se ha resuelto en parte. Igual que la mecánica newtoniana fue corregida por la mecánica cuántica y la relatividad, muchos científicos —Einstein era uno de ellos— están convencidos de que la mecánica cuántica también experimentará cambios profundos en el futuro. Por ejemplo, existen grandes contradicciones teóricas entre la mecánica cuántica y la teoría del caos, que empezó a desarrollarse rápidamente en la década de 1980. Los físicos teóricos como el británico Stephen Hawking siguen haciendo esfuerzos para desarrollar un sistema que englobe tanto la relatividad como la mecánica cuántica.

b) *La teoría de la relatividad*

La teoría de la relatividad, uno de los mayores logros en la historia de la ciencia, fue obra de una sola persona, Albert Einstein. En 1905, publicó su teoría especial de la relatividad, y en 1915, la relatividad general. Se trata de dos teorías diferentes en su formulación, en sus consecuencias y en su valoración[37]. La *relatividad especial*, o *Teoría especial de la relatividad*, se basa en dos postulados. El primero establece que la velocidad de la luz en el vacío es constante con independencia del movimiento de la fuente de luz o del observador, lo cual venía avalado por el resultado negativo del experimento realizado poco antes por Albert Michelson y Edward Morley. En consecuencia, Einstein negó la existencia del éter, y, por tanto, la posibilidad de observar un movimiento absoluto: todo movimiento es relativo a algún sistema de referencia, y de ahí el nombre de teoría de la relatividad. El segundo postulado establece que las leyes de la física deben tener la misma forma cuando se refieren a sistemas inerciales, que se mueven uno respecto del otro con una velocidad rectilínea y uniforme. A partir de ahí, Einstein llegó a una formulación nueva de las leyes de la mecánica, obteniendo consecuencias revolucionarias: las mediciones de distancias y de duraciones son diferentes, según el sistema de referencia en que se miden; la masa no es constante, sino que cambia con la velocidad; existe una equivalencia entre masa y energía en las transformaciones físicas: esa equivalencia tiene consecuencias importantes en la física atómica, y se encuentra en la base de la utilización de la energía atómica.

La teoría de la relatividad general amplió la idea central de Einstein a los sistemas acelerados. Se expresa en un formalismo matemático más complejo que la relatividad especial. Proporciona la base para el estudio del Universo en su conjunto y, de hecho, se utiliza en todos los modelos que propone la cosmología científica sobre el origen del Universo. Además, permitió explicar el desplazamiento del perihelio de Mercurio, y Einstein predijo que la luz se desvía al pasar cerca de un campo gravitacional muy fuerte: La

37. Puede verse, por ejemplo, HOFFMAN, B: *La relatividad y sus orígenes*, Labor Barcelona, 1985; ARTIGAS, M.: *Filosofía de la ciencia*, Eunsa, Pamplona, 1999, pp. 54-56.

confirmación de este fenómeno durante un eclipse de Sol, en 1919, fue toda una noticia y su fama se extendió por el mundo.

Es interesante señalar que la teoría de la relatividad no implicaba, en modo alguno, el relativismo. Por el contrario, esa teoría proporciona muchos conocimientos muy exactos acerca de una gran variedad de fenómenos que antes no se podían estudiar, y los resultados que se obtienen no tienen nada de relativo. La citada teoría no significa, por tanto, una relativización de todas las propiedades físicas, porque la tesis de la relatividad del espacio y del tiempo provienen directamente de la afirmación de la invariabilidad de la leyes mecánicas, ópticas y electromagnéticas, comenzando por la referente a la velocidad de la luz en el vacío con respecto a todos los sistemas inerciales.

La dificultad de otros científicos para aceptar la teoría de Einstein no estribaba en sus complejos cálculos matemáticos y su dificultad técnica, sino que partía del concepto que tenía Einstein de las buenas teorías y su relación con la experimentación. Aunque sostenía que la única fuente del conocimiento era la experiencia, también pensaba que las teorías científicas eran creaciones libres de una aguda intuición física, y que las premisas en que se basaban no podían aplicarse de un modo lógico al experimento. Una buena teoría sería, pues, aquella que necesitara los mínimos postulados para explicar un hecho físico. Esta escasez de postulados, característica de la obra de Einstein, provocó que su trabajo no fuera accesible para sus colegas, que le dejaron solo.

La mayoría de ellos pensaron que sus esfuerzos iban en dirección equivocada. Entre 1915 y 1930 la corriente principal entre los físicos era el desarrollo de una nueva concepción del carácter fundamental de la materia, conocida como la mecánica cuántica. Esta teoría contempla la característica de la dualidad onda-partícula (la luz presenta las propiedades de una partícula, así como las de una onda), que Einstein había intuido como necesaria, y el principio de incertidumbre, que establece que la exactitud de los procedimientos de medición es limitada. Además, esta teoría suponía un rechazo fundamental a la noción estricta de causalidad. Sin embargo, Einstein mantuvo una posición crítica respecto a estas tesis hasta el final de su vida. «Dios no juega a los dados con el mundo», llegó a decir. Einstein consagró gran parte del resto de su vida a generalizar su teoría. Su último trabajo, la teoría del campo unificado, que no tuvo

demasiado éxito, consistía en un intento de explicar todas las interacciones físicas, incluidas la interacción electromagnética y las interacciones nucleares fuerte y débil, a través de la modificación de la geometría del espacio-tiempo entre entidades interactivas.

c) *Teoría de la gran unificación*

La mecánica cuántica está en la base de los intentos actuales de explicar la interacción nuclear fuerte y desarrollar una teoría unificada para todas las fuerzas fundamentales de la materia. En 1932, James Chadwick descubrió en el núcleo una nueva partícula sin carga, que llamó el «protón neutro», o neutrón. En un principio, pues, la constitución del átomo —que ya había dejado de ser átomo en el sentido etimológico de «indivisible»— se explicaba como una estructura, cuyos elementos eran el protón, el neutrón y el electrón, y cuya ley de composición o relación estudió la física cuántica. Nuevos experimentos de Caltech Murray Gell-Mann, juntamente con los abundantes datos obtenidos en los aceleradores de partículas, obligaron a suponer que esta estructura no es la última: por debajo de estas partículas aparecieron otras más elementales todavía: los *quarks*. De hecho, el marco formal en el que se describen las partículas y sus interacciones es la teoría cuántica de campos. Las partículas son concebidas como los diferentes estados de excitación de un campo que, a su vez, es entendido como un objeto matemático. De esta manera, las partículas ya no son susceptibles de ser representadas como puntos o figuras geométricas. Además, la probabilidad de encontrar en una medición, por ejemplo, un electrón, en un punto dado del espacio, está ligada a la amplitud del campo en este punto, lo que va unido al principio de indeterminación de Heisenberg.

Por otra parte, el descubrimiento del núcleo, formado por diversas partículas (especialmente protones y neutrones) ponía de manifiesto la necesidad de considerar una fuerza capaz de mantenerlo unido a pesar de que dichas partículas (los protones) tuvieran la misma carga eléctrica, lo que no era explicable por ninguna fuerza «clásica». Esto hizo ver que, además de la fuerza gravitatoria y la electromagnética, existía una tercera fuerza capaz de mantener el núcleo unido: la llamada *interacción fuerte*, que afectaba a los *hadrones* (grupo de partículas sensibles a esta fuerza; las que no lo

son se denominan *leptones*). Posteriormente, se descubrió una cuarta fuerza: la *interacción débil*, responsable de muchos de los fenómenos radiactivos.

Así, se consideran cuatro fuerzas responsables de las diferentes interacciones entre los componentes de la materia, que se dividen en dos grupos: En el grupo primero: 1) la fuerza gravitacional y 2) la electromagnética. Ambas actúan a distancias que se consideran infinitas. De acuerdo con la primera, los cuerpos no cargados eléctricamente se atraen según la ley de Newton y, de acuerdo con la segunda, lo hacen los cuerpos con cargas eléctricas (como los electrones y las diferentes clases de quarks). En el grupo segundo: 3) la interacción fuerte y 4) la interacción o fuerza débil. La primera mantiene la unión del núcleo de los átomos (une protones y neutrones dentro del núcleo del átomo), mientras que la segunda se manifiesta en la radioactividad. Estas dos últimas fuerzas sólo se manifiestan a distancias muy cortas. Ahora bien, las cuatro fuerzas actúan por medio de los llamados bosones fundamentales, transmisores de fuerzas, o transportadores: el gravitón (fuerza gravitatoria), el fotón (fuerza electromagnética), los ocho gluones (interacción fuerte) y los bosones vectoriales W+ , W - y Z0 (fuerza débil).

Los físicos han intentado unificar estas cuatro fuerzas (*Grand Unification Theory:* GUT); la unificación se ha hecho respecto de la fuerza electromagnética y la débil (teoría de la interacción electrodébil), y se intenta con la fuerte (unificación de las fuerzas no-gravitacionales, que parte del supuesto de que, a temperaturas muy elevadas o a distancias sumamente mínimas, estas tres fuerzas serían equivalentes entre sí, por lo que serían también equivalentes las partículas transmisoras. De hecho, éstas son las condiciones que, según la teoría estándar de partículas, se dieron en el momento inicial de la formación del Universo, según la hipótesis del «Big Bang», con lo que la física de lo infinitamente pequeño o microfísica permitiría dar explicación de la macrofísica).

Actualmente, además, las cuatro interacciones han sido, en parte, fundidas en un mismo marco teórico, sustentado por el llamado *principio de invariancia gauge*. La actual teoría estándar prevé la existencia de una partícula, el llamado *bosón* de Higgs que, además de explicar el diferente origen de las masas de las partículas, daría

explicación de la aparición del fenómeno de la violación de la simetría en algunas partículas. Con el descubrimiento de tal partícula, se estaría abriendo el paso, probablemente decisivo, en la unificación teórica de las cuatro fuerzas, es decir, de la teoría de la gran unificación.

8.4. La astronomía contemporánea

Tras la época de Newton, la astronomía se ramificó en diversas direcciones. Con esta ley de gravitación, el viejo problema del movimiento planetario se volvió a estudiar como mecánica celeste. Telescopios perfeccionados permitieron la exploración de las superficies de los planetas, el descubrimiento de muchas estrellas débiles y la medición de distancias estelares. Durante el siglo XX, se han construido telescopios de reflexión cada vez mayores. Los estudios realizados con estos instrumentos han revelado la estructura de enormes y distantes agrupamientos de estrellas, denominados *galaxias*, y de cúmulos de galaxias. En la segunda mitad del siglo XX, los progresos en física proporcionaron nuevos tipos de instrumentos astronómicos, algunos de los cuales se han emplazado en los satélites que se utilizan como observatorios en la órbita de la Tierra. Estos instrumentos son sensibles a una amplia variedad de longitudes de onda de radiación, incluidos los rayos gamma, rayos X, ultravioletas, infrarrojos y regiones de radio del espectro electromagnético. Los astrónomos no sólo estudian planetas, estrellas y galaxias, sino también plasmas (gases ionizados calientes) que rodean a las estrellas dobles, regiones interestelares que son los lugares de nacimiento de nuevas estrellas, granos de polvo frío invisibles en las regiones ópticas, núcleos energéticos que pueden contener radiación de fondo de microondas y agujeros negros surgidos de la gran explosión que pueden aportar información sobre las fases iniciales de la historia del Universo.

Con el uso del telescopio se descubrieron muchos nuevos miembros del Sistema Solar. Entre ellos se incluye el planeta Urano, descubierto en 1781 por William Herschel, astrónomo británico nacido en Alemania; el planeta Neptuno, descubierto en 1846 por el astrónomo británico John Couch Adams e, independientemente, por el astrónomo francés Urbain Le Verrier; y Plutón, des-

cubierto en 1930 por el astrónomo estadounidense Clyde William Tombaugh. El número de satélites naturales conocidos aumentó cuando sondas no tripuladas sobrevolaron los planetas exteriores. La nómina actual de lunas naturales conocidas es: Tierra, 1; Marte, 2; Júpiter, 16; Saturno, más de 20; Urano, 15; Neptuno, 8, y Plutón, 1. Estas cantidades pueden seguir aumentando cuando los astrónomos consigan mejores visiones de los planetas. Se ha comprobado que más de 1.600 asteroides giran alrededor del Sol, la mayor parte de ellos entre las órbitas de Marte y de Júpiter. También se han catalogado varios cientos de cometas y hay innumerables cuerpos más pequeños, tales como meteoroides pétreos y metálicos.

El análisis químico y el estudio físico de cuerpos celestes lejanos se hicieron posibles gracias al invento del espectroscopio en 1814 por el físico alemán Joseph von Fraunhofer, y el posterior descubrimiento de que cada elemento químico exhibe un conjunto o conjuntos de líneas espectrales únicos. Los análisis de los espectros planetarios y estelares han demostrado que los cuerpos celestes se componen de elementos químicos conocidos en la Tierra. Los estudios espectroscópicos han aportado claves sobre condiciones como las temperaturas y la gravedad de la superficie y los movimientos de los cuerpos celestes.

Sondas portadoras de instrumentos se han aproximado a todos los planetas, excepto a Plutón, para recolectar datos químicos y físicos. Han descubierto anillos finos y oscuros en Júpiter, Urano y Neptuno y han proporcionado información que pone en duda la posibilidad de vida en otros planetas del Sistema Solar. Estos planetas parecen ser demasiado calientes, demasiado fríos o con atmósferas demasiado inhóspitas para albergar vida tal como la conocemos.

Para el estudio de una estrella es fundamental conocer su distancia a la Tierra, que en el caso de las estrellas más cercanas se halla midiendo la posición de la estrella en el cielo a intervalos de seis meses, cuando la Tierra está en los lados opuestos de su órbita. Al girar la Tierra alrededor del Sol, la estrella *parece* desplazarse en el cielo. Este desplazamiento anual se llama paralaje. Cuanto mayor es la distancia, menor es el paralaje de la estrella. La estrella más cercana, Alpha Centauri, está unas 260.000 veces más lejos de la Tierra que el Sol. Las primeras distancias de estrellas fueron medidas de forma independiente en 1838 por tres astrónomos.

Todas las estrellas son cuerpos gaseosos y calientes como el Sol, pero se diferencian de él y entre ellas por varias razones. Los datos físicos más importantes sobre una estrella son su brillo intrínseco, su masa, su tamaño y su composición química. Aunque todas las estrellas fijas parecen mucho más pálidas que el Sol a causa de sus grandes distancias a la Tierra, algunas son intrínsecamente más brillantes. Las masas de las estrellas se pueden determinar de forma directa para el Sol y para los pares de estrellas, como las binarias eclipsantes, que giran una alrededor de la otra. Los astrónomos aplican la ley de gravitación para determinar matemáticamente las masas estelares. De las 50 estrellas más cercanas de las que se tiene una información bastante completa, el 10% son más brillantes, más grandes y con más masa que el Sol. Los estudios espectroscópicos muestran que la mayoría de las estrellas están compuestas, en gran parte, de hidrógeno.

La fuente de la gran energía irradiada por el Sol fue un misterio durante mucho tiempo. El Sol emite energía a razón de $3{,}86 \times 10^{26}$ vatios. Pruebas geológicas demuestran que la vida ha existido en la Tierra desde hace miles de millones de años, lo que indica que la energía solar debe haber estado consumiéndose a su ritmo actual durante cientos de millones de años. En 1938, el físico estadounidense Hans Bethe formuló la teoría de que la energía solar se produce por la fusión de núcleos de hidrógeno en helio. Su descubrimiento preparó el camino para el desarrollo de una bomba de hidrógeno de fusión nuclear 15 años después.

Las estrellas con una masa igual o superior a 1,4 veces la del Sol consumen su ciclo vital mucho más rápido que el Sol. Los telescopios ópticos han revelado las etapas principales de este ciclo. Primero, la estrella comienza a condensarse desde el interior, pero, por lo general, cerca de un extremo de una nube de gas interestelar relativamente densa y fría. Esta condensación inicia un período de contracción y de recalentamiento interno, seguido de un largo período quemando hidrógeno. Cuando se acerca el final de su vida, la estrella se expande transformándose en una gigante roja, se vuelve a contraer y entonces se encoge y se enfría hasta convertirse en una enana blanca.

En la década de 1960, una radioastrónoma británica, Jocelyn Bell, descubrió señales de radio de variación rápida provenientes

de objetos semejantes a estrellas. Los estudios de su supervisor, Antony Hewish, demostraron que éstos eran fuentes pulsantes, ahora denominadas púlsares, compuestas de materia más condensada incluso que las enanas blancas. Un púlsar es una estrella de neutrones que gira a gran velocidad, una masa de neutrones herméticamente cerrada, el objeto más denso del Universo —exceptuando a los agujeros negros— cuya materia es tan densa que nada, ni siquiera la radiación luminosa, puede escapar de él. En 1974, fue sugerida la existencia de un agujero negro en la constelación Cisne por la detección de rayos X desde un gas cuya aceleración se aproximaba a la velocidad de la luz, como sucede en los agujeros negros. Desde entonces, se han propuesto otras posibilidades, incluidos los enormes agujeros negros localizados en los centros de galaxias con radiación intensa. Sin embargo, todavía no se ha confirmado de modo definitivo que los agujeros negros existan.

En el estudio de la estructura de la Vía Láctea es de fundamental importancia el conocimiento de la distancia de las estrellas. El método de paralaje para determinar estas distancias sólo se puede aplicar a unos pocos miles de las estrellas más próximas. Hay una clase especial de estrellas, las variables cefeidas, que varían de brillo en períodos que dependen de su intensidad intrínseca. La comparación del brillo observado en una estrella de este tipo con el brillo intrínseco conocido nos proporciona un medio de determinar su distancia. Siguiendo el descubrimiento de Henrietta Swan Leavitt de la relación entre el período y la luminosidad, Harlow Shapley utilizó las variables cefeidas, esparcidas por toda la Vía Láctea, para medir su tamaño. Un rayo de luz a una velocidad de unos 300.000 km/s necesitaría 400.000 años para atravesar la Vía Láctea de extremo a extremo de su halo. La espiral visible mide unos 100.000 años luz. En conjunto, la Vía Láctea está compuesta por unos 100.000 millones de estrellas que giran alrededor de un centro común. El Sol, situado a unos 30.000 años luz del centro de la Vía Láctea, viaja a una velocidad de unos 210 km/s y completa una revolución entera cada 200 millones de años.

A pesar de su gran tamaño, la Vía Láctea sólo es uno de los muchos grandes sistemas de estrellas, llamados galaxias, que pueblan el Universo conocido. Los estudios dirigidos por el astrónomo estadounidense Edwin Hubble resolvieron en 1924 el problema de la naturaleza de las nebulosas espirales, mostrándolas como galaxias

individuales igual que la Vía Láctea, pero situadas a distancias muy grandes. Ciertas galaxias tienen forma espiral, otras son esferoidales y carecen de brazos espirales, y otras tienen un contorno irregular, mostrando a veces rastros de brazos espirales. Los análisis espectrales de la luz de las galaxias muestran que las estrellas que constituyen estos sistemas se componen de elementos químicos conocidos en la Tierra. Estos análisis demuestran también que todas se mueven respecto a la Vía Láctea: cuanto más alejada está una galaxia, mayor es su recesión. La mayoría de los astrónomos creen que los quásares, descubiertos en la década de 1960, son los núcleos energéticos de las galaxias muy distantes. Por razones que todavía no conocemos, son tan brillantes que ocultan la luz de las galaxias que los rodean. A menudo aparecen en cúmulos de galaxias muy lejanas. Las líneas espectrales de los quásares exhiben desplazamientos hacia el rojo muy grandes, indicativos de que estos objetos se alejan de nuestra galaxia a velocidades por encima del 80% de la velocidad de la luz. Su gran velocidad también significa que en apariencia se encuentran entre los objetos cosmológicos más distantes.

Esto se ha tomado como prueba de que el Universo se expande y que surgió de un estado de materia extremadamente caliente y denso en un gran estallido llamado el *Big Bang*, la Gran Explosión. El Big Bang designa la teoría cosmológica que sustenta la existencia de una singularidad inicial del Universo. Dicha teoría, ampliamente sustentada en la actualidad, defiende que, hace aproximadamente unos 12.000 millones, de años surgió toda la materia y la energía del Universo en una especie de «explosión». A partir de entonces, el Universo está experimentando un progresivo enfriamiento y expansión (como lo prueba el llamado desplazamiento al rojo de las galaxias lejanas, medido por la constante de Hubble, y el descubrimiento de la llamada *radiación de fondo*). Esta teoría surge a partir de la observación de dicha expansión y de los cálculos efectuados por Friedmann, que señalan que, más o menos en el lapso temporal indicado, la distancia entre las galaxias debía de ser cero y la densidad y curvatura de la materia, infinita. Puesto que matemáticamente no es posible realmente tratar números infinitos, esta hipótesis supone —basándose en la teoría de la relatividad— que en este momento la propia teoría relativista deja de tener validez, y a esto es a lo que se llama una singularidad. Por tanto, en el caso de pensar qué habría sucedido antes

del «Big Bang», la única respuesta es que no es posible saberlo, ya que todo modelo de conocimiento científico queda en suspenso debido a la existencia de la singularidad.

Por otra parte, la existencia de hipotéticos sucesos anteriores al Big Bang no tienen ninguna consecuencia para el Universo actual y, por tanto, no pueden tampoco formar parte de un modelo científico cosmológico. Además, en la medida en que la «gran explosión» es el inicio del Universo, es también el inicio del tiempo, de manera que no tiene sentido preguntar qué había «antes», ya que antes del tiempo no hay «antes». A dicha hipótesis se han opuesto algunos cosmólogos, de entre los que destaca Fred Hoyle, que sustenta la llamada *teoría del estado estacionario*, la cual supone la creación continua de materia. No obstante, en la actualidad, apenas es defendida, ya que parece que hay una abrumadora preponderancia de pruebas a favor de la hipótesis del «Big Bang». Por otra parte, en la medida en que no está determinada la masa del Universo, y se prosiguen los intentos para determinar la llamada materia oscura de éste, no está decidido en el seno de la teoría si el universo seguirá expandiéndose indefinidamente o bien si, en un momento determinado, y debido a la atracción gravitatoria, podría comenzar un proceso inverso de implosión que culminaría en un «Big Crunch». En este caso, se considera la hipótesis de una flecha del tiempo en sentido inverso al actual.

Las condiciones posibles que pudieron haber iniciado la explosión se tratan en una teoría cosmológica propuesta a comienzos de la década de 1980 y se conoce como Teoría inflacionaria. La radiación que llena el Universo se ha ido enfriando desde la «Gran Explosión». Su temperatura actual es de unos 3º K (-270 °C). La radiación de esta temperatura, proveniente de todas las direcciones, fue descubierta en 1965 por los físicos estadounidenses Arno Penzias y Robert W. Wilson, y suele ser el mejor indicador de las fases iniciales de la historia del Universo. La teoría relativista de la gravedad de Albert Einstein también respalda la teoría de la «Gran Explosión».

8.5. La química contemporánea

Durante el siglo XIX, aparecen las primeras hipótesis científicas sobre el atomismo, que es la teoría física actual de la constitu-

ción interna de la materia. La teoría atómica de Dalton y la ley de Avogadro tuvieron una influencia crucial en el desarrollo de la química, además de su importancia para la física. A principios del siglo XIX, la precisión de la química analítica había mejorado tanto, que los químicos podían demostrar que los compuestos simples con los que trabajaban contenían cantidades fijas e invariables de sus elementos constituyentes. Sin embargo, en ciertos casos, con los mismos elementos podía formarse más de un compuesto. Por esa época, el químico y físico francés Joseph Gay-Lussac demostró que los volúmenes de los gases reaccionantes están siempre en la relación de números enteros sencillos, es decir, la ley de las proporciones múltiples (que implica la interacción de partículas discontinuas o átomos).

Un paso importante en la explicación de estos hechos fue, en 1803, la teoría atómica química del científico inglés John Dalton. Dalton supuso que cuando se mezclaban dos elementos, el compuesto resultante contenía un átomo de cada uno. En su sistema, el agua podría tener una fórmula correspondiente a HO. Dalton asignó arbitrariamente al hidrógeno la masa atómica 1 y luego calculó la masa atómica relativa del oxígeno. Aplicando este principio a otros compuestos, calculó las masas atómicas de los elementos conocidos hasta entonces. Su teoría contenía muchos errores, pero la idea era correcta y se podía asignar un valor cuantitativo preciso a la masa de cada átomo. John Dalton formuló en 1803 la ley de la *proporción definida* (cuyos precedentes habían sido establecidos por el químico francés J.L. Proust, siguiendo los pasos de Lavoisier), que generalizó en 1808 con la ley de las *proporciones múltiples*. Ambas leyes permitían explicar el comportamiento de los cuerpos en las combinaciones químicas. A partir de dichas leyes surgió la primera hipótesis atomista verdaderamente científica, y no meramente especulativa, que Dalton formuló en su *A New System of Chemical Philosophy*, publicado en 1808, y que permitía explicar dichas leyes cuantitativas de la química.

Para Dalton, el hecho de que los elementos simples estén compuestos por átomos indivisibles e inalterables explicaba fácilmente la manera como han de combinarse los pesos de los diversos elementos para constituir una molécula de un cuerpo compuesto. Esta hipótesis fue recibida con muchas reticencias por la comunidad científica, ya que muchos consideraban que con ella se retrocedía a

posiciones no científicas. No obstante, Avogrado, al permitir, en 1811, establecer el peso de los átomos tomando como punto de referencia el átomo de hidrógeno, daba un paso más para situar la hipótesis en terreno plenamente científico. En la década de los años 1870, la clasificación de los elementos en la tabla periódica (Dimitri I. Mendeleiev, 1834-1907) abonaba todavía más la hipótesis de la existencia de los átomos. Se establecía que los diversos compuestos químicos son moléculas formadas por los átomos de sus elementos correspondientes y que, a su vez, a cada elemento químico le corresponde un determinado tipo de átomos. Éstos, permanecen inalterables e indivisibles. De esta manera, la ley de la conservación de la masa formulada por Lavoisier, se interpretaba como una expresión cuantitativa del carácter inalterable de los átomos.

A pesar de ello, hasta finales del siglo XIX, la teoría atómica no fue aceptada ampliamente. Incluso en los primeros años del s. XX, se discutía sobre la existencia de los átomos y algunos científicos de renombre (entre ellos, Ernst Mach, y durante mucho tiempo W. Ostwald, por ejemplo) se oponían a esta teoría. Partiendo de los datos suministrados por la química, los físicos aceptaron la hipótesis, que se revelaba fructífera en la explicación de fenómenos tales como el movimiento browniano o que permitía explicar el comportamiento de los gases en el terreno de la termodinámica estadística. Sin embargo, el átomo empezó a perder el sentido de su etimología (indivisible) cuando, en 1897, J.J. Thompson descubre el electrón. Thomson imaginó inicialmente el átomo como una esfera llena, cargada positivamente en su interior y negativamente en su exterior. Pero pronto se vio que el electrón (e-) era una partícula y, por tanto, el átomo dejaba de ser indivisible: aparecía como una partícula elemental de carga negativa en los tubos de rayos catódicos.

La teoría de Dalton no explicaba por completo la ley de las proporciones múltiples y no distinguía entre átomos y moléculas. Así, no podía distinguir entre las posibles fórmulas del agua HO y H_2O_2, ni podía explicar por qué la densidad del vapor de agua, suponiendo que su fórmula fuera HO, era menor que la del oxígeno, suponiendo que su fórmula fuera O. El físico italiano Amedeo Avogadro encontró la solución a esos problemas en 1811. Sugirió que, a una temperatura y presión dadas, el número de partículas en volúmenes iguales de gases era el mismo, e introdujo también la distinción entre átomos y moléculas. Cuando el oxígeno se combinaba con hi-

drógeno, un átomo doble de oxígeno (molécula en nuestros términos) se dividía, y luego cada átomo de oxígeno se combinaba con dos átomos de hidrógeno, dando la fórmula molecular de H_2O para el agua y O_2 y H_2 para las moléculas de oxígeno e hidrógeno, respectivamente.

La *Ley de Avogadro*, fácil de demostrar a partir de la teoría cinética, afirma que, a una presión y temperatura dadas, un volumen determinado de un gas siempre contiene el mismo número de moléculas, independientemente del gas de que se trate. Sin embargo, los físicos no lograron determinar con exactitud esa cifra (y por tanto averiguar la masa y tamaño de las moléculas) hasta principios del siglo XX. Después del descubrimiento del electrón, el físico estadounidense Robert Andrews Millikan determinó su carga. Esto permitió finalmente calcular con precisión el número de Avogadro, es decir, el número de partículas (átomos, moléculas, iones o cualquier otra partícula) que hay en un mol de materia.

Las ideas de Avogadro no se tuvieron en cuenta durante casi 50 años, tiempo en el que prevaleció una gran confusión en los cálculos de los químicos. En 1860, el químico italiano Stanislao Cannizzaro volvió a introducir la hipótesis de Avogadro. Por esta época, a los químicos les parecía más conveniente elegir la masa atómica del oxígeno, 16, como valor de referencia con el que relacionar las masas atómicas de los demás elementos, en lugar del valor 1 del hidrógeno, como había hecho Dalton. La masa molecular del oxígeno, 32, se usaba internacionalmente y se llamaba masa molecular del oxígeno expresada en gramos, o simplemente 1 mol de oxígeno. Los cálculos químicos se normalizaron y empezaron a escribirse fórmulas fijas.

El antiguo problema de la naturaleza de la afinidad química permanecía sin resolver. Durante un tiempo pareció que la respuesta podría estar en el campo de la electroquímica, descubierto recientemente. El descubrimiento en 1800 de la pila voltaica, la primera pila eléctrica real, proporcionó a los químicos una nueva herramienta que llevó al descubrimiento de metales como el sodio y el potasio. Berzelius opinaba que las fuerzas electrostáticas positivas y negativas podían mantener unidos los elementos, y al principio sus teorías fueron aceptadas. Cuando los químicos empezaron a preparar y a estudiar nuevos compuestos y reacciones en las que

las fuerzas eléctricas parecían no estar implicadas (compuestos no polares), el problema de la afinidad fue postergado por un tiempo.

Además de la masa del átomo, interesaba conocer su tamaño. A finales del siglo XIX, se realizaron diversos intentos para determinar el tamaño del átomo, que sólo tuvieron un éxito parcial. En uno de estos intentos se aplicaron los resultados de la teoría cinética a los gases no ideales, es decir, gases cuyas moléculas no se comportan como puntos sino como esferas de volumen finito. Posteriores experimentos que estudiaban la forma en que los átomos dispersaban rayos X, partículas alfa y otras partículas atómicas y subatómicas permitieron medir con más precisión el tamaño de los átomos, que resultaron tener un diámetro de entre 10^{-8} y 10^{-9} cm. Sin embargo, una afirmación precisa sobre el tamaño de un átomo exige una definición explícita de lo que se entiende por tamaño, puesto que la mayoría de los átomos no son exactamente esféricos y pueden existir en diversos estados, con diferentes distancias entre el núcleo y los electrones.

Uno de los avances más importantes que llevó a la exploración del interior del átomo y al abandono de las teorías clásicas de la física fue la espectroscopia; otro avance fue el propio descubrimiento de las partículas subatómicas. Cuando se calienta una sustancia gaseosa, ésta emite luz en una serie de frecuencias determinadas; la distribución de estas frecuencias se denomina espectro de emisión. En 1823, el astrónomo y químico británico John Herschel sugirió que las sustancias químicas podían identificarse por su espectro. En los años posteriores, dos alemanes, el químico Robert Wilhelm Bunsen y el físico Gustav Robert Kirchhoff, catalogaron los espectros de numerosas sustancias. El helio se descubrió después de que, en 1868, el astrónomo británico Joseph Norman Lockyer observara una línea espectral desconocida en el espectro solar. Sin embargo, las contribuciones más importantes desde el punto de vista de la teoría atómica se debieron al estudio de los espectros de átomos sencillos, como el del hidrógeno, que presenta pocas líneas espectrales.

Los llamados *espectros de líneas* (formados por líneas individuales correspondientes a diferentes frecuencias) son causados por sustancias gaseosas en las que, según sabemos hoy, los electrones han sido excitados por calentamiento o por bombardeo con partícu-

las subatómicas. En cambio, cuando se calienta un sólido aparece un espectro continuo que cubre toda la zona visible y penetra en las regiones infrarroja y ultravioleta. La cantidad total de energía emitida por el sólido depende mucho de la temperatura, así como la intensidad relativa de las distintas longitudes de onda. Por ejemplo, si se calienta un trozo de hierro, la radiación emitida comienza en la región infrarroja, y no puede verse; después, la radiación se desplaza hacia el espectro visible, primero con un brillo rojo y luego blanco, a medida que el máximo del espectro de radiación avanza hacia la mitad de la zona visible. El intento de explicar las características de la radiación de los sólidos con las herramientas de la física teórica de finales del siglo XIX llevaba a la predicción de que, a cualquier temperatura, la cantidad de radiación debía aumentar de forma ilimitada a medida que disminuía la longitud de onda. Este cálculo, en el que no se logró encontrar ningún error, estaba en desacuerdo con los experimentos y además llevaba a una conclusión absurda, la de que un cuerpo con temperatura finita pudiera radiar una cantidad infinita de energía. Estas contradicciones exigían una nueva forma de considerar la radiación e, indirectamente, el átomo.

A finales del siglo XIX, la química, al igual que la física, parecía haber alcanzado un punto en el que no quedaba ningún campo sorprendente por desarrollar. Esta visión cambió completamente con el descubrimiento de la radiactividad. Los métodos químicos fueron utilizados para aislar nuevos elementos, como el radio, para separar nuevos tipos de sustancias conocidas como isótopos, y para sintetizar y aislar los nuevos elementos transuránicos. Los físicos consiguieron dibujar la estructura real de los átomos, que resolvía el antiguo problema de la afinidad química y explicaba la relación entre los compuestos polares y no polares.

8.6. La medicina contemporánea

Durante el siglo XIX, algunos biólogos se dedicaron al estudio de la célula, elemento fundamental de los tejidos, descubierta en 1830. Bichat y Laennec modernizaron los métodos de la medicina, y el descubrimiento de los anestésicos permitió a la cirugía dar un gran paso adelante. Muchos de los descubrimientos realizados en el siglo XIX hicieron posible los importantes avances en el diagnósti-

co y tratamiento de la enfermedad y de los métodos quirúrgicos. La práctica de la asepsia y de la antisepsia hizo que la cirugía avanzase considerablemente. Esta evolución de la medicina explica el notable desarrollo demográfico.

Hacia 1819, el médico francés René Théophile Hyacinthe Laënnec inventó el fonendoscopio, todavía hoy el instrumento más usado por los médicos. Numerosos clínicos británicos importantes asimilaron los nuevos métodos de diagnóstico de enfermedades; como resultado, sus nombres se convirtieron en familiares para la identificación de determinadas enfermedades. El médico Thomas Addison descubrió el trastorno de las glándulas adrenales conocido como «enfermedad de Addison»; Richard Bright diagnosticó la nefritis o «enfermedad de Bright»; Tomas Hodgkin describió una enfermedad maligna del sistema linfático conocida por «enfermedad de Hodgkin»; el cirujano y paleontólogo James Parkinson describió la enfermedad crónica del sistema nervioso denominada «enfermedad de Parkinson»; y el médico irlandés Robert Jaes Graves diagnosticó el bocio exoftálmico, tóxico, también denominado «enfermedad de Graves».

Una ayuda de inestimable valor diagnóstico fueron los rayos X, descubiertos de forma accidental por el físico alemán Wilhelm Conrad Roentgen. El médico danés Niels Ryberg Finsen desarrolló una lámpara de rayos ultravioletas, hecho que mejoró el pronóstico de la tuberculosis de la piel y de otros procesos producido por la radiación ultravioleta. El descubrimiento del radio por los físicos franceses Pierre y Marie Curie permitió tratar algunas formas de cáncer.

La medicina decimonónica está en deuda con las universidades alemanas y los descubrimientos científicos que desterraron las reminiscencias que aún persistían de la teoría tradicional de los humores. De importancia fundamental fue el desarrollo, por parte del botánico alemán Matthias Jakob Schleiden, de la teoría celular del desarrollo embrionario, que abrió camino para el estudio microscópico de los tejidos enfermos. El anatomista y fisiólogo alemán Theodor Schwann aplicó más tarde las teorías celulares de Schleiden a la evolución de la vida animal. El trabajo del anatomista y fisiólogo Marie François Xavier Bichat, en el estudio sistemático de los tejidos humanos, fue la piedra angular de la anatomía patológi-

ca. El patólogo y médico austríaco barón Karl von Rokitansky, que realizó más de 30.000 autopsias, fue el primero en detectar el origen bacteriano de la endocarditis. Otros fundadores de la patología microscópica fueron Schwann, el fisiólogo y neurólogo alemán Robert Remak, el fisiólogo checo Jan Evangelista Purkinje, el anatomista y fisiólogo suizo Rudolf Albert von Koliker y el patólogo y anatomista alemán Friedrich Gustav Jacob Henle. En Alemania, el biólogo estoniano Karl Ernst von Baer realizó una investigación pionera en embriología con el descubrimiento del óvulo humano, y el fisiólogo alemán Johannes Peter Müller introdujo el concepto de la energía específica de los nervios. La culminación de esta extraordinaria serie de investigaciones se recoge en el trabajo del patólogo alemán Rudolf Virchow, cuya doctrina sobre la célula como asiento de la enfermedad permanece como la teoría fundamental de la ciencia médica moderna.

Los primeros estudios del químico y microbiólogo francés Louis Pasteur[38] sobre la fermentación acabaron con el concepto de la generación espontánea y aportaron un resurgimiento del interés en la teoría de que la enfermedad es el resultado de un contagio específico. El trabajo pionero sobre la fiebre puerperal del médico y autor estadounidense Oliver Wendell Holmes y del obstetra húngaro Ignaz Philipp Semmelweis demostraron que la elevada tasa de mortalidad en mujeres después del parto era achacable a agentes infecciosos transmitidos por las manos contaminadas de los médicos. De igual importancia son las contribuciones de Pasteur y del médi-

38. Louis Pasteur (1822-1895), que se formó en la química, produce una verdadera revolución en el campo de la biología y de la medicina. Al estudiar el fenómeno de la fermentación, comprueba que ésta se debe a un organismo vivo, el microbio. Esta teoría contradice en su momento la opinión de todos los científicos, según los cuales la fermentación era un fenómeno puramente químico. En 1867 descubre el procedimiento que lleva su nombre, la pasteurización, lo que equivale a decir la destrucción de los microbios por medio del calor. Era la prueba de que la llamada generación espontánea no existe. Afirma Pasteur: «¡No! La generación espontánea no existe. Todo ser vivo nace de otro ser vivo». A continuación, se dedicó a la aplicación de sus descubrimientos a la medicina y desarrolló metódicamente el procedimiento de la vacunación que Jenner ha utilizado contra la viruela. Muchos sabios continúan su obra, entre los que hay que citar particularmente a su discípulo Emilio Roux, por el descubrimiento de la vacuna antidiftérica, y al alemán Koch por el descubrimiento de los bacilos de la tuberculosis y del cólera.

co y bacteriólogo alemán Robert Koch en el campo de la bacteriología; el desarrollo de este campo se considera el avance individual más importante en la historia de la medicina. En pocas décadas, se aislaron las causas de procesos tan conocidos como el carbunco, la difteria, la tuberculosis, la enfermedad de Hansen (lepra) y la peste. El fisiólogo alemán Emil Heinrich Du Bois-Reymond con sus estudios aportó el conocimiento de los procesos metabólicos y de la fisiología de los músculos y nervios.

Entre los primeros bacteriólogos, se encontraban el fisiólogo alemán Edwin Theodore Albrecht Klebs, que aisló el bacilo causante de la difteria, investigó la bacteriología del ántrax y la malaria, e introdujo la tuberculosis en reses y la sífilis en monos; el bacteriólogo alemán Friedrich August Johannes Löffler, que descubrió la bacteria de la gonorrea, y el médico noruego Gerhard Henrik Hansen, que descubrió el bacilo de la lepra. El ginecólogo alemán Karl Sigismund Franz Credé desarrolló un método que consistía en administrar gotas de una solución antiséptica de nitrato de plata en los ojos de los recién nacidos para prevenir la oftalmia gonocócica. El método de inmunización de Pasteur mediante el cual se inyectaban virus atenuados se empleó con éxito en el tratamiento de la rabia; el bacteriólogo alemán Emil Adolph von Berhing desarrolló sueros inmunizantes contra la difteria y el tétanos. El bacteriólogo ruso Elie Metchnikoff fue el primero en describir el fagocito que destruye bacterias y otros elementos. Esta propiedad la presentan algunas células blancas de la sangre o leucocitos (el proceso de fagocitosis).

La cirugía se benefició de manera significativa de la teoría de los gérmenes. El cirujano británico y biólogo Joseph Lister adoptó el uso del ácido carbólico como agente antiséptico, con resultados importantes en el descenso de la mortalidad por la infección de las heridas. Las pruebas aportadas por Lister, que demostraban que las bacterias se transmiten a través del aire, permitieron, más tarde, comprender dicha transmisión por medio de las manos y los instrumentos, cuya esterilización introdujo la era de la cirugía aséptica. Otro de los grandes avances de la cirugía llegó con el descubrimiento de los anestésicos.

Con el progreso de la física y la química, se produjo un enorme avance de la fisiología durante el siglo XIX. Entre los más conoci-

dos bioquímicos de este período, se encuentran el químico alemán Justus von Liebig, que desarrolló los métodos analíticos de la química orgánica y química de los alimentos y el metabolismo, el físico y fisiólogo alemán Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, quien inventó el oftalmoscopio y el oftalmómetro, investigó la velocidad de los impulsos nerviosos y de los procesos reflejos y llevó a cabo estudios de primera importancia sobre óptica y acústica.

Los fenómenos de la vida, en todas sus formas, son ya analizados científicamente: ésta es la vía que sigue el fisiólogo francés Claude Bernard (1813-1878), quien, en 1851, demuestra la función glucogenética del hígado, que pone al descubierto la primera secreción interna. Bernard, fundador de la medicina experimental, realizó importantes descubrimientos sobre las funciones del páncreas, el hígado y el sistema nervioso simpático. Cuando se retira a descansar escribe la *Introducción al estudio de la medicina experimental*, obra capital que no ha perdido nada de interés en nuestros días. Dice textualmente el autor: «La medicina, que siempre ha sido empírica, se está convirtiendo en científica». El trabajo de Bernard sobre la interacción del aparato digestivo y el sistema vasomotor, que controla el tamaño de los vasos sanguíneos, fue continuado por el fisiólogo ruso Iván Petróvich Pávlov, autor de la teoría del reflejo condicionado, base posterior del conductismo.

Entre los otros fisiólogos del siglo XIX, destacan el médico francoestadounidense y fisiólogo Charles Édouard Brown-Séquard, quien investigó las actividades de varias glándulas del sistema endocrino, y Carl Friedrich Wilhelm Ludwig, fisiólogo alemán que exploró la actividad cardiaca y renal a través de nuevos métodos de estudios funcionales. El trabajo del histólogo español Santiago Ramón y Cajal[39] contribuyó al conocimiento moderno de la estructura y función del sistema nervioso.

39. Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), nació en Petilla de Aragón, estudió medicina en la Universidad de Zaragoza y cursó el doctorado en Madrid. En 1883, obtuvo la cátedra de Anatomía descriptiva de la Universidad de Valencia y estudió la epidemia de cólera que azotó Valencia en 1885. Dos años más tarde, en 1887, se trasladó a Barcelona como catedrático de Histología, donde realizó sus trabajos más importantes. En 1889, descubrió los mecanismos que gobiernan la morfología y los procesos conectivos de las células nerviosas de la materia gris del sistema nervioso cerebroespinal. Durante los siguientes dos años, desentrañó los cam-

En 1803, el biólogo estadounidense John Richardson Young describió el proceso de la formación de ácido en la digestión gástrica. Treinta años más tarde, el cirujano estadounidense William Beaumont publicó sus interesantes estudios sobre los jugos gástricos y la fisiología de la digestión, basados en las observaciones de un paciente que padecía de una fístula gástrica. En el capítulo de la ginecología, el médico y cirujano estadounidense Ephraim McDowell realizó la primera extirpación quirúrgica de un tumor de ovario, y el ginecólogo James Marion Sims salvó la vida de muchas mujeres con la corrección quirúrgica de la fístula vesicovaginal (comunicación entre la vejiga y la vagina), realizada por primera vez en 1845.

En 1900, el médico, cirujano y bacteriólogo del ejército estadounidense Walter Reed y sus colaboradores, tras trabajar sobre una sugerencia realizada por el biólogo cubano Carlos Juan Finlay, demostraron que el mosquito era el vector de la fiebre amarilla. Tan sólo unos años después, el médico británico Ronald Ross demostró el papel del mosquito como transmisor del parásito de la malaria.

En el siglo XX, se han vencido muchas enfermedades infecciosas gracias a las vacunas, los antibióticos y la mejoría de las condiciones de vida. El cáncer se ha convertido en una enfermedad frecuente, pero muchas formas de la enfermedad se pueden combatir con eficacia debido al desarrollo de numerosos tratamientos. En este siglo también se han iniciado investigaciones básicas sobre los procesos vitales. Se han realizado importantes descubrimientos en muchas áreas, en especial en lo que concierne a la base de la trans-

bios básicos que experimenta la neurona durante el funcionamiento del sistema nervioso. Fue también el primero en aislar las células nerviosas, llamadas células de Cajal, que se encuentran cerca de la superficie del cerebro. En 1892, se instaló en Madrid y fue nombrado catedrático de Histología de la Universidad de Madrid, donde trabajó y prolongó su labor científica hasta su muerte. Por su trabajo en este campo, Cajal compartió en 1906 el Premio Nobel de Fisiología y Medicina con el citólogo italiano Camillo Golgi. A lo largo de su vida realizó diversas publicaciones tanto científicas como algunas de valor literario, entre las que destaca su tratado fundamental: *Histología del sistema nervioso del hombre y los vertebrados* (1905). En 1922, fundó en Madrid el Instituto Cajal para el desarrollo de la investigación neurohistológica.

misión de defectos hereditarios y en los mecanismos físicos y químicos de la función cerebral.

En la segunda mitad del siglo XX, se han realizado intervenciones antes impensables. En 1962, se unió por primera vez un brazo completamente arrancado. Procedimientos menos espectaculares pero más frecuentes incluían la unión de dedos amputados. La cirugía de este tipo fue posible gracias a los microscopios quirúrgicos, a través de los cuales el cirujano puede ver nervios finos y vasos sanguíneos que deben anastomarse para hacer que funcione de nuevo la parte amputada. La reposición plástica ha permitido la realización de nuevas caderas, que permiten andar a personas incapacitadas por artritis, y de brazos protésicos activados con baterías. El fallo renal, antes fatal, se trata de forma rutinaria con trasplante o mediante un riñón artificial como un tratamiento a largo plazo. En 1975, un amplio ensayo experimental mostró que los diabéticos con daño en los vasos del ojo podían salvarse de la ceguera a base de un tratamiento con rayos láser. Algunos casos graves de epilepsia tienen tratamiento; consiste en localizar el punto irritado en el cerebro que causa las convulsiones y destruirlo mediante sondaje frío de nitrógeno líquido.

Se han combatido muchas enfermedades infecciosas durante el siglo XX mediante la mejora del saneamiento, los antibióticos y las vacunas. El tratamiento farmacológico específico para las infecciones comenzó con el descubrimiento del médico alemán Paul Ehrlich de la arsfenamina, un compuesto de arsénico, empleado como tratamiento de la sífilis. Esto fue seguido en 1932 por el anuncio del científico alemán Gerhard Domagk de que la tintura del rojo del mercurocromo era efectiva contra las infecciones estreptocócicas. El descubrimiento del principio activo del mercurocromo, sulfanilamida, produjo la proliferación del primer grupo de fármacos importantísimos: los antibióticos sulfamidas. La purificación de la penicilina en 1938 por los bioquímicos británicos Howard Florey y Ernst Chain ocurrió diez años más tarde del descubrimiento de Alexander Fleming de la actividad bactericida del hongo *Penicillium*. Tras conocer su estructura, pudo utilizarse de forma masiva en medicina. Con la II Guerra Mundial estalló la producción comercial de la penicilina, con lo que disminuyó en gran medida el número de muertes.

Se descubrió, de igual forma, un tratamiento específico para la tuberculosis: la estreptomicina. Cuando la bacteria se hizo resistente, apareció la combinación de rifampicina con isoniacida; este tratamiento se mantiene hoy día, así como el primer tratamiento contra la enfermedad. La enfermedad de Hansen (lepra) se trata de forma eficaz con fármacos denominados sulfonas, y la malaria, con derivados de la quinina, extracto de la corteza del quino. No se han encontrado antibióticos para enfermedades causadas por virus, pero las vacunas se convirtieron en punto clave del tratamiento. Entre las primeras estuvo la de la viruela, descubierta por Edward Jenner en 1796; la de la fiebre tifoidea, desarrollada por el bacteriólogo inglés Almorth Wright en 1897; la de la difteria en 1923, y la del tétanos en la década de los años treinta.

Los microbiólogos americanos John Franklin Enders y Frederick Chapman Robbins desarrollaron, en la década de 1930, un modo para hacer crecer los virus en cultivos tisulares, hecho que se convirtió en un avance de primer orden para la preparación de vacunas contra ellos. Este descubrimiento posibilitó las vacunas contra la fiebre amarilla, la poliomielitis, el sarampión y la rubeola. A comienzos de la década de 1980, la ingeniería genética produjo el desarrollo de vacunas contra la hepatitis B, la gripe, el herpes simple y la varicela, y se ha probado una vacuna contra la malaria. La lucha contra las enfermedades infecciosas se ha complicado en la última parte del siglo XX con el incremento de las resistencias antibióticas de los microorganismos y el descubrimiento de nuevas enfermedades, como la enfermedad del legionario y el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA).

El cerebro ha sido una de las últimas partes exploradas del cuerpo humano. En el siglo XIX, el histólogo español Santiago Ramón y Cajal utilizó colorantes químicos para definir pequeñas áreas del cerebro, pero se precisaron instrumentos más sofisticados para asignar funciones a dichas áreas. Durante la primera parte del siglo XX, el neurocirujano Wilder Graves Penfield estimuló distintas partes del cerebro de sus pacientes durante la cirugía y demostró la localización de varias funciones motoras y emocionales. El estudio de personas cuyos hemisferios derecho e izquierdo habían sido separados por accidente, mostró que cada parte del cerebro tenía a su cargo diferentes actividades. El desarrollo de sofisticadas

técnicas de imagen por los institutos de salud nacional de Estados Unidos permitieron a los investigadores demostrar, en la década de 1970, las partes específicas del cerebro que controlan el oído, el habla y el movimiento de las extremidades.

Relevantes fueron también los descubrimientos sobre el funcionamiento de los nervios. La teoría de los neurotransmisores, desarrollada durante el siglo XX, establece que los impulsos se transmiten de un nervio a otro por una combinación de señales eléctricas y químicas. Otro descubrimiento importante para la fisiología fue el descubrimiento, en la década de 1970, de que el cerebro regula funciones corporales mediante la liberación de neurotransmisores desde un área del cerebro —el hipotálamo— para controlar la hipófisis. Este trabajo, llevado a cabo por los endocrinólogos estadounidenses Roger Guillemin y Andrew Victor Schally, estableció la conexión entre las emociones y la bioquímica. Como aplicación médica, ha sido posible obtener, por primera vez, tratamientos para trastornos neurológicos como la epilepsia y la enfermedad de Parkinson.

Hasta el siglo XX, el conocimiento del sistema inmunológico era limitado. Primero se conoció la producción de anticuerpos en respuesta a la infección o a la inmunización. Durante la década de 1930, el inmunólogo Karl Landsteiner demostró la gran especificidad de las reacciones de anticuerpos. Los científicos también descubrieron que existían varias clases de anticuerpos. En particular, se puso de manifiesto la relación entre la llamada inmunoglobulina E y la alergia, y en la década de 1950 se precisó la estructura de un tipo de inmunoglobulina. Se descubrió que el sistema inmune era el causante de la enfermedad por factor Rh, y responsable del fracaso de los trasplantes de órganos. Esto llevó al desarrollo de un antisuero que fue eficaz para eliminar la enfermedad del Rh y al empleo de fármacos que inhabilitan de forma temporal al sistema inmunológico y permiten el trasplante de órganos, en especial de los riñones. La formación de anticuerpos se asoció con la base de enfermedades mortales tras la transfusión de sangre, y la clasificación de la sangre según su especificidad inmunológica ha hecho de la transfusión una práctica segura y extendida. En la última parte del siglo XX, los científicos descubrieron un área diferente del sistema inmune, el denominado «sistema inmunológico celular», cuyo protagonista es el linfocito. Estos descubrimientos permiten la comprensión de

muchas enfermedades debidas a defectos hereditarios de una o más subclases de linfocitos. Los intentos para corregir estas deficiencias se centran en inyectar al paciente células sanguíneas procedentes de la médula de un familiar cercano y sano. Las investigaciones actuales se centran en identificar las hormonas que provocan que los linfocitos del embrión se hagan funcionales.

Durante la segunda mitad del siglo XX, se han desarrollado nuevos y mejores métodos para observar el interior del cuerpo humano. En la década de 1970, se desarrolló una cámara especial sensible a la radiación gamma para localizar cánceres específicos. El diagnóstico del daño cerebral se ha beneficiado con la invención, en 1975, de un dispositivo de rayos X computerizado, denominado Tomografía Axial Computerizada (TAC); otras técnicas de imagen son la tomografía de emisión de positrones (PET) y la resonancia magnética nuclear. Los ultrasonidos de muy alta frecuencia también se emplean desde hace varios años.

A comienzos del siglo XX, la enfermedad mental seguía considerándose como sinónimo de locura; las personas con enfermedades mentales eran sometidas a un confinamiento cruel en el que recibían escasa ayuda. El tratamiento eficaz de algunos de los trastornos mentales ha mejorado mucho el pronóstico de estas enfermedades y ha eliminado en parte su estigma. Las teorías postuladas por Sigmund Freud fueron uno de los primeros inteńtos de comprender el mal funcionamiento de la mente, pero los métodos del psicoanálisis, propuestos por Freud y modificados por sus seguidores, se han mostrado ineficaces en el tratamiento de muchas enfermedades mentales. Dos intentos precoces para el tratamiento de los procesos psicóticos fueron la leucotomía, también denominada *lobotomía*, introducida en 1935, y el electrochoque o terapia electroconvulsionante, ideada en 1938. La leucotomía y otras formas menos graves de psicocirugía se emplean de forma puntual en la actualidad, y el electrochoque se emplea para el tratamiento de la enfermedad depresiva cuando han fracasado otros tratamientos farmacológicos.

La introducción de fármacos fue uno de los mayores progresos en el tratamiento de estas enfermedades. Los primeros utilizados, las fenotiacinas, se comenzaron a emplear a principios de la década de 1950 para tratar la esquizofrenia, y han demostrado ser muy

eficaces en el tratamiento de los síntomas de muchos pacientes con esquizofrenia aguda. Sin embargo, el entusiasmo inicial, que llevó a pensar que los hospitales mentales se podrían cerrar, fue sólo una ilusión. Los médicos se están dando cuenta de que a algunos de estos pacientes que no mejoran con fármacos, en cualquier caso se les debe proporcionar ayuda psicológica. También se ha encontrado que algunas personas tratadas con fenotiacinas durante muchos años desarrollan un trastorno neuromuscular complejo denominado *disquinesia tardía*. Otro importante avance en la farmacología de las enfermedades mentales ha sido el uso del litio para tratar la enfermedad maníaco-depresiva. Fármacos, como los antidepresivos tricíclicos, son muy útiles en la actualidad y se emplean con éxito en el tratamiento de la depresión.

Las enfermedades cardiovasculares siguen siendo la principal causa de muerte en los países occidentales. Sin embargo, se han realizado importantes avances en su diagnóstico y tratamiento. El diagnóstico mejoró con la técnica de la cateterización cardíaca, que permite medir la presión en varias cámaras del corazón y en los grandes vasos, y por la angiografía, un procedimiento con rayos X para observar estas áreas. Las nuevas técnicas de imagen permiten evaluar la extensión del daño cardíaco y la fuerza de bombeo en personas que han sufrido un infarto de miocardio. De los muchos fármacos disponibles, un grupo importante consiste en bloqueantes de algunas funciones del sistema nervioso simpático. Estos fármacos se utilizan para tratar la angina de pecho (dolor torácico por estrechamiento de la arteria coronaria), las alteraciones del ritmo cardíaco y la hipertensión.

Los avances en la cirugía permiten ahora evitar el estrechamiento (estenosis) arterial y venoso mediante injertos, la sustitución de válvulas cardíacas dañadas por las infecciones o la corrección de muchas malformaciones congénitas del corazón. Los trasplantes cardíacos se practican desde hace varios años; algunas veces, se han empleado corazones artificiales de forma temporal, e incluso se implantó algún corazón artificial permanente a mediados de la década de 1980. También se han logrado avances en la prevención de enfermedades cardiovasculares con una mayor preocupación y mejor conocimiento de los riesgos potenciales del tabaquismo, el estrés, la obesidad, la hipertensión y los elevados ni-

veles de colesterol en la sangre. Desde mediados de la década de 1920, el mundo occidental ha experimentado un declive continuo y dramático de muertes por enfermedades coronarias. Este declive se ha atribuido a los cambios en la dieta, el control médico de la tensión arterial, el descenso del número de fumadores y el aumento del ejercicio físico.

No obstante, debido al creciente aumento de la proporción de individuos ancianos en la población, el porcentaje de muertes causadas por el cáncer ha aumentado mucho en los últimos años. Algunos aspectos de esta enfermedad permanecen, desde el punto de vista científico, sin aclarar, a pesar de que se sabe que las exposiciones ocupacionales y ambientales a productos químicos son algunas de sus causas. En particular, el consumo de tabaco causa la mayoría de los cánceres de pulmón, algunos de la vejiga, boca, garganta y páncreas. Un diagnóstico precoz, en especial en el cáncer de cérvix, ayuda al descenso de las muertes. El primer tratamiento aplicado fue la radiación, pero en la década de 1960 se introdujo el tratamiento farmacológico. Este último, en la actualidad, es curativo en muchos casos de cáncer de mama y de testículo y en algunos cánceres que afectan a la sangre, en especial en niños.

8.7. El origen y consolidación de las ciencias sociales

En sentido amplio, las ciencias sociales pueden identificarse con las ciencias del espíritu, o con las ciencias humanas, pero en sentido propio deben considerarse sólo aquellas cuyo objeto de estudio son los fenómenos sociales. Surgen, al igual que las ciencias de la naturaleza, durante el s. XIX, cuando aparecen las primeras obras sobre filosofía de la ciencia. El primero en emplear el término de «sociología» para aplicarlo a una ciencia de tipo experimental fue Auguste Comte. Ejemplos de ciencias sociales son, además de la sociología, la psicología, la antropología, la economía, la lingüística, la criminología, la ciencia política, la psicología social, la historia de las ideas, etc.

Desde que Dilthey, a finales del s. XIX, distingue entre ciencias de la naturaleza y ciencias del espíritu, existe la polémica acerca de las características de estas últimas y acerca del método que les es propio. Uno de los supuestos fundamentales del neopositivismo es

la afirmación de la unidad del método científico, que exige que también las ciencias sociales construyan leyes invariables sobre los fenómenos humanos. La llamada disputa del positivismo enfrentó dos concepciones opuestas —el racionalismo crítico de Popper y la teoría crítica de la escuela de Francfort— sobre la cuestión de si las ciencias sociales poseen una estructura científica similar a la de las ciencias de la naturaleza y si el método que les corresponde es o no es el mismo que el de estas últimas. Popper ha sostenido siempre la unidad del método científico, mientras que la escuela de Francfort sostiene la dualidad de ciencias y de métodos. La discusión puede ampliarse a las críticas dirigidas por Hempel, defensor del modelo nomológico de explicación, a las teorías de W. Dray, que en su *Leyes y explicación en la historia* (1957) sostiene que la explicación histórica tiene su propio modelo; le siguen en esto E. Anscombe y G.H. von Wright.

En esta cuestión, son dos los enfoques posibles: reducir las ciencias sociales a la misma estructura y metodología de las ciencias de la naturaleza, o respetar la idiosincrasia de las ciencias sociales. Esta última opción enlaza con la postura tradicional, que sostiene que lo propio de las ciencias sociales, igual que las ciencias del espíritu, o las ciencias humanas, es la comprensión de la sociedad y la cultura. Es propio de estas ciencias contemplar su objeto de estudio, en definitiva el hombre, no como un ser biológico sometido a leyes deterministas, sino como ser libre, capaz de autodeterminarse y no sometido al destino, aunque sí a los condicionamientos psicológicos, ambientales y sociales, y que se manifiesta activamente a través del lenguaje y de sus producciones e instituciones culturales y sociales. Esta situación de intercomunicación e interacción, en la que coincide la naturaleza de lo que se estudia y de quien estudia, produce la peculiaridad de las ciencias de la sociedad y del espíritu: por un lado, la ventaja de comprender desde dentro, y no solamente entender desde fuera, el objeto que se investiga, y, por el otro, el carácter problemático de la objetividad científica, más difícil de conseguir por la dificultad de conseguir conceptos objetivos y leyes universales. En el estudio de la realidad social, forzosamente intervienen los prejuicios, las ideologías y los juicios de valor. Son las dos caras, positiva y negativa, del llamado «método de la comprensión», método en definitiva subjetivo.

Añádase la dificultad de emprender experimentos en materia social, o repetirlos en circunstancias idénticas, la dificultad de analizar las predicciones, y, sobre todo, el problema de los enunciados universales en las ciencias sociales: si las generalizaciones en estas ciencias pueden hacerse con el rigor necesario. En las ciencias naturales se supone la regularidad de los fenómenos: a efectos semejantes, causas semejantes, de modo que, siendo iguales las circunstancias y los objetos, los fenómenos son los mismos. En las ciencias sociales, los objetos —esto es, los hombres— en circunstancias semejantes actúan de maneras diferentes.

Ernest Nagel precisa la diferencia de metodología entre las ciencias naturales y las ciencias sociales en los siguientes términos: Las ciencias naturales gozan de unanimidad entre los investigadores respecto a 1) cuáles son los hechos que hay que explicar, 2) cuáles son las explicaciones satisfactorias de los hechos (si las hay), y 3) cuáles son los procedimientos de investigación que permiten hallar las explicaciones de los hechos. Frente a ello, en las ciencias sociales no existe tal suficiente unanimidad ni sobre cuestiones de contenido ni sobre cuestiones de método, y es posible dudar acerca de si estas ciencias «suministran leyes estrictamente universales acerca de fenómenos sociales».

8.7.1. *Psicología*

El término «psicología» fue introducido por Goclenius (Rudolf Göckel) hacia 1590, con la obra *Hoc est de hominis perfectione, animo et in primis ortu huius commentationes ac disputationes quorundam theologorum et philosophorum nostrae aetatis* (Psicología, esto es, comentarios y tratados de teólogos y filósofos de nuestro tiempo sobre la perfección del hombre y de su ánimo, y sobre todo del origen de éste). El título remite al *Perí psykhés* (Sobre el alma) de Aristóteles, e indica claramente cómo era tratada la psicología antes de que naciera como ciencia independiente: como parte de la filosofía, mejorando no obstante el tratamiento que le diera Aristóteles, como parte de la física. Actualmente «psicología» designa el estudio científico del comportamiento y la experiencia, y de cómo los seres humanos y los animales sienten, piensan, aprenden y conocen para adaptarse al medio que les rodea. La psicología moderna se

ha dedicado a recoger hechos sobre el comportamiento y la experiencia, y a organizarlos sistemáticamente, elaborando teorías para su comprensión. Estas teorías ayudan a conocer y a explicar el comportamiento de los seres humanos y, en alguna ocasión, incluso a predecir sus acciones futuras, pudiendo intervenir sobre ellas.

La psicología procede de muy distintas fuentes, pero sus orígenes como ciencia habría que buscarlos en los orígenes de la filosofía, en la antigua Grecia. Platón y Aristóteles, como otros filósofos griegos, afrontaron algunas de las cuestiones básicas de la psicología que aún hoy son objeto de estudio: ¿Nacen las personas con ciertas aptitudes y habilidades, y con una determinada personalidad, o se forman como consecuencia de la experiencia? ¿Cómo llega el individuo a conocer el mundo que le rodea? ¿Ciertos pensamientos son innatos o son todos adquiridos?

Tales cuestiones fueron debatidas durante siglos, pero la psicología científica como tal no se inicia hasta el siglo XVII con los trabajos del filósofo racionalista francés René Descartes y de los empiristas británicos Thomas Hobbes y John Locke. Descartes afirmaba que el cuerpo humano era como una maquinaria de relojería, pero que cada mente (o alma) era independiente y única. Mantenía que la mente tiene ciertas ideas innatas, cruciales para organizar la experiencia que los individuos tienen del mundo. Hobbes y Locke, por su parte, resaltaron el papel de la experiencia en el conocimiento humano. Locke creía que toda la información sobre el mundo físico pasa a través de los sentidos, y que las ideas correctas pueden y deben ser referidas y verificadas con la información sensorial de la que proceden. La corriente más influyente se desarrolló siguiendo el punto de vista empirista de Locke. Sin embargo, ciertos psicólogos europeos que han estudiado la percepción sostendrán varios siglos después la idea cartesiana de que parte de la organización mental es innata. Esta concepción aún juega un papel importante en las recientes teorías de la percepción y la cognición (pensamiento y razonamiento).

La psicología nace como ciencia, o como disciplina independiente de la filosofía, en 1879, con la fundación por Wilhelm Wundt[40], en Leipzig, de un laboratorio experimental de psicología.

40. Wilhelm Wundt (1832-1920), psicólogo alemán, considerado el fundador de la psicología científica como ciencia independiente. Nació en Neckarau (ac-

Su paternidad filosófica queda puesta, no obstante, de manifiesto con el título de la primera revista de psicología: *Philosophische Studien*. Se le otorgan, sin embargo, otros sucesivos nacimientos en función de la fundación de escuelas psicológicas importantes que reorientan la psicología o renuevan su contenido. En realidad, no hay una sola psicología, sino muchas y diversas escuelas psicológicas.

Los primeros intentos de independencia de la psicología respecto de la filosofía se llevan a cabo durante el s. XIX de la mano de la psicofísica y la psicofisiología. Son conocidos los trabajos en este terreno de E.H. Weber (1795-1878) y de Theodor Fechner (1801-1887); que culminan con *Elementos de psicofísica* (1860), publicado por Fechner con la primera ley experimental importante sobre la sensación, llamada ley de Weber-Fechner. La fundación, por Wilhelm Wundt, del primer laboratorio experimental de psicología, supone no sólo el paso de la psicofisiología a la psicofísica, sino también la conversión de la psicología en ciencia empírica. El método psicológico iniciado por Wundt y desarrollado principalmente por Titchener en la Cornell University, en los EE.UU., es conocido como *estructuralismo*, y se basaba en la identificación de los elementos que constituyen o estructuran la mente humana; el método a que recurrieron es conocido con el nombre de *introspección*.

tualmente parte de Mannheim) y se formó en las universidades de Tübingen y Heidelberg y en el Instituto de Fisiología de Berlín. Después de enseñar filosofía en la Universidad de Heidelberg (1858-1874), impartió filosofía inductiva en Zurich (1874-1875). De 1875 a 1917 fue profesor de filosofía en la Universidad de Leipzig. Wundt presentó el primer curso académico de psicología en 1862 y creó el primer Laboratorio de Psicología Experimental en 1879. También fundó la primera revista de esta materia, *Philosophische Studien* (Estudios filosóficos) en 1881. Wundt divulgó lo que se conoce como psicología introspectiva o estructuralista, que hace hincapié en la observación de la mente consciente y confiere menor importancia a la inferencia a partir del comportamiento externo. Realizó también un amplio trabajo experimental sobre la percepción, el sentimiento y la apercepción (fase de la percepción en la que hay un reconocimiento pleno de lo que se percibe). Entre sus más de 500 publicaciones destacan *Fundamentos de psicología fisiológica* (2 volúmenes, 1873-1874) y la monumental obra *Psicología de los pueblos* (10 volúmenes, 1900-1904). También escribió tres grandes tratados filosóficos: *Lógica* (1880), *Ética* (1886) y *Sistema de filosofía* (1889).

El enfoque dado por Wundt a la psicología sirvió como punto de arranque de la reacción en contra de otras psicologías que se le opusieron en la concepción del objeto de estudio y del método. La primera reacción —siguiendo la pauta indicada por Benjamin B. Wolman— llega en la triple forma de funcionalismo, reflejos condicionados y conductismo; el objeto no son ya los procesos internos sólo cognoscibles por introspección, sino la observación de la conducta externa.

El funcionalismo psicológico —que supone la introducción de la idea de adaptación biológica a la psicología— tiene sus antecedentes en Darwin, Spencer y Galton, y sus patrocinadores en William James y John Dewey, especialmente: la vida psíquica entendida como función de adaptación al ambiente.

Los estudios de Pávlov sobre reflejos condicionados señalan el comienzo de la teoría del condicionamiento y el inicio de métodos experimentales de estudio de la conducta externa como respuesta a un estímulo. Un área central de estudio en la psicología es cómo los organismos cambian como resultado de la experiencia, esto es, cómo aprenden. Gran parte de la investigación sobre el aprendizaje se ha desarrollado utilizando animales de laboratorio. En el enfoque que más se ha ocupado de las formas elementales del aprendizaje, el conductista, se distinguen dos tipos de condicionamiento: el condicionamiento clásico y el instrumental u operante.

El condicionamiento clásico también se conoce como condicionamiento pavloviano en honor de su descubridor, el fisiólogo ruso Iván Pávlov. Éste demostró que, si un hecho arbitrario, el sonido de una campana, precede regularmente a un hecho biológicamente relevante (la comida de un animal), la campana pasará a ser una señal de comida y el animal salivará al escucharla, preparándose para comer. El comportamiento del animal, por tanto, será una respuesta condicionada al sonido de la campana.

En términos pavlovianos, la unión de un estímulo condicionado (la campana) y uno no condicionado (la comida), supone un aprendizaje. De hecho, parte de la respuesta incondicionada (como el prepararse para comer) es provocada por los estímulos condicionados por sí solos. Del número y la consistencia de los ensayos que unen los estímulos, dependerá la eficacia del aprendizaje. Si, no obstante, se deja de ofrecer la comida, pero sigue sonando la cam-

pana, el animal deja de responder a ella. En otras palabras, si se dejan de asociar estímulo condicionado y no condicionado, la respuesta condicionada se extingue.

En el condicionamiento instrumental u operante, que aplicó B. F. Skinner, el énfasis recae en el comportamiento del animal y en las consecuencias de sus acciones. En general, si a una acción le sigue una recompensa, la acción se repetirá cuando el animal se encuentre en la misma situación. Por ejemplo, si un animal hambriento es recompensado con comida por girar a la derecha en un laberinto simple, tenderá a girar de nuevo a la derecha cuando se encuentre en el laberinto. Si la recompensa cesa, aparecerán otros tipos de comportamientos. Estos dos tipos de investigación con animales tratan de los aspectos más elementales de la experiencia del aprendizaje. En el condicionamiento clásico, la atención recae en la importancia de la asociación del estímulo condicionado y del no condicionado; en el instrumental u operante, recae en la asociación de respuesta y esfuerzo de la conducta. Dicho de otro modo, el primero se ocupa de qué clase de fenómenos aparecen juntos en el proceso de aprendizaje, mientras que el segundo trata de las consecuencias de las acciones. La mayoría de las situaciones reales de aprendizaje tienen, de hecho, características clásicas y operantes.

El conductismo de John B. Watson[41] representa la redefinición de la psicología como ciencia de la conducta y la exclusión de todo método que no sea la directa observación de la conducta externa; desaparecen de la psicología no sólo los términos de «conciencia», «introspección» o «voluntad», sino también «sensación», «percepción», «imaginación», etc. Las investigaciones se desplazan hacia el estudio del aprendizaje de conductas nuevas.

41. John Broadus Watson (1878-1958), psicólogo estadounidense, nacido en Greenville, Carolina del Sur, y formado en las universidades Furman y Chicago. Fue profesor y director del laboratorio de Psicología de la Universidad Johns Hopkins de 1908 a 1920. Se le reconoce como fundador y principal representante del conductismo, que reducía la psicología al estudio del comportamiento externo observable objetivamente y a su explicación en términos de estímulo-respuesta. Sus escritos incluyen, entre otros, *Educación animal* (1903), *Conducta, una introducción a la psicología comparativa* (1914), *El conductismo* (1925) y *El cuidado psicológico del niño pequeño* (1928).

Las teorías del conductismo de primera hora ya no están vigentes en la psicología actual. En su lugar surgen las nuevas teorías del neoconductismo de Edwin R. Guthrie (1886-1959) (aprendizaje por contigüidad), de Clark L. Hull (1884-1952) (expuesto en forma hipotético-deductiva), de B. Frederick Skinner (1904-1990) (conductismo inductivo en forma pura) y Edward C. Tolmann (1886-1959) (con introducción de aspectos cognitivos e intencionales, o conductismo intencionado).

La psicología de la Gestalt fue la segunda reacción en contra del estructuralismo y del asociacionismo de Wundt. Nacida de la tradición fenomenológica alemana, del positivismo de Ernst Mach y del funcionalismo de Karl Bühler (1879-1963) y, a través de éste, del funcionalismo americano, tiene sus iniciadores en Max Wertheimer (1880-1943), Kurt Koffka (1886-1941) y Wolfgang Köhler (1887-1967), quienes, si bien volvieron al análisis de las experiencias subjetivas del individuo, no lo centraron en el conocimiento de los elementos sino en la percepción de las totalidades. Los estudios empíricos que llevaron a cabo para investigar la percepción y, en concreto, los fenómenos visuales de la percepción, son notables y muy conocidos. En la teoría del aprendizaje insistieron en la importancia de la «comprensión», o visión del conjunto del problema.

La tercera de las reacciones nace de la práctica terapéutica de los enfermos mentales, como doctrina sobre el inconsciente. Las influencias que recibe Freud[42], fundador del psicoanálisis, son muchas

42. Sigmund Salomon Freud, médico neurólogo, inventor del psicoanálisis, nació en Freiberg (Moravia) en 1856. Fue el primer hijo del segundo matrimonio de su padre, Jakob, un comerciante en lanas judío. Se trasladó con su familia a Viena en el 1859 donde vivió hasta 1938, momento en que se exilió a Londres huyendo de la persecución nazi. Entre 1860 y 1872 realizó los estudios primarios y secundarios, interesándose más por las relaciones humanas que por los estudios científicos. Desde su juventud, escribe Freud, «se convirtió en predominante en mí la exigencia de comprender en cierta medida los enigmas del mundo que nos rodea (...) Me pareció entonces que el mejor camino para satisfacer esta exigencia era matricularme en la facultad de Medicina». Al finalizar sus estudios universitarios en 1881, continuó sus actividades de estudio e investigación con Ernst W. Brücke, y luego con Theodor H. Meynert (fisiología, hipnosis y neuropatología) y publicó algunos artículos en el boletín de la Academia de Ciencias, cambiando definitivamente su nombre Sigismund por Sigmund. En 1881 obtuvo su título de doctor en Medicina, especiali-

y abarcan desde las teorías evolucionistas, materialistas y mecanicistas de las ciencias naturales de su época hasta supuestos del romanticismo y de la filosofía idealista alemana, en general y, en especial, doctrinas de filósofos como Empédocles, Kant, Schelling, Schopenhauer y Nietzsche. Paradójicamente, Freud hace del inconsciente —no de la conciencia— el objeto más propio de la psicología. Digamos unas palabras en torno a él. He aquí lo que designa su fundador con el nombre de «psicoanálisis»: 1) «Un método para la investigación de procesos anímicos apenas accesibles de otro modo», es decir, un procedimiento de investigación de los procesos psíquicos; 2) «Un método terapéutico de perturbaciones neuróticas, basado en tal investigación», o sea, un método terapéutico en el tratamiento de la neurosis; 3) «Una serie de conocimientos psicológicos así adquiridos, que van constituyendo paulatinamente una nueva disciplina científica», en otras palabras, una serie de conceptos que se reivindicarán como ciencia. Toda la obra freudiana se desa-

zándose en neuropatología. En este período se interesó por los efectos terapéuticos de la cocaína (1884-1885). En 1885 obtuvo la cátedra y le fue otorgada una beca que le permitió seguir los cursos de J. M. Charcot en la clínica La Salpetrière de París. Charcot, psicopatólogo y director de la misma, se ocupaba a la sazón en el estudio de la histeria, que entonces se curaba por medio de la hipnosis. Los efectos espectaculares de este tratamiento, que afectaba a las capas profundas del psiquismo de los enfermos, le orientan hacia el descubrimiento del inconsciente. Casado en 1886 con Martha Bernays, tuvo que renunciar a la carrera universitaria y ganarse la vida como médico en su consulta privada y como director del servicio de Neurología de la clínica de «Niños Enfermos», pero continúa sus investigaciones sobre las causas psíquicas de la histeria. Freud abrió una consulta privada para el tratamiento de las enfermedades nerviosas. Fue decisivo el encuentro que tuvo lugar entonces con Josef Breuer (1842-1925), quien le indujo a utilizar la hipnosis no sólo como instrumento de inhibición de los síntomas, sino también como método para descubrir «el motivo y el significado de los síntomas histéricos». Según Breuer, el síntoma tenía su origen en una obstrucción afectiva en la que una acumulación de energías psíquicas —utilizadas normalmente de una manera distinta— se transformaba y se empleaba en la producción del síntoma histérico. La terapia (método catártico) consistía en conducir esta acumulación de energías hacia una «descarga adecuada» (abreacción). Freud publicó en 1895, junto con Josef Breuer, *Estudios sobre la histeria*, cuya base es el famoso caso de una histérica llamada «*Ana O.*» Después de haber sufrido durante quince años un cáncer de mandíbula y tras numerosas operaciones, Freud muere el 23 de septiembre de 1939 en Maresfieds Gardens, un año después de su exilio forzado a Londres por la invasión nazi de Austria (11 de marzo de 1938), de donde consiguió huir con su mujer y su hija Anna.

rrolla a partir de estas tres vías, no cesando de evolucionar en contraste permanente con el material clínico, adquirido a través de sus pacientes y como resultado de su autoanálisis, iniciado en 1897.

Es decir, Freud elaboró el psicoanálisis como un procedimiento para el diagnóstico y tratamiento de ciertas neurosis. El psicoanálisis es, por de pronto, un método, y además es una doctrina relativa a la naturaleza del ser humano. Pero el psicoanálisis es también una filosofía, o si se prefiere, una ciencia de la cultura. No importa que su fundador no lo declarase explícitamente. Sus comentaristas lo reconocieron desde el primer momento. Los seguidores de la dirección culturalista del psicoanálisis (K. Horney, H. S. Sullivan y E. Fromm, p. ej.), defienden esta significación, aparte del hecho de la indudable influencia de las ideas de Freud en las más variadas facetas del pensamiento y el arte contemporáneos. *Tótem y tabú* y *El porvenir de una ilusión* son, entre los ensayos de Freud, testimonio claro de este empeño.

El caso de Anna O. (Bertha Pappenheim), tratada por Breuer en 1880-1882, se presenta como el acta fundacional de la clínica analítica. Si las «histéricas sufren esencialmente de reminiscencias», como establece en sus *Estudios*, el método terapéutico ha de desvelar el trauma que ocasiona el síntoma mediante preguntas al paciente o el mecanismo de la libre asociación. «La paciente sufría de parálisis histérica en un brazo. En el estado hipnótico se puso en claro que la parálisis estaba relacionada con un recuerdo específico. La muchacha estaba al cuidado de su padre, el cual desgraciadamente cayó enfermo. Una noche, mientras esperaba sentada al lado del lecho la llegada de un especialista de una ciudad lejana, se adormeció, al parecer, con el brazo colocado en el respaldo de la silla. En el sopor tuvo un sueño o la alucinación de que una culebra salía de la pared y amenazaba a su padre. Trató de alcanzarla y entonces le pareció que su brazo era la culebra. Cuando se despertó por completo, se le quedó el brazo paralizado. Breuer concluyó que éste era el recuerdo que después parecía expresarse en la paralización del brazo, porque después de recordarlo desapareció la parálisis»[43].

43. THOMPSON, C.: *El Psicoanálisis*, Fondo de Cultura Económica, México, 1971, p. 85.

La ausencia de causas orgánicas había inducido a Breuer a diagnosticar como histeria el caso «Ana O.» Freud y Breuer lo estudiaron de nuevo y publicaron sus experiencias con una teoría original basada en el exclusivo origen psíquico de esta enfermedad, a la vez que defendieron el efecto terapéutico de la catarsis. Pero se reveló además un hecho de la máxima significación, por ser causa del nacimiento del psicoanálisis como técnica, a saber: dificultades eventuales en la inducción del estado hipnótico desencadenaron, de manera espontánea e imprevista, el relato de ciertos acontecimientos olvidados, cuya evocación produjo en la paciente la desaparición de su parálisis histérica. El estudio de la histeria lleva a Freud a comprender —y este es un gran descubrimiento— que existen *procesos inconscientes* que provocan los síntomas histéricos; y que si el enfermo llega a tomar conciencia de ellos con ayuda de la hipnosis, puede llegar a curarse.

Sin embargo, Freud se separa pronto de Breuer porque se da cuenta de que la hipnosis no es un buen método de curación: no siempre cura, y no puede ser empleada con todos los enfermos. Freud emplea, entonces, otro método para hacer conscientes los recuerdos traumatizantes: el enfermo debe comenzar a hablar a partir de una imagen que se le ofrece e ir asociando libremente sus pensamientos, de tal modo que llegue así a extraer los recuerdos que se buscan. Pero, al emplear este método, Freud se encuentra con que el paciente se resiste con frecuencia a continuar: hay cosas que «no puede decir» (y empieza a dejar las sesiones o a engañar al médico). Freud descubre así el elemento clave de su método: el «yo» se defiende contra algo, en el sujeto hay una fuerza de *represión* contra los recuerdos inconscientes.

La represión es el segundo gran descubrimiento de Freud: hay impulsos reprimidos en el interior del hombre y que, por tanto, están como sumergidos en el «inconsciente». Lo reprimido pugna por salir (el inconsciente es, por tanto, dinámico, activo), pero no puede hacerlo debido a la barrera de la represión. Entonces se manifiesta mediante *síntomas neuróticos*: angustia, fobias, síntomas histéricos, obsesiones, ideas fijas, etc. Así se explican las neurosis: la represión es su causa. La represión de impulsos puede ser, y es a menudo, causa de neurosis. Pero los impulsos y, especialmente la libido, pueden ser «canalizados» y «sublimados», dando lugar a grandes creaciones culturales.

La ruptura con Breuer se realiza también como consecuencia de la etiología sexual de la neurosis planteada por Freud. La importancia de la sexualidad como causa material de la neurosis y, sobre todo, como puesta en escena de la representación de «los fantasmas del deseo» encaminan a Freud hacia uno de sus principales descubrimientos: el complejo de Edipo. Complejo nuclear del inconsciente que se constituye por un conflicto de sentimientos, originados por la intervención del padre en la relación del niño con la madre. Iniciando, de esta manera, el descubrimiento del inconsciente, Freud es relegado de la vida académica y de la sociedad científica, contando tan sólo con la ayuda de su amigo médico Wilhelm Fliess, con quien mantiene una extensa correspondencia entre 1887 y 1914. La elaboración de una metapsicología, término con el que alude a los procesos que conducen a un «más allá» de la conciencia, marca la dinámica de la investigación psicoanalítica y permite distinguir las fases de la obra freudiana y sus escritos más representativos. El primer período corresponde a la constitución del edificio metapsicológico a través del estudio de las formaciones del inconsciente que se estructuran alrededor del concepto de represión y la teoría de la libido. Así surge una ampliación del campo de indagación que abarcará *La interpretación de los sueños* (1901), *Psicopatología de la vida cotidiana* (1901), la dimensión sexual de la existencia en *Tres contribuciones a la teoría sexual*, (1905) y *El chiste y su relación con el inconsciente* (1905). A través de estos estudios, Freud fue precisando gradualmente los conceptos fundamentales del psicoanálisis: pulsión, represión, inconsciente, sueño, duelo y melancolía, la sistematización teórica y metapsicología. Son los años de la victoria sobre las «resistencias al psicoanálisis».

La interpretación de los sueños[44], es una breve obra que comienza revisando las diferentes teorías que han sido sucesivamente propuestas para dar cuenta de los sueños. Los antiguos los interpretaban como un mensaje divino al cual daban valor premonitorio. La fisiología ha hecho de ellos un simple desarreglo de las funciones psíquicas. Freud afirma aquí que el sueño, lejos de ser un fenó-

44. FREUD, S.S.: *Über den Traum*, 1901; trad. esp.: *Los sueños*, Tecnos, Madrid, 1988.

meno absurdo y sin importancia, tiene un sentido, pero que este sentido no puede ser descubierto, como pretende la sabiduría popular, por una simple traducción de símbolos. El sueño, «vía real que nos conduce al inconsciente», debe ser entendido como la realización simbólica de deseos rechazados en el inconsciente durante la vida diurna. Para explicar el carácter aparentemente absurdo del sueño, Freud introduce la distinción entre «contenido latente y contenido manifiesto». El contenido latente designa el deseo mismo que ha logrado expresarse simbólicamente en las imágenes del sueño (contenido manifiesto). El sueño aparece entonces como el compromiso entre la voluntad del sujeto que desea dormir y el deseo que busca escapar a la censura para realizarse. El «trabajo del sueño» designa los diferentes mecanismos utilizados por la censura para hacer irreconocible el deseo rechazado. Entre estos mecanismos de enmascaramiento del contenido latente del sueño, se encuentran la simbolización, la conversión en su contrario, el desplazamiento, el rechazo, la condensación. El estudio de los sueños tiene una importancia primordial en la práctica analítica. Son los sueños los que desvelan los conflictos inconscientes y permiten descubrir su origen infantil. El mismo Freud ha reconocido deber los más grandes descubrimientos psicoanalíticos al análisis de sus propios sueños.

En *La interpretación de los sueños*, Freud no exalta una vertiente nocturna e inconsciente de la vida contra la razón y la conciencia (como harían las «filosofías de la vida» y las corrientes irracionalistas del siglo XX), sino que descubre y acentúa el hecho de que no existe una manifestación «pura» del pensamiento, de que en todos los actos humanos significativos —en el síntoma de los neuróticos, en el sueño y en el delirio, al igual que en las más elevadas manifestaciones del pensamiento— intervienen muchas fuerzas, motivaciones e impulsos que, por lo general, permanecen ignorados. La nueva ciencia del sujeto, el psicoanálisis, debe precisamente describir aquello que no se conoce, pero que, sin embargo, determina nuestras conductas afectivas, intelectuales y sociales. En esta obra, Freud descubre la lógica y los mecanismos del trabajo onírico (condensación, desplazamiento, censura) y el principio de placer que los regula y los dirige. De todo ello extrae un auténtico modelo de acceso al inconsciente que podrá extenderse también a otras manifestaciones psíquicas. En su ensayo *Psicopa-*

tología de la vida cotidiana[45], muestra Freud que los actos fallidos, los lapsus, no son simplemente el resultado de un funcionamiento defectuoso del mecanismo psíquico, sino que son actos psíquicos completos cuyo estudio puede tener una dimensión profunda. El autor interpreta en efecto los actos fallidos como compromisos resultantes de la concurrencia de dos tendencias o intenciones, una manifiesta y otra latente. A través del acto fallido, el individuo resuelve ese conflicto expresando bajo un aspecto deformado la tendencia latente.

En este período rompe su trabajo en solitario y, por sugerencia de Wilhelm Stekel (analizado por Freud), invita a Adler, Kahane, Restler y Stekel a reunirse en su casa para discutir su trabajo. Nace así (1902) la primera sociedad de psicoanálisis, «el círculo vienés», que pronto se extiende internacionalmente (1910). Las primeras disidencias aparecen en 1911 con Jung y, un año más tarde, con Adler, tal y como explica Freud en *Para una historia del movimiento psicoanalítico* (1914). Frecuentemente se han enfatizado las constantes disidencias entre los seguidores de Freud, aspecto que no debe trivializarse. Así, Breuer y Freud eran médicos, y juntos publicaron, como se dijo más arriba, los dos primeros trabajos, cuyos títulos —*Sobre los mecanismos psíquicos de la histeria* y *Estudios sobre la histeria*— son bien elocuentes. Sin embargo, un año más tarde se separaron. Esta primera disidencia es muy significativa. Freud trabajó solo durante casi diez años. El proselitismo activo lo inicia un médico «tratado» por él. Entre los seguidores de Freud ya hay médicos y no médicos. De entre ellos destaca Otto Rank, exalumno de la Escuela de Artes y Oficios. Freud le aconseja que se dedique a las aplicaciones no médicas del psicoanálisis. Pero algún tiempo más tarde, por causa de Rank, se produce el primer problema de competencia profesional: se le demanda por tratar enfermos sin ser médico, y Freud le apoya.

El psicoanálisis se va convirtiendo en movimiento y se acentúa la reacción desfavorable en los círculos profesionales. Entre 1906 y 1907 los psiquiatras suizos Bleuer y Jung se interesan por el psicoa-

45. Ídem: *Zur Psychopathologie des Alltagslebens*, 1901; trad. esp.: *Psicopatología de la vida cotidiana*, en «Obras completas», vol. III, Biblioteca Nueva, Madrid, 1969.

nálisis. Se crea la Asociación Psicoanalítica Internacional, y Freud apoya la elección del segundo para la presidencia en 1910. Tres años más tarde, y a pesar de ser reelegido, Jung rompió con Freud y se separó del psicoanálisis. Poco antes lo había hecho también Adler. Ambas disidencias originaron escuelas propias.

También se separó de Freud, cuando estudiaba aún en Viena, Jacob Levi Moreno. Hay con respecto a Moreno discusiones acerca de si debe poco o mucho al psicoanálisis freudiano, pero es muy común referirse a él dentro de una amplia historia del psicoanálisis. Moreno fue uno de los primeros iniciadores y promotores del psicoanálisis de grupo o psicoterapia colectiva. En 1923 creó el llamado «psicodrama». *Grosso modo*, consiste en dejar que varios individuos, o grupos de individuos, se reúnan en un recinto comparable a un «escenario» y den rienda suelta a sus impulsos espontáneos —que son, según Moreno, «el ámbito de sí mismos»— no solamente por medio de actos verbales, sino también, y especialmente, por medio de «actuaciones».

Paralelamente a estas rupturas, se produce también un cambio en la teoría metapsicológica con la *Introducción del narcisismo* (1914) y la aplicación de la teoría psicoanalítica al estudio de las ciencias del espíritu. La *Introducción al narcisismo* supone un cambio fundamental en la tópica del yo y en la concepción de la libido. Al hablar de una elección de objeto de tipo narcisista, Freud introduce el concepto de narcisismo primario y señala la constitución de un ideal del yo que actuará como censor. Estos cambios se formulan en los ensayos escritos entre 1915 y 1916, agrupados bajo el nombre de *Metapsicología*: *Las pulsiones y sus destinos*, *La represión* y *El inconsciente*, textos que se complementan con una revisión de *La interpretación de los sueños* y con un estudio sobre *Duelo y melancolía*.

Con la publicación de *Tótem y Tabú*[46], Freud trata de interpretar los componentes de la vida social y cultural aplicando los datos del psicoanálisis. Estableciendo un paralelismo entre la vida psíquica de los pueblos primitivos y la vida de los neuróticos, explicará el origen del tabú del incesto y del totemismo, como coincidentes con

46. Ídem: *Totem und Tabu*, 1913; trad. esp.: *Tótem y tabú*, en «Obras completas», vol. V, Biblioteca Nueva, 1972.

las prohibiciones edípicas. Así, Freud ve el tótem —el animal u objeto en el que el clan reconoce a la vez su ancestro y su genio tutelar— una persistencia del «temor al incesto», que en el neurótico se convierte en una verdadera fobia. Todo sistema totémico prohíbe, en efecto, casarse entre sí a los miembros de un mismo grupo (ley de la exogamia). De la misma manera, se puede relacionar el tabú, que inspira a los polinesios un «terror sagrado», con las prohibiciones de origen sexual que el individuo que padece neurosis obsesiva se impone a sí mismo.

Según Freud, la universalidad del complejo de Edipo mostraría que las tendencias incestuosas son uno de los impulsos más arraigados en la humanidad, de donde provendría el carácter ambivalente que presenta, propio de todo tabú: deseo y represión. Freud, basándose en conjeturas de Darwin relativas al estado primitivo del hombre, en los estudios de Atkinson sobre el sistema patriarcal y de W. Robertson Smith sobre las prácticas de sacrificios y el banquete totémico, afirma que el tabú del incesto procedería del asesinato del Padre, varón poderoso que dominaba el clan, que monopolizaba todas las mujeres, madres e hijas, y que separaba los jóvenes que habían madurado sexualmente para impedir que compartieran las mujeres del grupo. Procedería, pues, de un parricidio inicial. Los hermanos expulsados, hijos del mismo padre monopolizador de las mujeres, juntaron sus esfuerzos, le asesinaron y devoraron y, de esta manera, pusieron fin a la horda paterna.

Pero, una vez muerto, apareció la ambivalencia que les guiaba (ambivalencia que se presenta también en todo tabú, que es, simultáneamente, sagrado e impuro): odiaban al padre a la vez que le amaban y, después de su desaparición, se impuso el reconocimiento de su superioridad y el respeto, con lo que, en lugar de repartirse las mujeres, que era su motivación inicial, decidieron seguir manteniendo la voluntad del padre asesinado, obedeciéndolo después de su muerte. En consecuencia hicieron un solemne pacto de no tocar ninguna de las mujeres del padre y aparearse con mujeres procedentes de otras familias. La prohibición de matar al padre y realizar el coito con la madre aparecen conjuntamente en los dos crímenes de Edipo, «y con los deseos primitivos del niño, cuyo renacimiento o insuficiente represión forman quizá el nódulo de todas las neurosis», con lo que muestra la relación existente entre el

tabú del incesto y el complejo de Edipo[47]. En las manifestaciones de ese sentimiento de culpabilidad encuentra Freud, pues, los dos deseos reprimidos del complejo de Edipo: matar al progenitor del mismo sexo y poseer al del sexo opuesto. Para el autor, este sentimiento ambivalente respecto al padre de la horda (temor mezclado de admiración) se ha perpetuado a través de todas las religiones. El primer parricidio es, a los ojos de Freud, «el gran acontecimiento que abrió el camino a la civilización y que no ha cesado de atormentar a la humanidad desde entonces». En *Moisés y la religión monoteísta* profundiza en esta misma tesis:

> «Para poder vivir unidos en paz, los hermanos victoriosos renunciaron a las mujeres, a las mismas por las cuales habían matado al padre, y aceptaron someterse a la exogamia. El poder del padre estaba destruido; la familia se organizó de acuerdo con el sistema matriarcal. La actitud afectiva ambivalente de los hijos hacia el padre se mantuvo en vigencia durante toda la evolución posterior. En lugar del padre se erigió determinado animal como tótem, aceptándolo como antecesor colectivo y como genio tutelar; nadie podía dañarlo o matarlo; pero una vez al año toda la comunidad masculina se reunía en un banquete, en el que el tótem, hasta entonces reverenciado, era despedazado y comido en común. A nadie se le permitía abstenerse de este banquete, que representaba la repetición solemne del parricidio, origen del orden social, de las leyes morales y de la religión»[48].

Los elementos esenciales de este proceso se repiten en la evolución abreviada del individuo humano. También aquí es la autoridad parental, especialmente la del todopoderoso padre con su amenazante poder punitivo, la que induce al niño a las renuncias instintuales, la que establece qué le está permitido y qué vedado: «Lo que en el niño se llama "bueno" o "malo" se llamará más tarde, una vez que la sociedad y el super-yo hayan ocupado el lugar de los padres, el bien o el mal, virtud o pecado; pero no por ello habrá dejado de ser lo que antes era: renuncia a los instintos bajo la presión de la autoridad que sustituye al padre y que lo continúa»[49].

47. Cfr. ibídem, cap. IV.

48. Ídem: *Moisés y la religión monoteísta*, en «Obras completas», Biblioteca Nueva, Madrid 1968, vol. III, p.188.

49. Ibídem, vol. III, p. 271.

Con la publicación de *Más allá del principio del placer* (1920) se produce la reorganización definitiva de la metapsicología. Este «más allá» de los procesos inconscientes formulados por Freud se extiende también al campo de las pulsiones, base sobre la que construye su teoría. Pero además, en *Más allá del principio del placer*, a través del análisis de las neurosis traumáticas, descubre Freud una compulsión a la repetición que no puede atribuirse al principio de placer y que remite —más allá de éste— a un impulso hacia el estado originario de la materia: la pulsión de muerte. Por lo tanto, el conflicto psíquico es planteado a partir de entonces como un conflicto originario entre *Eros* y *Thanatos*, las fuerzas de la vida y el movimiento, y las fuerzas de la inercia y de la muerte.

Con *Más allá del principio del placer* comienza en sentido estricto una nueva fase de descubrimientos que ponen en tela de juicio todo lo que hasta entonces había afirmado. A un nivel más específicamente analítico, a partir de 1920, Freud lleva a cabo una definición del sujeto. En el interior de éste ya no tenemos una oposición entre instancias conscientes e inconscientes, con la mediación del preconsciente. Si no que el yo, el ello y el superyó (formaciones en las que se entremezclan niveles conscientes e inconscientes) se disputan el espacio del sujeto. Esta revisión se expresa también en la formulación de una nueva tópica del psiquismo humano. Sus fronteras se han difuminado. A menudo, las zonas que abarcan son indefinidas y cambiantes. En *El Yo y el ello* (1923) el eje del conflicto no se establece entre el consciente y el inconsciente, sino entre el yo y lo reprimido, así separado del yo. En el plano estructural, lo reprimido y lo inconsciente ya no están asimilados. Al yo se le opone una instancia pulsional inconsciente, el Ello, y un ideal del yo o superyó, instancia de la represión de donde procede el sentimiento de culpabilidad. Le corresponde al individuo la tarea de emprender un trabajo largo y fatigoso (interminable) para anexionar al yo los territorios del ello, resistiéndose al prepotente acoso del superyó. En efecto, «lo que era ello debe convertirse en yo»[50]. El sujeto se construye precisamente a través de este trabajo,

50. Cfr. ídem: *Vorlesungen zur Einführung in die Psychoanalyse*, 1917; trad. esp.: *Lecciones introductorias al psicoanálisis*, en «Obras completas», vol. VI, Biblioteca Nueva, Madrid, 1972, 31ª lección.

tan interminable como el trabajo analítico (*Análisis terminable e interminable*, 1937).

Freud dedicó los últimos años de su vida a realizar una serie de estudios sobre la civilización, la religión y la historia. En éstos, más que una aplicación del psicoanálisis a campos extra-analíticos, se encuentra más bien un replanteamiento de grandes cuestiones filosóficas en el interior de este nuevo horizonte epistemológico. Las últimas *Lecciones de introducción al psicoanálisis*, *El porvenir de una ilusión*, *El malestar de la cultura* y *Moisés y la religión monoteísta* constituyen, en palabras del propio Freud, «el triunfo de mi existencia», es decir, el retorno, «después de una larguísima y tortuosa desviación» constituida por la orientación terapéutica, a la «orientación de mis comienzos». Por lo tanto, el análisis no será engullido por la medicina para ocupar un lugar en los manuales de psiquiatría, en el capítulo dedicado a las terapias. Freud introduce el punto de vista del objeto en la psicología social y renueva sus perspectivas al analizar aquel aspecto del deseo que sostiene el imaginario colectivo. *El porvenir de una ilusión* y *El malestar en la cultura* representan las obras que culminan su teoría de la cultura, entendida como proceso de civilización. La religión se analiza, con relación a este proceso y por sus propios contenidos, como prolongación de las ilusiones más arcaicas, expresión de unos deseos infantiles proyectados en la vida adulta.

El porvenir de una ilusión[51] sostiene la tesis de que el sentimiento religioso procede de una ilusión que arraiga en los deseos inconscientes del hombre. La función primordial de la religión es una función consoladora frente a la «dureza de la vida». El hombre está, en efecto, condenado a afrontar la angustia y el sufrimiento, a anticipar su propia muerte; por ello, busca el apoyo de una ilusión que le ayude a sobrevivir. La religión le ofrece efectivamente la posibilidad de realizar esos deseos inconscientes que le remiten al estado de desamparo e indigencia que caracteriza a la infancia (deseo de ser amado y protegido). El consuelo que aportan las ideas religiosas supone así la reactivación de la figura protectora y consola-

51. Ídem: *Die Zukunft einer Illusion*, 1927; trad. esp.: *El porvenir de una ilusión*, en *Obras Completas*, vol. VIII, Biblioteca Nueva, Madrid, 1974.

dora por excelencia, la imagen del padre, pues el adulto no puede nunca superar totalmente al niño que ha sido: «Esas ideas, que pretenden ser dogmas (...), son ilusiones, la realización de los deseos más profundos, más fuertes y más apremiantes de la humanidad; el secreto de su fuerza radica en la fuerza de esos deseos. Lo sabemos ya: la impresión terrorífica del desamparo infantil había despertado la necesidad de ser protegido: el ser amado; una necesidad que el padre ha satisfecho». Mientras dura su vida, el hombre sigue ligado a ese deseo de ser protegido por una figura tan poderosa como acogedora; por ello, se forja a los dioses a imagen del padre. Mediante la ilusión religiosa intenta sustituir lo trágico de la existencia por una imaginaria reconciliación con su condición real.

Freud distingue aquí claramente la ilusión del error. El error depende de la lógica, mientras que la ilusión brota de la afectividad. El error no supone, al contrario que la ilusión, una ruptura con lo real. Si el error puede ser rectificado, la ilusión que, a semejanza del sueño, realiza un deseo inconsciente, permanece indiferente a la realidad. Por ello, jamás es desmentida. La ilusión obedece, en efecto, a una necesidad de orden afectivo: «Así, llamamos *ilusión* a una creencia cuando en su motivación prevalece la realización de un deseo, sin que al hacerlo tengamos en cuenta las relaciones de esta creencia con la realidad, al igual que la ilusión misma renuncia a ser confirmada por lo real».

Se puede considerar *El malestar en la cultura*[52] como una suerte de alegato para persuadir de la hipótesis —que Freud consideraba, por lo demás, como «especulativa»— del famoso dualismo *Eros-Thanatos*. Pero jamás es presentado aquí *Thanatos* en tanto que tal; es la agresividad, aliada de las pulsiones eróticas y de las pulsiones de muerte lo que constituye el eje central del libro. Así, la cultura, tomada como la suma de las instituciones surgidas del proceso de civilización (el matrimonio, la religión, la moral, la política, etc.) es presa de un malestar profundo y permanente, efecto de la represión social de las pulsiones. Para Freud, es el mismo proceso de civilización el que lleva en sí los gérmenes de este males-

52. Ídem: *Das Unbehagen in der Kultur*, 1929; trad. esp.: *El malestar de la cultura*, en «Obras completas», vol. VIII, Biblioteca Nueva, Madrid, 1974.

tar. Porque la civilización transforma las pulsiones de los hombres en aspiraciones (sociales, culturales, intelectuales) que no les permite satisfacer. De aquí un sentimiento de frustración, de decepción, de malestar que es común a todos los hombres.

Un examen del psicoanálisis implica un estudio profundo de su triple vertiente: como método diagnóstico y terapéutico, como ciencia sobre el hombre y como filosofía de la cultura. Veamos el primer aspecto. ¿Cómo se explica su prestigio como método terapéutico? Sin afán de exhaustividad, hemos de tener en cuenta que, en la década de los cincuenta, algunos psiquiatras clínicos recomendaban a sus pacientes el psicoanálisis como uno de los procedimientos que podrían aliviar sus sufrimientos morales, dada la inexistencia de sustancias farmacológicas que actuasen específicamente sobre los trastornos mentales. Entonces como hoy, los psicoanalistas seleccionaban a sus pacientes, alegando que no todos respondían igual a su tratamiento. Pero ni siquiera ese fácil y prefabricado éxito terapéutico puede exhibir el psicoanálisis, a juzgar por los resultados obtenidos y comunicados por Eysenck[53]. El estudio riguroso de la evolución clínica y terapéutica experimentada por los enfermos neuróticos que frecuentaban el tratamiento psicoanalítico entre 1952 y 1965, le permitió a Eysenck establecer, entre otras, las siguientes conclusiones:

1. Si se compara el efecto terapéutico en los neuróticos tratados con psicoterapia y en los neuróticos que no han recibido ningún tratamiento, se observa que en ambos grupos se curan aproximadamente igual número de pacientes. 2. Hay las mismas posibilidades de que el soldado que ha sufrido una crisis neurótica pueda incorporarse al servicio, tanto si ha estado sometido a psicoterapia como si no. 3. Cuando los soldados neuróticos son separados del servicio, sus posibilidades de recobrarse no resultan afectadas por el hecho de que hayan recibido o no psicoterapia. 4. Entre los ciudadanos

53. Hans Jurgen Eysenck (1916-1996), psicólogo británico de origen alemán, desarrolló toda su actividad profesional como psicólogo en Londres, entre 1942 y 1945 en el Mill Hill Emergency Hospital, y desde 1945 en el Maudsley Hospital de la Universidad de Londres. Ha sido lector y director de la Unidad de Psicología del Instituto de Psiquiatría (1950-1955), catedrático de Psicología (1955-1984) y profesor emérito.

neuróticos tratados con psicoterapia se recuperan o experimentan mejoría hasta un cierto nivel, aproximadamente una proporción igual al de los neuróticos que no han recibido ninguna psicoterapia. 5. Los niños que sufren desórdenes emocionales y son tratados con psicoterapia se recuperan o experimentan mejorías hasta niveles aproximadamente iguales a los experimentados por niños similares que no reciben psicoterapia. 6. Los pacientes neuróticos tratados con procedimientos psicoterapéuticos basados en teorías comprobadas mejoran significativamente más deprisa que los pacientes tratados con psicoterapia psicoanalítica o ecléctica, o no tratados con psicoterapia en absoluto. 7. Los pacientes tratados con psicoterapia psicoanalítica no mejoran más deprisa que los pacientes tratados con psicoterapia ecléctica y pueden mejorar menos rápidamente cuando se tiene en cuenta la amplia proporción de pacientes que abandonan el tratamiento (aproximadamente el 50 por ciento). 8. Los neuróticos tienden a mejorar sin tratamiento alguno. Después de un período de dos años, algo así como las dos terceras partes han mejorado tanto que se consideran a sí mismos curados o, por lo menos, muy mejorados. 9. Los resultados publicados sobre las investigaciones realizadas con neuróticos civiles y militares, adultos y niños sugieren que los efectos terapéuticos de las psicoterapias son pequeños o inexistentes, y de ninguna manera es demostrable que aporten algo a los efectos no específicos del tratamiento médico rutinario, o a otros eventos que ocurren en la experiencia diaria del paciente [54]. Después de más de ochenta años de experiencia, se ha demostrado que, en general, sus métodos terapéuticos son costosos fracasos, más apropiados para mimar a los desgraciados, que para curar a los enfermos.

¿Qué podemos decir del psicoanálisis en relación con la ciencia? Ciertamente, hay algo de verdad en el psicoanálisis, pero, en conjunto, las teorías de Freud son interpretaciones sin apenas valor científico. Más aún, como el joven Karl Popper observó reiteradamente, la actitud de Freud frente a la prueba científica fue muy distinta a la de Einstein, y más afín a la de Marx. Einstein, lejos de desear confirmar a toda costa sus teorías, sostuvo que bastaría un sólo fracaso en una

54. Cfr. EYSENCK, H.J.: *Decadencia y caída del imperio freudiano*, Ediciones Nuevo Arte Thor, Barcelona, 1988.

predicción para rechazarlas, por lo que anhela someterlas a experimentación, cosa que ocurre con ocasión del experimento de Eddington de 1919; mientras que la teoría psicoanalítica se considera inmune a toda prueba y verificada en todos los casos posibles. Lejos de formular sus teorías con un alto grado de contenido específico que facilitara la comprobación y refutación empíricas, Freud les confirió un carácter global y dificultó la verificación. A semejanza de los partidarios de Marx, cuando se reunían pruebas que aparentemente las refutaban, Freud modificaba las teorías para adaptarlas al nuevo material. De modo que el cuerpo de conceptos freudianos se vio sometido a un proceso permanente de expansión y ósmosis, a semejanza de un sistema religioso en su período formativo.

Si consideramos el psicoanálisis desde el punto de vista de la lógica inductiva, fuerza es constatar que esta teoría está en cierta medida confirmada por los hechos. Más aún: su poder de interpretación parece infinito: cualesquiera que sean los acontecimientos, siempre se encuentra una explicación en el marco interpretativo freudiano. Pero, dice Popper, para las teorías que se tienen por científicas, «la irrefutabilidad no es virtud, sino defecto». El psicoanálisis está fuera de la ciencia, precisamente porque su discurso totalizante no excluye ningún hecho posible y, por tanto, puede dar cuenta de la totalidad de los fenómenos que se producen en los dominios que le son propios:

> «(...) al ocuparnos del "marxismo vulgar" mencionamos ciertas tendencias que pueden observarse en un grupo de filosofías modernas, a saber, la de revelar los móviles ocultos que yacen detrás de nuestras acciones (...) La popularidad de estas concepciones reside, a mi entender, en la facilidad con que pueden aplicarse y en la satisfacción que confieren a aquellos que creen ver a través de las cosas la insensatez de los profanos. Este placer sería inofensivo si no tendiesen todas estas ideas a destruir la base intelectual de la polémica al establecer lo que hemos llamado un "dogmatismo dos veces dogmático". Esto sucede efectivamente (...) con el psicoanálisis: el psicoanalista siempre puede explicar cualquier objeción demostrando que ésta se debe a las represiones del crítico»[55].

55. POPPER, K.: *La sociedad abierta y sus enemigos*, Orbis, Barcelona, 1984, p. 384.

En rigor, una característica común a todas las hipótesis psicoanalíticas es su imposiblidad de ser empíricamente verificadas y falsadas. En tanto que hipótesis, se sitúan más allá de lo empírico —en lo transempírico y metapsicológico— simultáneamente que se reclama para ellas, por quienes son sus partidarios, el mismo estatuto epistemológico que para cualesquiera otras hipótesis que hayan sido formuladas en el ámbito empírico de las ciencias naturales.

Como doctrina acerca de la naturaleza y del comportamiento humano, el psicoanálisis ha sido blanco de críticas virulentas. Un punto especialmente débil es el relativo al complejo de Edipo. En el pensamiento de Freud, éste consiste en un conjunto estructurado de sentimientos de amor y de hostilidad que el niño experimenta hacia sus padres. Es tarea del análisis descubrir sus rasgos específicos. En la forma positiva, el complejo reproduce el mito del rey Edipo: deseo de la muerte del rival del mismo sexo, asociado al deseo sexual por el individuo del sexo opuesto; en la forma negativa, la situación triangular es la inversa: amor al progenitor del mismo sexo a la vez que hostilidad y celos por el progenitor del sexo opuesto. El complejo de Edipo, definido como «el complejo nuclear de las neurosis», se desarrolla entre los tres y cinco años; alcanza su *acmé* durante la fase fálica, y declina con el inicio del período de latencia, cuando se forman las instancias del superyó y del ideal del yo. Reprimido en el ello, el complejo de Edipo experimenta una reviviscencia y es superado durante la pubertad (en caso contrario, será el factor patógeno por excelencia en todas las etapas sucesivas de la vida). Freud describió este complejo como una fase más del normal desarrollo psicosexual del varón, de manera que todos los niños se sentirían afectados por él.

El antropólogo británico de origen polaco Bronislaw Malinowski, refutó con datos empíricos la universalidad de tal complejo[56]. En los isleños de Tobriand, a los que estudió, la figura de autoridad no corresponde al padre, sino al hermano de la madre. Este descubrimiento desmiente la universalidad del complejo de Edipo, ya que entre los habitantes de la Melanesia «la disciplina represiva

56. Cfr. MALINOWSKI, B.: *La vida sexual de los salvajes*, Ed. Morata, Madrid, 1975.

no se originaba en el hombre que monopolizaba a la madre del niño, privando así a la relación padre-hijo de los rasgos ambivalentes de amor-odio que Freud había (según él) observado en sus pacientes europeos».

A juicio de Aquilino Polaino, catedrático de Psicopatología en la Universidad Complutense, a las naturales y frecuentes discrepancias familiares que entre padres e hijos suelen darse, les atribuyó Freud una significación mítica y forzadamente sexualizada. El resultado es que se magnificaron estos conflictos en lugar de contribuir a resolverlos, haciendo que los padres se sintieran injustamente culpabilizados y los hijos confundidos ante su propia sexualidad, una vez que ésta había sido harto problematizada por la hermenéutica freudiana[57].

Freud es uno de tantos «liberadores» que niegan la libertad porque dentro de su antropología determinista aquélla no tiene cabida o naufraga en un piélago de instintos, entre los que destaca enormemente el sexual. Casi todas las reacciones psicológicas del hombre nacerían en esa zona instintiva sexual. De modo que, si no es pansexualista la doctrina de Freud, al menos constituye una hipertrofia patológica de lo sexual. En palabras del doctor Polaino:

> «Freud no ha liberado a la humanidad, sino que la ha humillado. Ha pretendido que el hombre no se sienta ya dueño de sus actos. Según Freud, nuestros actos responderían siempre a una motivación inconsciente, de tal manera que no quedaría espacio para la libertad: el hombre de la interpretación freudiana no es más que un autómata instintivo al serivicio de la pulsión sexual, más o menos latente»[58].

Para el profesor Polaino, aunque los partidarios del psicoanálisis consideren a Freud como el liberador de la represión sexual, el hecho es que no sólo no hizo tal cosa, sino algo bien distinto: «(...) intentó comprender la neurosis desde un punto de vista meramente sexual y lo que hizo, en realidad, fue sexualizar la neurosis. Como consecuencia, neurotizó la sexualidad humana. No deja

57. Cfr. POLAINO, A.: «El psicoanálisis, cincuenta años después», *Atlántida*, vol. 1, Madrid, 1990, p. 92.

58. Ibídem, p. 94.

de ser curioso que, cuanto mayor es el contacto de un cliente con las interpretaciones psicoanalíticas —un contacto siempre comprometido, porque exige creer en ellas— más frecuentemente aparecen las neurosis sexuales. ¿Puede llamarse a esto liberación sexual?»[59].

¿Cuál es hoy el legado del psicoanálisis, a los sesenta años de la desaparición de su fundador? ¿Qué vigencia mantiene hoy la doctrina psicoanalítica, tanto a nivel psiquiátrico como a nivel cultural? Es cierto que el lenguaje psicoanalítico ha hecho fortuna en la conversación; que abundan las publicaciones en cuya bibliografía se cita a Freud; que se sigue aplicando el psicoanálisis a otras disciplinas como la antropología, la historia o la pedagogía; que aún existen muchos psicoanalistas que, refugiados en los países no desarrollados, continúan interpretando a sus clientes. De aquí se concluye que el psicoanálisis sigue vivo —aunque casi exclusivamente fuera de los círculos científicos— a los cincuenta años de la muerte de su fundador.

Sin embargo, es forzoso reconocer que el psicoanálisis está en la actualidad en franca decadencia, si nos atenemos a fiables indicadores, como el escaso número de psicoanalistas que ejercen su supuesta función terapéutica en países desarrollados, o al abundante número de publicaciones disponibles que lo descalifican, desde muy diferentes perspectivas (metodológica, científica, terapéutica, psicológica, clínica, etc.). El IV Congreso Mundial de Psiquiatría reunido en Madrid en 1966, podría, con la escueta nómina de sus trabajos, servir de índice: de 31 sesiones plenarias y simposios, sólo uno fue dedicado a aspectos de la terapéutica psicoanalítica, y de los 250 estudios sobre psicoterapia, de entre 800 comunicaciones libres, no llegaron a 20 las encuadrables en el psicoanálisis ortodoxo actual.

«¿Qué podemos, pues, decir de Freud y de su lugar en la historia?» —se pregunta Hans J. Eysenck, profesor de Psicología en la Universidad de Londres, en la última página de su libro *Decadencia y caída del imperio freudiano*. Y contesta de modo corrosivo, pero certero:

59. Ibídem, p. 93.

> «Él fue, sin duda, un genio, no de la ciencia, sino de la propaganda; no de la prueba rigurosa, sino de la persuasión; no del esquema de experimentos, sino del arte literario. Su lugar no se halla, como él pretendía, junto a Copérnico y Darwin, sino junto a Hans Christian Andersen y los hermanos Grimm, autores de cuentos de hadas. Este puede ser un juicio riguroso, pero pienso que el futuro lo respaldará» [60].

No parece excesivo el juicio de Eysenck: «Incluso desde el punto de vista hermenéutico, Freud y el psicoanálisis deben ser considerados un fracaso. No nos queda de él nada más que una interpretación imaginaria de pseudo-acontecimientos, fracasos terapéuticos, teorías ilógicas e inconsistentes, plagios disimulados de sus predecesores, percepciones erróneas de valor no demostrado y un grupo dictatorial e intolerante de seguidores que no insisten en la verdad, sino en la propaganda» [61]. Además, la fascinación que han ejercido las teorías freudianas han apartado a muchos psiquiatras y psicólogos de la investigación auténticamente científica, por lo que estas disciplinas han sufrido un retraso de decenas de años. Sir Peter Brian Medawar, biólogo inglés, premio Nobel de Medicina, considera el psicoanálisis como una corriente afín al *mesmerismo* (doctrina del magnetismo animal y de la terapia basada en la sugestión) y a la *frenología* (doctrina según la cual las facultades psíquicas están localizadas en zonas precisas del cerebro y en correspondencia con los relieves del cráneo). Para Medawar, el psicoanálisis incluye núcleos aislados de verdad, pero la teoría general es falsa. Parece, pues, justificada su valoración: «Considerado en su conjunto, el psicoanálisis no resulta. Es un producto que está acabado, como lo fueron un dinosaurio o un *Zeppelin*; no se puede, ni se podrá jamás erigir una teoría mejor sobre sus ruinas, que permanecerán para siempre como uno de los paisajes más tristes y extraños de la historia del pensamiento del siglo XX» [62].

Tras estas escuelas clásicas de psicología, que pueden considerarse otros tantos nacimientos de la psicología como ciencia autónoma, surgen múltiples psicologías derivadas o mezclas de unas y

60. EYSENCK, H.J.: *Decadencia y caída del imperio freudiano*, op. cit., p. 268.
61. Ibídem, p. 284.
62. MEDAWAR, P., cit. en POLAINO-LORENTE, A.: *Sexo y cultura. Análisis del comportamiento sexual*, op. cit., p. 235.

otras. Una de las más importantes es la psicología humanística, también llamada «tercera fuerza», en una vía intermedia, armónica con las humanidades, entre la visión psicoanalítica del hombre y el método estrictamente científico del conductismo, personalizada en psicólogos como Abraham Maslow, Gordon Allport y Carl Rogers. Importancia especial debe atribuirse al surgimiento de la psicología social, desde los años treinta, a partir de los estudios sobre dinámica de grupos, de Kurt Lewin (1890-1947), del psiquiatra vienés Jacob Levy Moreno (1892-1974), con la introducción del psicodrama, el sociodrama y la sociometría, y el estudio de las *human relations* (relaciones humanas) llevado a cabo por Elton Mayo (1880-1949). No se trata sólo de una especie de psicología aplicada a un nuevo campo, la sociedad, sino que introduce nuevos temas de estudio psicológico —y nuevas metodologías— como son la comunicación, la conducta desviada, el grupo, la dinámica de grupos, el comportamiento de las masas y la comunicación de masas. Entre las corrientes teóricas más recientes, estrictamente psicológicas o bien relacionadas, son importantes el interaccionismo simbólico, el freudomarxismo y el funcionalismo antropológico.

En las últimas décadas, la investigación psicológica ha mostrado una atención creciente por el papel de la cognición en el aprendizaje humano, liberándose de los aspectos más restrictivos de los enfoques conductistas. Se ha hecho hincapié en el papel de la atención, la memoria, la percepción, las pautas de reconocimiento y el uso del lenguaje en el proceso del aprendizaje, y este enfoque ha pasado gradualmente del laboratorio a la práctica terapéutica. Los procesos mentales superiores, como la formación de conceptos y la resolución de problemas, son difíciles de estudiar.

La psicología cognitiva[63] es una de las ramas de la psicología más recientes, cuyo inicio se debe a la fundación, por los psicólo-

63. Psicología cognitiva es la rama de la psicología que forma parte de las ciencias cognitivas. Su objeto de estudio es el procesamiento de información. Parte del supuesto de que los seres humanos, así como los animales superiores y los computadores, son sistemas de procesamiento de información. En oposición al conductismo, sostiene la existencia de estados internos, que identifica con los procesos mentales, entre estímulo y respuesta, que son la causa de la conducta. Estos estados internos se alimentan de información. También se llama psicología com-

gos George Miller y Jerome Bruner, del Harvard Center for Cognitive Studies, en 1960, y a la aparición, en 1967, del primer texto de Psicología cognitiva, escrito por Ulric Neisser. El enfoque más conocido ha sido el del procesamiento de la información, que utiliza la metáfora «computacional» para comparar las operaciones mentales con las informáticas, indagando cómo se codifica la información, cómo se transforma, almacena, recupera y se transmite al exterior, como si el ser humano estuviera diseñado de modo semejante a un ordenador o computadora. La invención del ordenador o computadora digital ha supuesto, no sólo un nuevo enfoque en el planteamiento del estudio de las funciones cognitivas, sino también la herramienta para evaluar complejas teorías sobre estos procesos. Los ordenadores son manipuladores de símbolos, esto es, reciben información codificada (simbólica), la transforman y la utilizan según sus propósitos. Los ingenieros electrónicos trabajan actualmente en el desarrollo de máquinas que realicen tareas complejas como emitir juicios o tomar decisiones. Al mismo tiempo, algunos psicólogos, utilizando equipos informáticos como modelo, intentan analizar la conducta humana comparando la mente con un procesador de información. Aunque el enfoque del procesamiento de información ha resultado muy fructífero para sugerir modelos explicativos del pensamiento humano y la resolución de problemas en situaciones muy definidas, también se ha demostrado que es difícil establecer modelos más generales del funcionamiento de la mente humana siguiendo tales modelos informáticos.

La psicología es hoy un campo con una creciente especialización, fruto de la necesidad y de las nuevas tendencias. Los psicólogos infantiles, por ejemplo, han sido muy influidos por las observaciones y los experimentos del psicólogo suizo Jean Piaget. Por su parte, los psicólogos interesados en el lenguaje y la comunicación han visto muy afectadas sus investigaciones por la revolución lingüística del estadounidense Noam Chomsky. Los avances en el conocimiento del comportamiento animal y la sociobiología han ayu-

putacional. Se distingue, según las diversas metodologías utilizadas para el estudio de los procesos mentales, entre psicología cognitiva clásica y psicología cognitiva conexionista (de *Connectionism*). Jerry Fodor es un destacado psicólogo cognitivo clásico; P. S. Churchland lo es de la psicología conexionista.

dado a extender de forma significativa el interés y las técnicas de investigación de la psicología. Los trabajos etológicos del zoólogo austríaco Konrad Lorenz y del holandés Nikolaas Tinbergen, que estudiaron a los animales en sus hábitats naturales y no en laboratorio, llamaron la atención sobre el carácter único de las especies y determinaron algunos factores claves en la comprensión de su desarrollo conductual.

8.7.2. *Sociología*

Sociología es un término acuñado en 1824 por Auguste Comte[64] y propuesto al público en la XLVII lección de su *Curso de filosofía positiva* (1839), para designar el «estudio positivo del conjunto de las leyes fundamentales propias de los fenómenos sociales» En general, puede definirse como una manera de conocer científicamente lo que se considera como propio de «lo social», recurriendo a procedimientos de análisis del comportamiento humano en sociedad. Justamente, la identificación de en qué consiste aquello que puede llamarse «lo social» señala el nacimiento y primer desarrollo de la sociología como ciencia, en Francia y en Alemania.

Para dar una respuesta a la revolución científica, política e industrial de su tiempo, Comte ofrecía una reorganización intelectual, moral y política del orden social. Adoptar una actitud científica era la clave, así lo pensaba, de cualquier reconstrucción. Afirmaba que del estudio empírico del proceso histórico, en especial de la progresión de diversas ciencias interrelacionadas, se desprendía una ley que denominó de los *tres estadios* y que rige el de-

64. Auguste Comte (1798-1857), filósofo positivista francés y uno de los pioneros de la sociología. Nació en Montpellier el 19 de enero de 1798. Desde muy temprana edad rechazó el catolicismo tradicional y también las doctrinas monárquicas. Logró ingresar en la Escuela Politécnica de París desde 1814 hasta 1816, pero fue expulsado por haber participado en una revuelta estudiantil. Durante algunos años fue secretario particular del teórico socialista Claude Henri de Rouvroy, conde de Saint-Simon, cuya influencia quedará reflejada en algunas de sus obras. Los últimos años del pensador francés quedaron marcados por la alienación mental, las crisis de locura en las que se sumía durante prolongados intervalos de tiempo. Murió en París el 5 de septiembre de 1857.

sarrollo de la humanidad. Analizó estos estadios en su voluminosa obra *Curso de filosofía positiva* (1853). Dada la naturaleza de la mente humana, decía, cada una de las ciencias o ramas del saber debe pasar por «tres estadios teoréticos diferentes: el teológico o estadio ficticio; el metafísico o estadio abstracto; y por último, el científico o positivo». En el estadio teológico, los acontecimientos se explican de un modo muy elemental apelando a la voluntad de los dioses o de un dios. En el estadio metafísico, los fenómenos se explican invocando categorías filosóficas abstractas. El último estadio de esta evolución, el científico o positivo, se empeña en explicar todos los hechos mediante la aclaración material de las causas.

Toda la atención debe centrarse en averiguar cómo se producen los fenómenos, con la intención de llegar a generalizaciones sujetas a su vez a verificaciones observacionales y comprobables. La obra de Comte es considerada como la expresión clásica de la actitud positivista, es decir, la actitud de quien afirma que tan sólo las ciencias empíricas son la adecuada fuente de conocimiento. Cada uno de estos estadios, afirmaba Comte, tiene su correlato en determinadas actitudes políticas. El estadio teológico tiene su reflejo en esas nociones que hablan del Derecho divino de los reyes. El estadio metafísico incluye algunos conceptos tales como el contrato social, la igualdad de las personas o la soberanía popular. El estadio positivo se caracteriza por el análisis científico o «sociológico» (término acuñado por Comte) de la organización política. Bastante crítico con los procedimientos democráticos, Comte anhelaba una sociedad estable gobernada por una minoría de doctos que empleara métodos de la ciencia para resolver los problemas humanos y para imponer las nuevas condiciones sociales.

Aunque rechazaba la creencia en un ser transcendente, reconocía Comte el valor de la religión, pues contribuía a la estabilidad social. En su obra *Sistema de Política Positiva* (1851-1854; 1875-1877), propone una religión de la humanidad que estimulara una benéfica conducta social. La mayor relevancia de Comte, sin embargo, se deriva de su influencia en el desarrollo del positivismo.

La búsqueda de las leyes de los fenómenos sociales, de que habla Comte, se apoya en un principio en un modelo biológico; si el hombre es un organismo, se puede recurrir al modelo de la biología

para estudiar el hombre en sociedad, que se compone de organismos. La idea, no extraña al mismo Comte, cobra auge con las teorías del organicismo que se difunde en Inglaterra, Francia y Alemania por obra, sobre todo, de Herbert Spencer, para quien la sociedad humana es un organismo real; la concepción organicista de la vida social recibe claras influencias del evolucionismo y del darwinismo.

Hoy también se consideran fundadores de esta disciplina a algunos filósofos sociales del siglo XIX que nunca se consideraron sociólogos. El principal entre ellos fue Karl Marx, aunque no hay que olvidar al aristócrata francés conde de Saint-Simon, al escritor y estadista Alexis de Tocqueville y al filósofo y economista inglés John Stuart Mill. Todos ellos fueron grandes pensadores especulativos, como lo fueron Comte y Spencer y sus predecesores en los siglos XVII y XVIII. En el siglo XIX se desarrolló una tradición, bastante diferente, de estadística empírica que posteriormente se incorporó a la sociología académica.

El marxismo también intervino en el nacimiento de la sociología como ciencia. El análisis de la realidad social, a la vez que la respuesta a la crisis de la sociedad, la da el marxismo desde la interpretación materialista de la historia o el materialismo histórico. La sociología, en este caso, se solapa con el marxismo. Éste interpreta la historia como una lucha de clases que pone de manifiesto que la organización social —el vínculo social— depende directamente de las relaciones de producción propias de cada época; en el modo de producción capitalista, estas relaciones reflejan la situación de desigualdad que proviene de la apropiación de los medios de producción por la burguesía. Tales relaciones son conflictivas por naturaleza y se traducen en «lucha de clases»; la historia de la humanidad hasta nuestros días —dice Marx en el *Manifiesto*— no ha sido más que la historia de la lucha de clases.

No obstante, hasta finales del siglo XIX la sociología no comenzó a ser reconocida como disciplina académica. En Francia, la sociología que se desarrolla en torno a estas investigaciones adquiere un carácter preferentemente descriptivo y explicativo de los hechos sociales. La revista *L'Année sociologique*, fundada por Durkheim en 1989, es el medio de publicación de los principales estudios sociológicos de este período, que mantienen cierto nexo

con los estudios de etnología, historia y estadística. Émile Durkheim[65], el heredero intelectual de Saint-Simon y Comte, comenzó a enseñar sociología en las universidades de Burdeos y París. Durkheim, fundador de la primera escuela de pensamiento sociológico, destacaba la realidad independiente de los hechos sociales (independientes de los atributos psicológicos de las personas) e intentaba descubrir las relaciones entre ellos. Durkheim y sus seguidores estudiaron ampliamente las sociedades no industrializadas de forma similar a como más tarde lo harán los antropólogos sociales. Basándose en la distinción entre comunidad y sociedad, hecha por Ferdinand Tönnies en 1887, que establece para cada una de ellas una forma distinta de vinculación entre individuo y sociedad (tradicional y agrícola la primera, basada en vínculos de parentesco y en la participación de idénticos valores, mientras que la segunda, moderna e industrial, remite a una asociación basada en el contrato y en relaciones determinadas por la división de trabajo), Durkheim publica las primeras investigaciones sociológicas con carácter científico, que identifican en la situación de anomia, consecuencia inevitable de los procesos psicológicos que acarrea la división del trabajo en las sociedades modernas, la condición básica de la relación

65. Émile Durkheim (1858-1917), teórico social francés y uno de los pioneros del desarrollo de la sociología moderna. Durkheim nació en Epinal (Francia) en el seno de una familia judía. Se graduó en la École Normale Supérieure de París en 1882 y a continuación trabajó como profesor de Derecho y Filosofía. En 1887 comenzó a enseñar Sociología, primero en la Universidad de Burdeos y después en la de París. Durkheim pensaba que los métodos científicos debían aplicarse al estudio de la sociedad, y creía que los grupos sociales presentaban características que iban más allá o eran diferentes a la suma de las características o conductas de los individuos. También estudió la base de la estabilidad social, es decir, los valores compartidos por una sociedad, como la moralidad y la religión. En su opinión, estos valores (que conformaban la conciencia colectiva) son los vínculos de cohesión que mantienen el orden social. La desaparición de estos valores conduce a una pérdida de estabilidad social o anomia (del griego *anomia*, «sin ley») y a sentimientos de ansiedad e insatisfacción en los individuos. Explicó el fenómeno del suicidio como resultado de una falta de integración del individuo en la sociedad. Durkheim analizó esta correlación en su obra *El suicidio: un estudio sociológico* (1897). Para explicar sus teorías, en sus escritos utilizó a menudo material antropológico, especialmente de sociedades aborígenes. Otros de sus libros son *La división del trabajo social* (1893), *Las reglas del método sociológico* (1895) y *Las formas elementales de la vida religiosa* (1912).

entre individuo y sociedad. Contra el biologismo anterior y contra el psicologismo, protagonizado en Francia por Gabriel Tarde (1843-1904), que interpreta los fenómenos sociales a través de leyes psicológicas propias del grupo, identifica el hecho social como algo *sui generis* y objeto propio de estudio de la sociología, e investiga sobre los métodos propios de esta disciplina.

En Alemania, la sociología fue reconocida formalmente como disciplina académica en la primera década del siglo XX, en gran parte gracias a los esfuerzos del economista e historiador alemán Max Weber[66]. Frente a los intentos por parte de Francia y de los países angloparlantes de modelar la disciplina según las ciencias físicas, la sociología alemana se basó en una amplia erudición histórica modulada por la influencia del marxismo, muy presente en el trabajo de Weber, autor de una síntesis entre historia y sociología fundamentada en Dilthey, Windelband y Rickert y a la que se da el nombre de «sociología comprensiva». El objetivo de la sociología es la comprensión de la acción social, esto es, aquellos hechos producidos por la actividad humana en los que es esencial la intencionalidad. A estos hechos característicamente sociales, o a estas acciones sociales, no se accede si no es a través de la comprensión, única manera de captar, si no sus leyes, su sentido. Los esfuerzos

66. Max Weber (1864-1920), economista y sociólogo alemán, conocido por su análisis sistemático de la historia mundial y del desarrollo de la civilización occidental. Weber nació el 21 de abril de 1864 en Erfurt, y estudió en las universidades de Heidelberg, Berlín, y Gotinga. Letrado en Berlín (1893), fue más tarde profesor de Economía en las universidades de Friburgo (1894), Heidelberg (1897) y Munich (1919). Fue editor, durante algunos años, del *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik*, periódico alemán de sociología. Queriendo refutar el determinismo económico de la teoría marxista, Weber combinó su interés por la economía con la sociología, en un intento de establecer, a través de un estudio histórico, que la relación causa-efecto histórica no sólo dependía de variables económicas. En una de sus obras más famosas, *Die protestantische Ethik und der Geist des Kapitalismus* (La ética protestante y el espíritu del capitalismo, 1904-1905), intentó demostrar que los valores éticos y religiosos habían ejercido una importante influencia en el desarrollo del capitalismo. Volvió sobre este tema en sus últimos libros, al analizar las religiones asiáticas y afirmar que las ideas religiosas y filosóficas que imperaban en las culturas orientales habían impedido el desarrollo del capitalismo en estas sociedades, a pesar de la existencia de factores económicos favorables para que se produjera dicha evolución.

del filósofo alemán Georg Simmel por definir la sociología como una disciplina independiente subrayaron el enfoque humano del idealismo filosófico alemán. De las investigaciones sociológicas de Weber y de G. Simmel arranca la sociología científica alemana, cuyo órgano principal de difusión es la revista *Archiv für Sozialwissenschaft und Sozialpolitik* (Archivo de Ciencias Sociales y Política Social, 1902).

Las corrientes clásicas de sociología europea pasan a Norteamérica, durante el período de entre guerras, a través de emigraciones masivas de intelectuales europeos y de traducciones de obras, y allí encuentran un ambiente propicio para su difusión, de la que es parcialmente responsable la traducción hecha por Talcott Parsons de *La ética protestante y el espíritu del capitalismo*, de Weber. El centro impulsor de las investigaciones sociológicas americanas es la escuela de Chicago, creada en 1892 como departamento de sociología en la Universidad de Chicago, donde se funden la tradición del empirismo británico y el utilitarismo de Jeremy Bentham con el pragmatismo de William James, Charles S. Peirce y John Dewey. Al ser la ciudad de Chicago un centro importante de inmigración étnicamente muy variada, se convierte en un campo abierto para la investigación sociológica. Albion Small, el fundador del centro sociológico, y Robert Park, su sucesor, fundan una sociología eminentemente urbana, que se caracteriza por su orientación empírica y la adopción de una metodología basada en la observación y en la historia de casos. El filósofo estadounidense George Herbert Mead, formado en Alemania, destacaba en sus trabajos la influencia de la mente, el yo y la sociedad en las acciones e interacciones humanas. Este enfoque (conocido posteriormente como *interaccionismo simbólico*) destacaba ampliamente los aspectos microsociológicos y psicosociales.

La Universidad de Columbia sustituirá estos métodos de investigación más bien cualitativos por otros estrictamente cuantitativos. Esta nueva orientación dispone, a partir de 1935, de un órgano de difusión propio: la revista *The American Sociological Review*. En 1937 el sociólogo estadounidense Talcott Parsons[67] uti-

67. Talcott Parsons (1902-1979) sociólogo norteamericano, nacido en Colorado Springs, Colorado. Profesor en Harvard hasta 1973, de Economía primero y

lizó las ideas de Durkheim, Weber y del sociólogo italiano Vilfredo Pareto en su obra principal *La estructura de la acción social*, ampliando así el enfoque estrecho y limitado de la sociología estadounidense. Esta obra representa la introducción de la noción de *estructura interiorizada* (de los valores y las normas) como fuente de interpretación de la acción social. Más adelante, en 1951, su obra *El sistema social* significa la aplicación del funcionalismo de Malinowski a la sociología. Por su parte, el sociólogo estadounidense Robert Merton, profesor de la Universidad de Columbia, intentó vincular la teoría con una rigurosa investigación empírica de recopilación de datos.

Pero, quizá, la escuela sociológica más en boga sea la denominada *sociobiología*, es decir, el estudio sistemático de las bases biológicas de todo comportamiento social. La sociobiología sostiene que los fundamentos de la conducta de todo ser vivo y, por tanto, también la del ser humano, está, en general, determinada genéticamente. En este sentido, la sociobiología intenta explicar semejanzas y diferencias socioculturales en función de un refinamiento de la selección natural conocido como eficacia biológica inclusiva. La sociobiología, ciencia nueva que está todavía en estado de incipiente formación, fue creada durante los años 1960, aunque el término fue acuñado por Hockett en 1948. Cabe destacar el enfoque inicial, consistente en introducir modelos matemáticos de la genética de poblaciones, para dar explicación de la aparición de comportamientos sociales consistentes con los mecanismos evolutivos caracterizados por lograr la optimización de los elementos selectivos, que permiten la persistencia y la eficacia de una especie.

En especial, uno de los problemas a los que se enfrentaba la sociobiología era el de explicar la aparición de comportamientos altruistas entre los seres vivos. En este aspecto, fue de gran importan-

luego de Sociología, es el sociólogo americano de mayor renombre y el exponente más significativo del funcionalismo, o estructural-funcionalismo. Muy influido inicialmente por Weber, Durkheim y Pareto, construye una teoría general de la sociología que expone sobre todo en sus obras fundamentales, *La estructura de la acción social* (1937), *El sistema social* (1951) y *Hacia una teoría general de la acción* (1951), basada en la ideas centrales de acción social y sistemas de acción social.

cia la hipótesis de Hamilton, que ligaba la aparición de dichas formas sociales de conducta, así como la agresividad, el parasitismo social o la rivalidad sexual, a la maximización de la eficacia biológica inclusiva. En su versión más generalizada y abierta a la interpretación de la conducta humana, cabe destacar la gran aportación efectuada por el prestigioso entomólogo Edward O. Wilson. Se empezó a desarrollar a partir de esta obra fundamental: *Sociobiología. La nueva síntesis,* publicada por Wilson en 1975, aunque ya se prefiguraba en su obra *Las sociedades de los insectos,* publicada en 1971. A estas obras siguieron: *Sobre la naturaleza humana,* 1978, y *Genes, pensamiento y cultura,* escrita por Wilson en colaboración con Lumsden, y publicada en 1981.

Otro texto fundamental es *El gen egoísta,* de Richard Dawkins (1976). Esta ciencia se presenta como una moderna síntesis entre distintas ciencias biológicas, especialmente entre la etología, la ecología, la biología de poblaciones, la entomología y, por supuesto, la genética, y quiere adoptar el papel de una ciencia global capaz de explicar el comportamiento social de todas las especies de seres vivos, entendidos como entidades de supervivencia. Desde esta perspectiva, las pautas metodológicas y las explicaciones de la sociobiología adquieren relevancia para las ciencias sociales humanas, especialmente a través de la noción de *meme,* entendido como unidad de transmisión cultural.

Wilson, de una manera un tanto reduccionista, afirma que, en la medida en que la estructura genética condiciona la conducta, tanto la sociología como las otras ciencias que estudian el comportamiento, en última instancia son las últimas estribaciones de la biología, razón por la cual deben incluirse dentro de una vasta síntesis global de esta ciencia, en la cual ya se han subsumido tanto la teoría sintética de la evolución, como la taxonomía y la ecología descriptiva. Aplicada a la evolución de la cultura humana, la sociobiología considera que los rasgos culturales o memes se seleccionan en caso de que maximicen el éxito reproductivo de un individuo medido en términos de eficacia biológica inclusiva. De esta manera, por ejemplo, se afirma que la tendencia a una determinada técnica de cultivo de forrajes, que optimice la energía producida, es seleccionada porque optimiza el éxito reproductivo. Si el objetivo fundamental de esta ciencia naciente es el estudio del comporta-

miento a partir de los genes, sus conceptos fundamentales siguen siendo los propios del neodarwinismo y de la genética moderna y, especialmente, los conceptos de selección natural, eficacia biológica inclusiva y adaptación al medio. La tesis central de la sociobiología es la que afirma que las especies, grupos y organismos intentan lograr, por todos los medios, una adecuada capacidad genética inclusiva en las siguientes generaciones.

Utilizando la metáfora, elaborada por Dawkins, del «gen egoísta», la misión de cada uno de los genes es la de lograr su propia supervivencia, a costa de lo que sea. Paradójicamente, la máxima eficacia en esta supervivencia se logra gracias al altruismo —tesis sociobiológica que emparenta esta concepción con el utilitarismo— ya que, aunque es una forma de comportamiento biológico (ampliamente extendido en todas las especies animales), que comporta mayores beneficios para los demás que para quien los realiza, es una forma de conducta que se orienta, fundamentalmente, a la supervivencia de los propios genes. De ahí que la mayor parte del comportamiento altruista sea para con los parientes, especialmente con los descendientes directos. Las formas de altruismo hacia miembros de la especie que no comparten los mismos genes se explica en función de una reciprocidad: en otra ocasión, otro miembro de la especie ayudará a los portadores de los mismos genes de quien anteriormente le ayudó.

Esta tesis permite dar explicación de la aparición de esta forma generalizada de conducta, que desde otros enfoques evolutivos no podía ser explicada (más bien al contrario, ya que aparentemente el altruismo merma el éxito individual —muchos de los animales que avisan de la llegada de depredadores mueren al hacerlo, o el progenitor que defiende a sus crías de un ataque generalmente pierde la vida— lo que no se conciliaba con la tesis fundamental de la selección natural y la supervivencia del más apto). Con esta tesis, a diferencia del darwinismo clásico que sitúa al organismo al final de la cadena evolutiva, la sociobiología sitúa al gen como último eslabón de tal cadena. Ahora bien, la extensión de la sociobiología a la explicación de la conducta social humana presenta problemas, ya que la especie humana, por su propia evolución, no se comporta automáticamente sino que, en ella, la transmisión de la cultura aprendida (transmisión que no se realiza genéticamente) desempeña un papel central.

Pero ni Wilson, ni menos aún Dawkins, sostienen un determinismo genético absoluto. Wilson y Lumsden crearon la noción de *culturgen*, o unidad básica de cultura, y Dawkins propone (1976) el neologismo *meme* o *mimeme* (por similitud con el neologismo genes introducido en 1909 para designar las unidades de transmisión genéticas), unidad básica de imitación y reproducción cultural, o de transmisión de la cultura. Tanto si se adopta la noción de *culturgen* como la de *meme*[68], estas entidades, concebidas al modo darwiniano, es decir, como entidades carentes de conciencia por sí mismas y carentes de intencionalidad, actúan conjuntamente con los genes en la determinación de la conducta humana, y se comportan como ellos: reduplicándose y extendiéndose por imitación, y en este proceso sufren alteraciones, cambios, distorsiones, es decir, mutaciones. Una unidad básica de transmisión de la cultura es una idea, una moda, una consigna, la forma de fabricar un instrumento, una vasija, etc., es decir, aspectos básicos de la cultura que se transmiten por: a) imitación (en el caso de la transmisión de la cultura tanto humana como animal), b) enseñanza, o c) por asimilación: lectura, estudio... [(b) y (c) en el caso de la transmisión cultural específicamente humana]. De esta manera, pasa de un cerebro a otro y, en este proceso de transmisión, aparecen modificaciones, la suma de las cuales, y sus ulteriores transmisiones, están en la base de la evolución cultural. Desde esta perspectiva, la transmisión cultural es concebida análogamente a la transmisión genética, y se afirma que la conducta humana, basada en la cultura, no se sustenta solamente en los genes, sino en los *memes* o unidades básicas de transmisión cultural. La colaboración mutua entre los genes y los *memes*, que tienden a reforzarse interactivamente, da lugar a una coevolución. El que unas determinadas ideas o formas de entender la cultura se extiendan más que otras, es decir, que posean más eficacia cultural, se debe a que, probablemente, coadyuvan a la eficacia biológica, es decir, a la supervivencia.

68 Desde DURHAM, WH.: *Coevolution. Genes, Culture and Human Diversity*, Stanford Univ. Press, 1991, se tiende a utilizar el término *meme* creado por Dawkins.

8.7.3. *Antropología cultural*

La división de la ciencia según el objeto formal equivale, en gran parte, a una división por métodos. Toda ciencia parte, en efecto, de la experiencia y desde la experiencia son posibles, al menos, tres direcciones: el método filosófico, que trata de inferir verdades mediante el análisis racional de los fundamentos de la experiencia; el método experimental, que somete los hechos a pruebas repetibles, con posibilidad de cambiar las variables que inciden en ellos; el método comparativo, que registra los hechos tal como se dan —o como se dieron, si pertenecen al pasado— y establece relaciones entre ellos. De acuerdo con el método filosófico, se da una antropología filosófica. Según el método experimental, cabe una antropología biológica o física, que estudia al hombre en cuanto ser biológico y la paleoantropología, que utiliza además el método comparativo. Siguiendo exclusivamente el método comparativo, está la antropología cultural o social.

La antropología cultural es la rama de la antropología que estudia las características del comportamiento aprendido en las sociedades humanas, es decir, ciencia de la cultura humana. En general, es la ciencia que estudia el origen, desarrollo, estructura, características y variaciones de la cultura humana tanto de las sociedades del pasado como de las del presente. La etnografía, la etnología, la arqueología, la lingüística y la antropología física son las disciplinas sobre las que se funda la antropología cultural.

Aunque siguen existiendo autores que distinguen la antropología cultural de la social, los nombres pueden darse como sinónimos. *Cultura*, en sentido antropológico, no es más que el conjunto de conocimientos, técnicas, ideas, creencias, instituciones, etc. del hombre. Por tanto, no hay cultura, en sentido más propio y general, sin sociedad, ni sociedad sin cultura. Entendida de este modo, la cultura abarca la esfera completa de las actividades humanas.

Se suele considerar que la antropología cultural se constituye como ciencia en el siglo XIX. Pero también es corriente señalar los precedentes. En general, la antropología surge gracias al etnocentrismo, es decir, al prejuicio sobre la supremacía de la propia cultura. Porque lo propio parece lo mejor y lo normal, el observador se extraña de la cultura ajena, le llama la atención y la anota. En este

sentido, Herodoto (s.V a.C.) hizo antropología al transmitirnos costumbres que vivió en Egipto. Durante la Edad Media, Marco Polo, en su famoso *Il Milione* dio a conocer la cultura oriental. Las noticias proporcionadas por los exploradores, los colonizadores y los misioneros fueron generando una vasta literatura de descripciones de comportamientos y rasgos culturales que cuajaron en las primeras colecciones etnográficas. Este primer material está en el origen de la antropología cultural. Destacan entre otros muchos, fray Bernardino de Sahagún, autor de la *Historia de las Cosas de Nueva España* y el jesuita José de Acosta, con su *Historia natural y moral de las Indias*.

Sin embargo, la Antropología adquiere rango de disciplina autónoma a partir de la mitad del siglo XIX. Casualmente, coincide con el evolucionismo biológico, defendido, desde 1859, por Darwin. Las primeras obras de antropología cultural son evolucionistas y esta ciencia todavía no se ha podido librar del todo de este prejuicio, ya que la tendencia dominante era la de considerar las «otras» culturas como otras tantas etapas menos desarrolladas de la cultura europea occidental. La corriente del evolucionismo cultural, que fue la primera de las tendencias en imponerse en esta ciencia naciente, estaba influida tanto por el evolucionismo de Darwin como por la idea de progreso cultural. El antropólogo ingles Tylor y el americano Morgan son los autores más destacados de esta línea de investigación. Tylor introdujo el término «cultura» en la antropología y dio de él una definición clásica. Por su parte, la obra de Morgan influyó directamente en las concepciones marxistas, especialmente en F. Engels (*El origen de la familia, la propiedad privada y el Estado*). Otro autor evolucionista, Sir James G. Frazer, cuya obra —*La rama dorada*— es una mezcla de aciertos parciales, de generalizaciones injustificadas y de antropología literaria. Esta obra influyó mucho en las concepciones de Freud.

Tylor[69] fue uno de los primeros antropólogos sistemáticos que, además de reunir cuidadosamente los materiales para sus estudios,

69. Sir Edward Burnett Tylor (1832-1917) está considerado como el fundador de la antropología cultural en Gran Bretaña. Generalmente se asocia su nombre con el de Lewis H. Morgan, como representantes de la corriente del evolucionismo cultural del siglo XIX, y con el de James G. Frazer, como investigador del ori-

daba mucha importancia a las cuestiones metodológicas. Como evolucionista, consideraba que la cultura avanza en una dirección general bien definida a través de diferentes estadios, y acabará en un régimen cultural común, cuya expresión más acabada, hasta el momento, es la de la civilización occidental. Dejando aparte esta concepción —más ideológica que científica, y muy deudora de la mentalidad victoriana de la época y de la sociedad británica a la que pertenecía Tylor— es importante su concepción de la cultura como objeto específico de estudio de la antropología, a la vez que proporcionaba una definición de cultura que se ha revelado fecunda y, actualmente, es ya una definición clásica. Para Tylor, cultura es «toda esa compleja totalidad que incluye el conocimiento, las creencias, el arte, la moral, el derecho, las costumbres, hábitos y capacidades cualesquiera adquiridos por el hombre como miembro de una sociedad».

Pero Tylor es especialmente conocido por sus estudios sobre el origen y evolución de las religiones, y por su concepción del animismo que, en general, es la creencia que atribuye vida, intencionalidad, voluntad o sentimientos parecidos a los del hombre a todos los objetos de la naturaleza (siendo, pues, una forma de antropocentrismo). En *Primitive Culture* (1871) sostiene la tesis según la cual la forma más primitiva de religión era la creencia en seres espirituales personales, que daban vida a la naturaleza. Pensaba que las religiones se desarrollaban de una forma evolucionista de modo que, a partir del animismo (cuyo origen sitúa en los sueños y en las experiencias ilusorias), pasarían por el culto de objetos, manes, ancestros, fetiches e ídolos, al politeísmo y, finalmente, al monoteísmo.

gen y evolución de las religiones. Fue compañero de Huxley, Spencer y Wallace y, aunque no tenía ninguna licenciatura universitaria, en 1883, fue nombrado profesor asociado en Oxford y, a partir de 1896, obtuvo el puesto de profesor titular, ejerciendo como profesor de antropología hasta el año 1909. A los veinticuatro años (en 1956) emprendió un viaje a América y, recorriendo México junto con Henry Christy, se interesó por la Antropología, ocupación que le absorbió toda su vida. Como resultado de este viaje, en 1861, publicó *Anahuac: Mexico and the Mexicans, Ancient and Modern*. En 1865 publicó *Researches into the Early History of Mankind and Developement of Civilization*, y en 1871 apareció su obra principal: *Primitive Culture: Researches into the Developement of Mythology, Philosophy, Religion, Language, Art and Culture*.

También es importante su concepción del incesto. Tylor atribuye la prohibición del incesto a la necesidad de los grupos humanos de cooperar entre sí para permitir su supervivencia. Según él, «la exogamia, al permitir que una tribu en vías de crecimiento mantenga sus filas apretadas por medio de uniones constantes entre sus clanes que se dispersan, la hace capaz de vencer cualquier número de pequeños grupos en donde se practica la endogamia y que son aislados y desvalidos. Una y otra vez en la historia del mundo, las tribus salvajes deben haberse visto llanamente ante la simple y práctica disyuntiva de hacer matrimonios con extraños o de ser exterminados». Con ello daba una explicación cultural al tabú del incesto sin necesidad de considerarlo un instinto (cosa que no prueba la etnología). Dicha explicación es la generalmente aceptada por los neoevolucionistas, como Leslie White, por ejemplo.

En *Ancient Society*, Morgan[70] retoma la división en tres estadios evolutivos de desarrollo que siguen de las civilizaciones elaborada por Robertson: salvajismo, barbarie y civilización. Morgan subdivide cada uno de estos tres estadios en otros tres: inferior, medio y superior, separados entre sí por diversos rasgos tecnológicos. En líneas generales, pues, Morgan sostuvo una unidad general de la cultura, que se habría ido desarrollando según una evolución lineal a través de tres estadios sucesivos, en cada uno de los cuales el de-

70. Lewis Henri Morgan (1818-1881), etnólogo norteamericano que, junto con E.B. Tylor, es el máximo representante del evolucionismo cultural del siglo XIX. Morgan, que era abogado y empresario, dedicado a negocios relacionados con minas de hierro y con compañías de ferrocarriles, después de acumular un importante patrimonio se dedicó plenamente a la antropología cultural. Bajo la influencia de su amigo Ely Parker, descendiente de los indios iroqueses (y que llegaría a ser general del ejército de la Unión y Gran Sachem de la Liga de los Iroqueses), reconvirtió su sociedad literaria *El Nudo Gordiano* en una sociedad etnográfica denominada *Nueva Confederación de los Iroqueses*, y se dedicó plenamente al estudio de estos indios que habitaban cerca de la ciudad de Rochester (Nueva York) en la que vivía Morgan. El primer fruto de estos estudios fue una monografía titulada *The League of the Ho-dé-no-sau-mee or Iroqois*, aparecida en 1851, en la que sistematizó las relaciones de parentesco de los iroqueses. Partiendo de estos estudios (que amplió estudiando diversos sistemas de parentesco entre otras comunidades y culturas), elaboró un precursor estudio comparado sobre los sistemas de parentesco: *System of Consanguinity of Human Family* (1861). Pero su obra más importante e influyente es *Ancient Society* (1877).

sarrollo está vinculado al tipo de eocnomía: caza y recolección en el primero (salvaje); ganadería, cultivo e irrigación, en el segundo (barbarie); introducción de la máquina hasta la industrialización en el tercero (civilización). Dichos estadios son, según este autor, esencialmente los mismos para todos los pueblos del mundo y su orden es inevitable ya que está regido por unas mismas leyes aplicables a todo desarrollo cultural, puesto que los procesos mentales son universales y semejantes en todos los pueblos. Así, afirma implícitamente una unidad psíquica del hombre, al modo como Descartes había señalado que la razón es el atributo humano mejor repartido. De esta manera, ante unos estímulos y situaciones semejantes, todos los pueblos, en distintas épocas, responden con unas reacciones parecidas. A su vez, los rasgos fundamentales explicativos de la evolución cultural son, según Morgan: la evolución concurrente de la tecnología de subsistencia, la evolución de las relaciones de parentesco, la evolución de la propiedad y de las formas de gobierno.

Los estudios de Morgan, especialmente *Ancient Society*, tuvieron una gran influencia sobre Marx y, especialmente, sobre Engels, que toma dicha obra como punto de partida para su libro *El origen de la propiedad, la familia y el Estado*, en la que vincula, siguiendo a Morgan, la propiedad privada, la familia monogámica y patriarcal, y el Estado, señalando cómo estas instituciones aparecen como organismos de explotación de las clases trabajadoras y como medios de opresión de las mujeres.

Los descubrimientos de los arqueólogos durante la primera mitad del siglo XIX habían revelado que, en tiempos remotos, los europeos vivieron en condiciones técnicas rudimentarias y aparentemente similares a las de los salvajes contemporáneos, y que, por lo tanto, el pasado del hombre y los períodos evolutivos habrían sido bastante más largos de lo que hasta entonces se había estimado de acuerdo con la Biblia. De ello, los evolucionistas dedujeron que los primitivos contemporáneos representan un estado arcaico de desarrollo y que todo la humanidad ha pasado y está destinada a pasar por fases o estadios sucesivos (estado salvaje, barbarie, civilización), concatenados en una secuencia de progreso natural. Desde la perspectiva del evolucionismo se consideraba la historia del género humano como una historia única, incluso en el aspecto cultural; idea bajo la que subyacía el supuesto (etnocéntrico) de una única lí-

nea de evolución que va desde los otros hasta nosotros, de manera que también se consideraban los supuestos estadios evolutivos como otros tantos pasos hacia la realización de la sociedad civilizada. Los descubrimientos no confirmaban estas hipótesis y los antropólogos posteriores abandonaron los supuestos del primer evolucionismo cultural, evitando pronunciarse sobre concepciones generales de la cultura, razón por la que se centraron en estudios concretos. Las hipótesis evolutivas de Morgan han sido hoy completamente abandonadas, pero este investigador conserva el mérito de haber iniciado el estudio sistemático de las estructuras de parentesco.

En *The Golden Bough* (La rama dorada), Frazer[71] distingue entre magia y religión, aunque sustenta que se trata más bien de una distinción metodológica ya que, en ambos casos, se trata de una actividad humana destinada a procurar influir o controlar las fuerzas naturales. Clasifica distintos tipos de magia, y estudia especialmente la llamada magia simpática, dividida en magia homeopática o imitativa, y en magia contagiosa. La primera se sustenta sobre la suposición de que lo semejante produce lo semejante o, en otras palabras, que un efecto se parece a su causa; la segunda, se basa en la suposición de que aquello que ha estado alguna vez en contacto mutuo con otro, seguirá actuando a distancia. Estas formas de magia (de las que el Vudú, por ejemplo, es una de sus manifestaciones) afirman la existencia de una necesidad y de una causalidad. Por ello, Frazer consideraba la magia como un antecedente de la ciencia, ya que ambas se basan, decía, en la creencia en que, si se hace A, entonces sucederá B, independientemente de quien ejecute tales actos. No obstante, el mismo Frazer marca las enormes distancias entre una y otra actividad.

71. Sir James George Frazer (1854-1941), antropólogo y clasicista escocés. Nació en Glasgow, ciudad en cuya universidad estudió y desde la que se trasladó a Cambridge para completar sus estudios. Posteriormente ejerció como *fellow* en el Trinity College. Estudioso de los mitos, la magia y las religiones, su nombre va estrechamente unido al de su magna obra: *The Golden Bough. A Study in Magic and Religion*, (Londres 1890, 2 vols.); tercera edición en 12 vols. entre 1911 y 1915). En esta gigantesca obra llena de erudición y escrita elegantemente, Frazer hace un estudio comparado de magia y religión, y sustenta tesis cercanas a las del evolucionismo cultural de Tylor y, aunque más remotamente, de Morgan.

En cualquier caso, afirma que la práctica de la magia va revelando progresivamente una extremada ineficacia para producir fenómenos que, de ser cierta la creencia, deberían poder producirse. Por ello, al manifestar su extrema falibilidad, es rechazada y, en el proceso de evolución cultural, aparece la religión, en la cual se afirma la existencia de seres sobrenaturales no sometidos a ninguna causalidad. Esta ausencia de causalidad hace inmune a la religión a toda crítica, puesto que en las creencias religiosas todo depende de la arbitraria voluntad de los dioses, a los que hay que sobornar o implorar mediante sacrificios y oraciones más que a través de actuaciones mágicas, aunque persisten concepciones mágicas en las creencias religiosas. Esta pretendida evolución de la magia a la religión la interpreta Frazer de manera estrictamente psicológica, y sin aportar datos empíricos.

Como estudio comparado de religiones y de creencias mágicas, su obra no aporta pruebas pero, tanto por su extraordinaria erudición —es un compendio grandioso y exhaustivo de creencias mágicas, religiosas y fantásticas— como por su estilo, es una obra de obligada lectura para los antropólogos y para todas aquellas personas que quieran estudiar los ritos, las religiones y las prácticas y creencias mágicas. Destacó también como estudioso del totemismo y de los tabúes, a los que clasificó, según distintas modalidades existentes en diversas sociedades, en tabúes: a) de actos (determinadas relaciones sexuales, el tabú del incesto, prohibición de ingerir determinados alimentos, etc.); b) de personas (jefes o reyes, difuntos, mujeres menstruantes o embarazadas, etc.); c) de cosas (sangre, cabellos, determinadas armas, etc.) y d) de nombres (nombre de muertos, de objetos impuros, nombre de divinidades, etc.). Por otra parte, también muestra que el antiguo y más primitivo fondo de muchos relatos mítico-religiosos es común a muchas creencias y forma parte de un acervo cultural compartido. Así, muchos de los relatos bíblicos, tales como el diluvio, la torre de Babel, el pecado original o el estigma de Caín, forman parte de una vasta herencia cultural de mitos religiosos ampliamente repartida.

Hacia finales del siglo XIX e inicios del XX se desarrollan, contra el evolucionismo, las escuelas del difusionismo y del particularismo histórico. Máximo exponente de esta última fue Franz Boas (1858-1942), quien imprimió un signo realista, prudente y

matizado a gran parte de la antropología de los EE.UU. Con Franz Boas, en los Estados Unidos, la antropología cultural deja de considerarse como un estudio general de toda cultura, para pasar a ser un estudio descriptivo y comparativo de los rasgos culturales de pueblos determinados, considerando la cultura como un proceso particular para cuyo estudio debe practicarse el trabajo de campo y una metodología naturalista e inductivista.

Franz Boas[72] es uno de los más importantes representantes de la escuela americana de antropología cultural considerado, a veces, como difusionista, a veces, como funcionalista. En 1896, Boas denunció los abusos del método comparativo y la ilegitimidad de las

72. Franz Boas (1858-1942), antropólogo y etnólogo germano-estadounidense, nacido en Minden, Alemania, y formado en las universidades de Heidelberg, Bonn y Kiel. Durante los años 1885-86 fue director del museo etnográfico de Berlín y fue profesor de la universidad de esta ciudad. En 1888 se estableció en los Estados Unidos, y viajó a Puerto Rico y México. Fue profesor en la Clark University y en la Columbia University, desde donde ejerció una enorme influencia en el ámbito de la antropología. En 1883-1884 efectuó una exploración científica de la isla Baffin en la zona ártica. Dos años más tarde emigró a Estados Unidos y realizó el primero de una multitud de viajes para estudiar a los kwakiutl y a otros pueblos de la Columbia Británica. En 1899 se convirtió en el primer catedrático de antropología de la Universidad de Columbia, donde impartió sus enseñanzas hasta 1937. Fue el primer antropólogo que combinó la experiencia del trabajo de campo con la labor docente. Organizó y participó en la expedición *Jesup* de 1902 al Pacífico norte, que planteó la posibilidad de la existencia de una estrecha relación entre la culturas del norte de Asia y las indígenas del noroeste americano. Los estudios antropológicos de Boas se han convertido en clásicos de su género, sobre todo por su empeño en aplicar un enfoque científico a esta materia. Demostró asimismo la necesidad de estudiar una cultura en todas sus facetas, incluida la religión, el arte, la historia y el idioma, así como las características físicas de sus individuos. Una de sus conclusiones más notables fue la de que no existe una auténtica raza pura, y la de que ningún grupo étnico es, de manera innata, superior a los demás. Sus publicaciones incluyen *El crecimiento de los niños* (1896), *La mente del hombre primitivo* (1911), *Cambios en las formas corporales en descendientes de inmigrantes*, 1911 (estudio realizado por encargo de la Comisión de Inmigración, en el que investigó el influjo del ambiente en la variación del aspecto corporal); *Antropología y vida moderna* (1928); *Antropología general*, (1938) y *Raza, lengua y cultura* (1940). Entre sus alumnos destacan E. Sapir, R.H. Lowie, M. Herskovits y A.L. Kroeber; ellos, y en especial el último, pusieron de relieve que cada cultura es el resultado de un «proceso» histórico de tan complejas implicaciones que es imposible deducir a partir de él regularidades o leyes.

conclusiones que Morgan había extraído de la comparación entre elementos culturales observados en sociedades diversas, pero consideradas «similares» (por ejemplo, las primitivas actuales y las prehistóricas); no sólo las semejanzas no implican un origen común, sino que, sobre todo, no es lícito inferir que sociedades que presentan semejanzas se hallen en el mismo nivel evolutivo. Según Boas, una historia basada en conjeturas no permite la deducción de leyes generales.

Sus investigaciones etnológicas se basaron en dos presupuestos metodológicos básicos: a) el convencimiento de la necesidad ineludible para la etnografía de dominar plenamente la lengua de los nativos y vivir entre ellos, para evitar mezclar los propios puntos de vista con los de los nativos (evitar confundir la perspectiva *etic* con la perspectiva *emic*, utilizando una terminología posterior), así como el convencimiento de la necesidad de incluir mujeres investigadoras para garantizar un mejor conocimiento de aspectos que quedarían vedados a investigadores masculinos. Y b) la consideración, contraria a todo racismo, de que ciertas características, como el valor del individuo y de la libertad, eran básicas en todo hombre.

Como hemos señalado, Boas insistió en la ineludible necesidad del dominio del lenguaje nativo. Para fomentar el estudio de las lenguas creó el sistema americano de escritura fonética y desarrolló las modernas técnicas de enseñanza de lenguas extranjeras. Por otra parte, fuertemente anclado en una perspectiva empirista y de rechazo frontal contra toda generalización y contra todo teoricismo, Boas introdujo métodos estadísticos en etnografía, así como el método de la comparación controlada y el análisis areal (referente a la distribución de rasgos culturales en una área cultural determinada).

Sus estudios etnográficos, basados siempre en el trabajo de campo y la labor en equipo, más que centrarse en culturas globales, se centraron en aspectos culturales concretos y sus variaciones regionales, que estudiaba en función de las categorías mentales propias del grupo, admitiendo la existencia de troncos comunes más o menos remotos, pero mostrando desconfianza tanto hacia las reconstrucciones excesivamente forzadas de otros difusionistas, como a las reconstrucciones de los evolucionistas. De hecho, el pensamiento de Boas aparece como una clara reacción contra el in-

genuo evolucionismo cultural decimonónico, que era más propio de una antropología especulativa (antropólogos de sillón, les llamaban), que de una antropología basada en el trabajo de campo, la necesidad del cual era la divisa fundamental de Boas. En este sentido, aplicando sus estudios de psicofísica a la observación etnológica, llegó a la conclusión de que los umbrales de sensación variaban en función de la raza, la geografía o la cultura.

En el estudio etnográfico de las lenguas, y partiendo de su descubrimiento de la existencia, en una región del Pacífico del noroeste, de cuatro lenguas independientes y antiguas, aunque con elementos comunes en su vocabulario, llegó a la conclusión de que las lenguas no proceden por lenta evolución de un tronco común primitivo —teoría etnocéntrica que se apoyaba en el origen indoeuropeo de las lenguas de Europa— sino en unos pocos focos primitivos, que se van influyendo lentamente unos a otros. Esta teoría difusionista la aplicó globalmente a la antropología, oponiéndose así a las teorías evolucionistas. Tuvo, también, especial importancia su constatación empírica de la inconsistencia del concepto de raza, señalando la incongruencia de las creencias en superioridades o inferioridades raciales. No obstante, aunque no se discuten sus amplios conocimientos etnográficos y sus importantes contribuciones a la antropología lingüística, el pensamiento de Boas es tachado de excesivamente asistemático y excesivamente antiteórico. De hecho, de la misma manera que Boas reaccionó en contra del ingenuo y especulativo evolucionismo cultural decimonónico, el neoevolucionismo aparece como una subsiguiente reacción contra el antievolucionismo de Boas, de los difusionistas y los funcionalistas.

La antropología cultural del siglo XX puede ser dividida en dos etapas: una hasta los años 30 y otra desde esa fecha en adelante. En el primer período, en los EE.UU., continúa la influencia de Boas, con el rechazo de la simplificación evolucionista y la consideración de la cultura como un todo. Abre el siglo el difusionismo, escuela de antropología cultural según la cual el desarrollo de la cultura no sigue un proceso lineal desde tiempos remotos (con lo que se opone al evolucionismo cultural), sino que aparece en diversos focos y se difunde mediante procesos de aculturación e intercambiando rasgos culturales. De esta manera, los difusionistas rechazan la posibilidad de estudiar la cultura como parte de una línea evolutiva

más o menos continua. Dos escuelas se disputan la primacía en los análisis del difusionismo: la Escuela alemana y la inglesa.

En Inglaterra triunfa, aunque efímeramente, un difusionismo absoluto, obra de G. Elliot Smith, W. J. Perry y W.H. Rivers. Perry llega a sostener que la cultura nace en Egipto y de ahí se difunde a todo el mundo con *The Children of the Sun* (1923). Rivers quedará como un clásico con su *The history of Melanesian Society* (1914). Los británicos W.H.R. Rivers y G.E. Smith (1871-1953) tendieron a considerar a Egipto como el foco principal de difusión originario de la cultura. Sustentaban esta tesis a partir de la observación de la existencia de varios rasgos culturales egipcios en otras culturas, tales como la construcción de pirámides y los cultos solares. En contra de esta tesis, los antropólogos alemanes Graebner y Schmidt sostuvieron la existencia de varios focos culturales.

La escuela antropológica alemana tuvo, pues, entre sus máximos exponentes a Fritz Graebner (*El método de la etnología*, 1911) y a Wilhelm Schmidt (*El origen de la idea de Dios*, 1926). Dichos autores afirman que la historia cultural de las sociedades es el resultado de un proceso de difusión de los elementos culturales a partir de un número limitado de centros y, por lo tanto, no puede explicarse en términos de evolución paralela e independiente. Así, habrían aparecido separadamente unas pocas culturas originales, que luego se habrían difundido, a través de fenómenos migratorios, más allá de los límites de sus centros de origen, dando lugar a contactos y fusiones.

Nace así uno de los problemas que suscitará mayores discusiones: la relación entre el método antropológico y el método histórico. El difusionismo nace a finales del siglo XIX como una exageración simplificadora del evolucionismo y sobrevive hasta mediados del siglo XX. Nadie niega que entre pueblos vecinos pueden darse préstamos y copias; sin embargo, los difusionistas llegaron a extremos tales como haber pretendido encontrar el origen de objetos tan universales como la punta arponada o los dibujos rupestres. Estos «hallazgos» niegan explícitamente cualquier invención autónoma a los pueblos menos favorecidos por las excavaciones arqueológicas, la relación recíproca entre las sociedades vecinas y la convergencia adaptativa, tan presentes en el mundo natural como en el cultural o humano. Los alemanes Leo Frobenius, Wilhelm Schmidt y Fritz

Graebner, sus representantes más ilustres, desarrollaron las teorías de los *Kulturkreislehre* y *Kulturkreise* (círculos de cultura).

Wilhelm Schmidt (1868-1954) fue el fundador de la revista *Anthropos*, desde 1906, una de las mejores revistas sobre Antropología. Schmidt distinguía en las culturas cuatro fases principales: primitiva, primaria, secundaria y terciaria. Dentro de cada fase existirían varios ciclos culturales. El primer grado, llamado primitivo, comprende todas las tribus de economía destructiva (caza y recolección). En el segundo grado, llamado primario, se produce la superación de la economía destructiva: la mujer empieza a trabajar la tierra mediante el uso de la azada y el hombre pasa de la caza a la cría de ganado. El tercer grado, llamado secundario, se produce con la interacción de las culturas primarias entre ellas y con las primitivas. Las culturas terciarias serían las propias de las civilizaciones superiores antiguas de Asia, Europa y América.

En su obra *El origen de la idea de Dios*, 12 vols. (1912-1955), los principales temas de investigación fueron el origen de la idea de Dios y el nacimiento de las representaciones religiosas en las sociedades primitivas, explicadas en los cuadros de los ciclos culturales, tomando como base el presupuesto de que todos los ciclos culturales posteriores a los «primitivos» —las culturas primarias, secundarias y terciarias— no representan una noción del Ser Supremo tan clara y determinada como las culturas primitivas. La creencia en un Ser Supremo reconocida en una antiquísima cultura humana perteneciente a los grupos actualmente indicados como primitivos constituiría, pues, un verdadero «monoteísmo primordial», oscurecido y decaído con posterioridad, del que se encuentran, sin embargo, residuos entre los pueblos etnológicos actuales. Schmidt advirtió en la literatura etnográfica la presencia frecuente de un dios superior, una divinidad que creaba el mundo y después se distanciaba de él. Observó en los mitos una distinción entre este tipo de divinidad y las otras divinidades y espíritus, y argumentó que este concepto de un creador provenía de la contemplación metafísica e intelectual y no de una evolución del pensamiento de lo prelógico a lo racional. En su formulación, los mitos abarcan lo racional-lógico y lo intuitivo al mismo tiempo.

Contemporánea del difusionismo es la escuela francesa de sociología y de antropología dominada, durante mucho tiempo por la

figura de Émile Durkheim (1858-1917), autor de otras generalizaciones no sostenibles a la luz de una verdadera antropología con trabajo de campo. Durante los años veinte y treinta se desarrolló la llamada «escuela sociológica francesa», integrada por Marcel Mauss, P. Rivet y Lucien Lévy-Bruhl. Antropólogo francés, Marcel Mauss nació en Epinal, en la Lorena, y murió en París. Discípulo de Durkheim, que era tío suyo, es considerado como el fundador de la etnología francesa. Estudió filosofía en Burdeos, donde recibió la influencia del neokantismo. Posteriormente, amplió sus estudios en Oxford, donde se dedicó especialmente al estudio de la historia de las religiones. Estuvo vinculado estrechamente al Instituto de Etnología de París y a la revista *Anée Sociologique*, fundada por Durkheim. Influyó mucho sobre G. Gurvitch y G. Dumézil, que fueron alumnos suyos. En 1925 fundó el Instituto Francés de Etnología, conjuntamente con P. Rivet y L. Lévy-Bruhl. Seguidor de la corriente funcionalista, estuvo especialmente interesado en el estudio de los mecanismos de intercambio de regalos en las relaciones sociales. Bajo el influjo de Durkheim, preparó el terreno a la aparición del estructuralismo en etnología. Por ello, puede considerársele como el nexo que une la sociología durkheimiana con el estructuralismo de Lévi-Strauss. Elaboró el concepto de «hecho social total» y puso en contacto todas las manifestaciones culturales con los fenómenos religiosos ya que, según él, el ámbito de lo sagrado permite captar las manifestaciones simbólicas del conjunto del entramado social.

La escuela estructuralista tiene como su máximo representante a Lévi-Strauss [73]. En sus inicios como antropólogo, Lévi-Strauss,

73. Filósofo y etnólogo, Lévi-Strauss nació en Bruselas en 1908. Doctor en filosofía, se interesó por la antropología cultural a raíz de su estancia en Brasil, donde fue profesor en Sao Paulo y encabezó múltiples expediciones etnológicas. Posteriormente, fue profesor en la *New School for social research* de Nueva York. En su estancia en los Estados Unidos entabló relación con el lingüista Roman Jakobson y, bajo la influencia de la Lingüística estructural de este autor y de Troubetzkoi, comenzó a elaborar las bases de su nuevo enfoque de la etnología, fundando la antropología estructural. En la actualidad es profesor honorario del *Collège de France* —institución en la que ha sido profesor de Antropología desde 1958— miembro de la *Académie française* y doctor *honoris causa* por diversas universidades (Bruselas, Oxford, Yale, Columbia, John Hopkins, etc.). Ade-

discípulo de Marcel Mauss, se aproximó al funcionalismo de Radcliffe-Brown y de Malinowski, corriente de la que se apartó y a la que criticó, juntamente con otras corrientes de tipo empirista, por su excesiva parcialidad, y a las que acusaba de centrarse excesivamente en el estudio descriptivo de una única etnia y de ser incapaces de elaborar modelos más generales. En este afán de elaboración de modelos más generales, se encuentran en Lévi-Strauss las influencias básicas del marxismo y del psicoanálisis. El análisis efectuado por Marx de la sociedad burguesa y de los mecanismos económicos mostraba que la auténtica realidad no es nunca la más manifiesta, sino que permanece oculta (y ocultada por la ideología). Freud también señaló que, lejos de estar gobernada por las instancias conscientes y manifiestas, el psiquismo está regido por instancias inconscientes. Además, la geología también mostraba que la diversidad, y el aparente desorden de la superficie o del paisaje, está regida por estructuras que permiten al geólogo interpretar la génesis del paisaje. Tanto la ideología, como los sueños o el paisaje, son manifestaciones enmascaradas de una realidad subyacente más profunda, y este intento de encontrar un sentido oculto o latente, más allá de lo meramente manifiesto, es el que guiará la teoría de Lévi-Strauss y del estructuralismo, en general: la antropología debe construir modelos estructurales capaces de descifrar y describir la realidad, y capaces de reducir a un orden la aparente arbitrariedad de las diversas formas de relaciones humanas.

Pero, si el marxismo, el psicoanálisis y la geología están en el origen programático de sus investigaciones, en cuanto al método que se debe seguir, Lévi-Strauss partió del modelo de la lingüística estructural. En realidad, consideraba esta disciplina como la única ciencia social capaz de establecer relaciones necesarias y, por ello, la adoptó como modelo para forjar sus estudios antropológicos, ya que concibe la estructura social como un sistema de signos: los sistemas de parentesco, las reglas del matrimonio, las formas de intercambio, etc. son como una especie de lenguaje que permite la comunicación (inconsciente) entre los individuos y los grupos sociales: «un conjunto de operaciones destinadas a asegurar determinados ti-

más de sus estudios en el terreno de la antropología, también ha destacado como crítico de arte.

pos de comunicación entre los individuos y los grupos». Por ello, Lévi-Strauss puede extender el método estructuralista de la lingüística a la antropología cultural. Tomando, pues, como modelo la lingüística y, en especial, la fonología, Lévi-Strauss puso de manifiesto la existencia de relaciones y estructuras constantes por debajo de la gran diversidad y complejidad de los sistemas de parentesco. Para él, las reglas matrimoniales y los sistemas de parentesco constituyen una especie de lenguaje. En concreto, la diversas reglas y prohibiciones en la elección de pareja matrimonial constituyen formas inconscientes de organizar la circulación de los individuos dentro del grupo social, lo que permite substituir un sistema de origen biológico —las relaciones consanguíneas— por un sistema sociológico de establecer relaciones de parentesco, y evitar de esa manera que cada clan quede encerrado en sí mismo.

En particular, la prohibición universal del incesto se le aparece como el nexo que articula lo natural (que Lévi-Strauss caracteriza por su universalidad y por su espontaneidad) y lo cultural (caracterizado como todo aquello que está constreñido a una norma y es, por tanto, meramente relativo), y ello porque este «tabú» participa de ambos aspectos. (El estudio de esta relación entre naturaleza y cultura lo efectúa a partir del estudio de los mitos y relaciones referentes a lo crudo y lo cocido.) El método estructuralista, al dar la primacía al sistema por encima de sus elementos, permite a Lévi-Strauss ver la permanencia de las relaciones más allá de la diversidad de sus significaciones. Aunque la estructura trasciende la realidad empírica, es la que da fundamento a los modelos construidos sobre ella. Así, las relaciones sociales situadas en el nivel de lo real se asientan sobre las estructuras sociales, situadas en el nivel de lo simbólico. De esta manera, el nivel simbólico e inconsciente es la auténtica base de lo real, ya que solamente la estructura es la que posibilita la inteligibilidad de las relaciones sociales. Con ello, además, se limita el papel del sujeto, ya que éste no tiene significado por sí mismo, sino solamente en relación con las estructuras sociales y culturales que son las que lo dotan de sentido. El sujeto, «el niño mimado que ha ocupado demasiado tiempo la escena filosófica», cede su lugar a las estructuras simbólicas que lo trascienden, las únicas que son plenamente objeto del estudio científico, ya que son las que pueden dar explicación de los fenómenos sociales. Por ello, Lévi-Strauss proclamaba de forma provocadora que «el fin úl-

timo de las ciencias humanas no es constituir al hombre, sino disolverlo».

Desde esta perspectiva, puede mostrar también que los mitos, al igual que los símbolos, los modos de mesa o los sistemas totémicos, por ejemplo, responden a una compleja lógica combinatoria. De esta manera, se opone a la tesis de una mentalidad primitiva no sometida a la lógica sustentada por Lévy-Bruhl. En contra de este autor, Lévi-Strauss considera que el pensamiento salvaje tiene el mismo afán clasificador y ordenador que el pensamiento científico moderno, y es igualmente un pensamiento sistemático. De hecho, no obstante, con el nombre de pensamiento salvaje, designa un sistema de postulados precisos para fundar un código que permita traducir lo «otro» en lo «nuestro». En particular, muestra que los mitos, lejos de ser meras construcciones fantasiosas, constituyen elementos de ordenación y clasificación mediante los cuales las culturas que los sustentan pretenden dar sentido y explicación de todos los fenómenos que las afectan. Así, el pensamiento salvaje presenta una estructura tan lógica como el pensamiento moderno.

Además, detrás de la aparente diversidad de mitos pertenecientes a culturas distintas y alejadas, el etnólogo estructural puede clasificarlos en distintos grupos que manifiestan unas estructuras semejantes, de manera que hay una lógica de los mitos que puede estudiar el antropólogo estructuralista. El descubrimiento de estructuras inconscientes que imponen un orden más allá de la apariencia de la diversidad y la arbitrariedad de las diversas normas culturales y de los mitos, le permite eliminar la ruptura artificial entre la razón y la no-razón, lo cual, a su vez, refuerza su crítica a todo etnocentrismo. De hecho, para él, las diversas formas estructurales de parentesco han sido producidas a partir de un patrimonio psíquico común e innato de la humanidad, de forma que, lejos de ser peculiaridades específicas de etnias distintas, tienen una base universal y un cierto carácter ontológico ligado a la especie humana.

Para Lévi-Strauss, como hemos dicho, el objetivo último de las ciencias humanas no es el de constituir al hombre, sino el de disolverlo. Esta toma de postura metodológica va dirigida contra la sobrestimada noción de sujeto y representa una ruptura con la tradición humanista occidental que Sartre todavía defiende y que, según Lévi-Strauss, está preñada de etnocentrismo. En este sentido, Lévi-

Strauss se aproxima más al Heidegger de la *Carta sobre el humanismo* que critica el humanismo racionalista occidental, y considera que la síntesis entre el cristianismo y el cartesianismo es la responsable de la megalomanía y del afán destructivo propios de la época moderna. Con ello, se muestra también la influencia que ha ejercido Rousseau en la obra de Lévi-Strauss, quien considera al ginebrino como el padre de las ciencias sociales.

Desde *La vida familiar y social de los indios Nambikwara* (1948) hasta los varios tomos de *Mithologiques* (años 60 y 70), Lévi-Strauss ha desarrollado una antropología que no oculta sus pretensiones filosóficas. Se le ha achacado la «impaciencia para acceder a explicaciones integrales, la insistencia en propiedades tan generales y abstractas que tienen insuficiente valor explicativo».

Al mismo tiempo, y bajo la influencia de la escuela americana de Franz Boas, se desarrollaron las corrientes psicologistas de la cultura encabezadas por Margaret Mead, Ruth Benedict y Ralph Linton. Esta escuela considera que la cultura específica de una sociedad es la causa esencial de la estructura de la personalidad de sus miembros. En este contexto surgió la tesis del relativismo cultural, que abandonó toda pretensión de pensar la cultura para estudiar las culturas. De 1934 es el famoso *Patterns of Culture*, de Ruth Benedict, muchas veces acusada de hacer una antropología literaria. Poco a poco los culturalistas fueron desarrollando una línea de apoyo al «relativismo cultural» (muy visible en Margaret Mead), que no ha sido demostrado nunca.

Como Ruth Benedict, se asocia generalmente a Mead[74] a la corriente antropológica que vinculaba la cultura con la personalidad,

74. Etnóloga norteamericana, nacida en Filadelfia, Margaret Mead estudió en el *Barnard College* y, posteriormente, fue discípula de Franz Boas y de Ruth Benedict. Como antropóloga desarrolló diversos trabajos de campo en Oceanía, especialmente en Samoa y Nueva Guinea, pero también en Bali y entre los indios de Norteamérica. Como su maestra Ruth Benedict, Margaret Mead también fue profesora en la Universidad de Columbia de Nueva York. Fue una de las pioneras en la utilización sistemática de la fotografía en la investigación antropológica. Por ello se celebra anualmente un festival Margaret Mead de cinematografía antropológica en el *American Museum of Natural History* de Nueva York, institución con

pero es conocida especialmente por sus obras *Coming of Age in Samoa*, (Adolescencia, sexo y cultura en Samoa, 1928), *Sex and Temperament in three primitive Societies*, (Sexo y temperamento en tres sociedades primitivas, 1935) y por *Male and Female*, (Hombre y mujer, 1949). En todos estas obras Mead estudia los roles sexuales y la agresión. Es muy conocida su concepción de la adolescencia como un fenómeno cultural, no como un fenómeno biológico, razón por la cual las crisis emocionales asociadas generalmente a este período vital son condicionadas culturalmente y no son secuelas inevitables de la maduración fisiológica. En Samoa, donde los niños están plenamente educados en lo que respecta al sexo desde edades muy tempranas, la pubertad fisiológica no se acompaña de alteraciones emocionales ni inseguridades afectivas, de manera que sus habitantes pasan a comportarse como adultos ya en esta etapa de su vida. Escribió también *New lives for Old: Cultural Transformation*, (1928-1953). A partir de los años ochenta, su obra ha sido objeto de numerosas controversias, especialmente su estudio sobre Samoa, al que se acusa de caer en generalizaciones poco fundamentadas.

Los estudios de la antropóloga Margaret Mead en Samoa trataron, al parecer, de cumplir el encargo de inspiración freudiana, de destruir toda noción de naturaleza humana. Pero sus trabajos fueron tan acomodaticios a las instrucciones recibidas, que resultaron increíbles. Según la autora, el paraíso psicoanalítico de la desinhibición sexual se hallaba realizado justamente en Samoa, donde por esta causa los complejos neuróticos habían dejado de existir. Un poco después, Deak Freedman demostraba en su libro *Margaret Mead y Samoa* que entre los samoanos se da un promedio de violaciones mucho más alto que en cualquier otra cultura; que los hombres son hostiles y belicosos, y guardan celosamente la castidad de sus mujeres, etc. Es decir, justo lo contrario de lo que había visto Mead con sus anteojos freudianos y, desde luego, algo mucho más acorde con el saber común acerca de la naturaleza humana, cuya noción pretendía borrar.

Bajo la influencia de Freud y de Nietzsche (pero también de Dilthey, Spengler y de la psicología de la Gestalt), Ruth Bene-

la que Margaret Mead estuvo asociada desde 1926 hasta su muerte. En 1971 recibió el premio Kalinga por sus trabajos etnológicos.

dict[75] desarrolló una concepción de las relaciones entre cultura y personalidad que aparece como una forma psicológica de funcionalismo que relaciona directamente las prácticas y creencias culturales con la personalidad de los individuos. Sostiene que determinadas experiencias de la infancia, pautadas dentro de la cultura en la que vive el individuo, condicionan la formación de unos tipos básicos de personalidad adulta. Bajo la influencia de Nietzsche caracteriza las culturas por sus rasgos más o menos apolíneos o dionisíacos, así, dice: «El contraste básico entre los indios pueblos y las demás culturas de Norteamérica es el contraste que ha sido señalado y descrito por Nietzsche en sus estudios sobre la tragedia griega. Nietzsche expone dos modos diametralmente opuestos de alcanzar los valores de la existencia. El dionisíaco los persigue mediante la aniquilación de los confines y límites ordinarios de la existencia. (...) El apolíneo, sólo conoce una ley, la medida en el sentido "helénico"». En *Patterns of Culture*, obra a la que pertenece la cita anterior, y que es un estudio de tres culturas primitivas (zuñí, kwakiutl y dobu), presenta una teoría de la cultura, a la que define como «ciencia de las costumbres», y en la que distingue configuraciones apolíneas, como en los zuñi, y dionisíacas, como en los kwakiutl y los dobu. Posteriormente estudió culturas europeas y asiáticas, especialmente la cultura del Japón. Fruto de este estudio es su obra *The Chrysanthemum and the Sword* (El crisantemo y la espada, 1946), que es un estudio comparativo de la sociedad japonesa, que ejerció gran influencia después de la segunda guerra mundial.

De 1930 en adelante, las hipótesis generales se suceden. Los ismos dominan también el panorama reciente. Así el funcionalismo, cuyas tesis ponen el énfasis en la necesidad de interpretar todo ras-

75. Ruth Fulton Benedict (1887-1948) antropóloga norteamericana, nacida en Nueva York, discípula de los etnólogos Kroeber y Franz Boas, profesora de Antropología en varias ciudades americanas, aunque ejerció fundamentalmente en la Columbia University de Nueva York. En 1947 fue presidente de la Asociación Americana de Antropología. Centró sus estudios en los indios serranos y los indios pueblo, aplicándose, en especial, al estudio de sus patrones culturales. De dichos estudios surgirá su influyente obra *Patterns of Culture* (Patrones de cultura) (1934). Benedict, como su alumna Margaret Mead, Ralph Linton y Abraham Kardiner, se relaciona con la corriente que se centró básicamente en la correlación entre cultura y personalidad.

go cultural dentro de un totalidad funcional integrada. El investigador británico, de origen polaco, Bronislaw Malinowski (autor de *Teoría científica de la cultura y otros ensayos*, 1944) reaccionó, con su funcionalismo, contra una consideración fragmentaria y relativista de la cultura. Aunque su obra de investigación de campo sea mucho más rica que su aportación teórica, Malinowski también intentó formular «leyes» de la vida cultural, que expuso en la obra citada. El problema fundamental de la metodología antropológica, según Malinowski, consiste en comprender científicamente qué es en realidad la cultura, que él entiende como un enorme aparato artificial, creado por el hombre para satisfacer sus necesidades como individuo y como grupo. La creación cultural misma suscita nuevas necesidades y determina la aparición de valores integradores —ideas, fes religiosas, reglas morales— sintetizados por la actividad simbólica que interviene en la formación de la cultura. La religión y la magia, que son precisamente algunos de estos valores integradores, desarrollan la función de liberar al hombre de una condición existencial caracterizada por la ansiedad y el conflicto (*Ciencia y religión*, 1930). En su clásica *Los argonautas del Pacífico occidental* (1922), Malinowski se ocupa de los aspectos económicos de la vida melanesia, poniendo de relieve los aspectos de los rituales mágicos, tanto en el cultivo de los huertos como en el intercambio de collares y brazaletes entre las poblaciones de las distintas islas.

Otro representante del funcionalismo fue el antropólogo inglés Alfred Reginald Radcliffe-Brown. Como Malinowski, Radcliffe-Brown rechazaba la «historia conjetural» de los evolucionistas y de los difusionistas en nombre de la adhesión al dato etnográfico. Radcliffe-Brown contrapuso más bien, y de modo aún más claro que Malinowski, el método histórico de la etnología al científico de la antropología. Autor, entre otras obras, de *Estructura y Función en la Sociedad primitiva* (1952), Radcliffe-Brown centró sus estudios más en la sociedad que en la cultura, lo que marcó la orientación general de la antropología británica.

El período posterior a 1930 demostró lo distinta que era la concepción que los dos estudiosos tenían de la antropología, aunque a ambos se les aplicase la etiqueta de funcionalistas. Malinowski, sobre todo en sus escritos más tardíos, buscaba la función de cada institución social en la respuesta que ésta daba a una necesidad bio-

lógica o psicológica; Radcliffe-Brown lo hacía en la contribución que ésta aportaba al funcionamiento del sistema social en su totalidad (*Sobre el concepto de función en las ciencias sociales*, 1935). La concepción de Malinowski era pragmatista, la de Radcliffe-Brown, organicista. El primero aceptaba el concepto de «cultura» propuesto por los antropólogos estadounidenses, el segundo lo rechazaba y lo sustituía por el de «estructura social» (*La estructura social*, 1940), que hay que entender como «la red» de las relaciones sociales que vincula a los individuos de toda la sociedad (a través de obligaciones jurídicas y morales, preceptos religiosos, normas de comportamiento entre parientes, etc.) y permite su funcionamiento.

Posteriormente, la antropología inglesa ha seguido una línea más concreta, más amiga de la descripción y menos de la teorización. Entre sus cultivadores destaca Edward Evan Evans-Prittchard, quien en *Los nuer* suministra un excelente ejemplo de una investigación pegada al terreno, sin alardes pseudofilosóficos y de una modestia que poco a poco ha revelado su importancia. Evans-Pritchard[76] es el antropólogo británico más preeminente de la posguerra, por sus numerosos escritos y por el gran número de alumnos que formó en Oxford, muchos de los cuales se convertieron más tarde en importantes antropólogos. Catedrático de Antropología social en Oxford y africanista, Evans-Prittchard llevó a cabo numerosas e importantes investigaciones sobre el terreno entre algunas poblaciones del Alto Nilo: los azande y los nuer. Su primera gran obra *Brujería, oráculos y magia entre los azande* (1937), investigación sobre la coherencia en los modos de pensamiento, contradice implícitamente muchas de las ideas de Lucien Lévy-Bruhl sobre el modo de razonamiento «prelógico» entre los hombres «primitivos». Demostraba, de modo pormenorizado, que las creencias aparentemente irracionales sobre asuntos como la brujería y la

76. Edward Evans-Prittchard (1902-1973), antropólogo británico, uno de los principales dirigentes de la escuela inglesa de antropología. Nació en Crowborough, Sussex, y estudió en las universidades de Oxford y Londres. Antes de la I Guerra Mundial dio clases en las universidades de Londres y El Cairo, y dirigió una serie de expediciones a pueblos del Sudán. En 1946 fue nombrado catedrático de Antropología social y miembro del All Souls College de la Universidad de Oxford. Se le concedió el título de sir en 1968.

adivinación están sistemáticamente interrelacionadas. Una vez aceptadas las premisas de este tipo de sistemas, pueden resultar tan coherentes en cuanto a la lógica como las creencias supuestamente más racionales de los occidentales. Mientras realizaba su trabajo de campo entre grupos del pueblo azande, organizó su vida según los dictados de los adivinadores y, tras un período inicial de adaptación, llegó a la conclusión de que el procedimiento de planificación de sus días era perfectamente razonable.

Evans-Pritchard también alcanzó fama con su trilogía sobre el pueblo nuer del Sudán. Hasta su estudio, los nuer habían sido considerados un grupo bastante anárquico, carente de estructura social significativa. En *Los nuer: descripción de los modos de vida y las instituciones políticas de un pueblo nilótico* (1940), demostró que estaban organizados de acuerdo con un sistema de agrupación flexible, en el que los individuos se reunían en grupos o unidades más jerarquizadas según la naturaleza del hecho con el que tuvieran que enfrentarse. Su *Parentesco y matrimonio entre los nuer* (1951) es un estudio exhaustivo sobre los procedimientos y prácticas relacionados con el parentesco y la vida doméstica. Con *La religión de los nuer* (1956), colección de ensayos sobre diversos aspectos de la cosmología y el simbolismo de este pueblo, intentó demostrar que las creencias religiosas de un pueblo supuestamente primitivo pueden ser tan sutiles, complejas y dignas de una investigación detallada como las de cualquier religión oficial litúrgica.

Evans-Pritchard no consideraba la antropología como una ciencia independiente, sino como una rama de las ciencias humanas, y hacía hincapié en el papel de «traductor de culturas» del antropólogo. En contraposición al enfoque no-histórico de sus inmediatos predecesores, Bronislaw Malinowski y Radcliffe-Brown, subrayó la estrecha relación que existe entre antropología e historia, de lo que es buen ejemplo su etnografía histórica *Los sanusi de Cirenaica* (1949). Escribió también otras obras, entre las que pueden citarse: *Antropología social* (1951), *Antropología e historia* (1953), *Las teorías de la religión primitiva* (1956), *Teorías sobre religión primitiva* (1965) y *Hombre y mujer entre los azande* (1974).

Su contribución a la antropología cultural se orienta, fundamentalmente, hacia el estudio de la estructura social siguiendo las pautas de la corriente funcional-estructuralista inaugurada por Rad-

cliffe-Brown. Evans-Pritchard articuló el estudio de su sociedad y de su cultura en una serie de monografías dedicadas a la organización política, a la religión, al parentesco, al matrimonio, analizando sobre todo la relación del grupo con la cultura de la crianza de animales y sobre la relación entre densidad de población en un territorio, en función del sistema social y político. Destaca su investigación sobre el papel simbólico del ganado en dichas sociedades, llegando a afirmar la equivalencia simbólica entre los animales y el ganado, mediante la cual éstos se presentan como realidades del mismo orden y son intercambiables. Dicha equivalencia se manifiesta también, según Evans-Pritchard, en la relación de sacrificio entre el hombre y el dios, dado que en el sacrificio se ofrenda el animal en lugar del hombre. El ganado es necesario, pues, no sólo para el alimento y para el matrimonio, como precio que se ha de pagar por la esposa, sino también para la santificación de las empresas sociales y para la victoria contra cualquier mal.

Otra tendencia es la del neoevolucionismo cultural, representado por Leslie A. White y por Julian Steward. Es una corriente fuertemente influida por el marxismo, que considera que el conjunto de la sociedad humana evoluciona hacia formas cada vez más complejas de estructura social, y que el estudio de la antropología debe enfocarse desde esta perspectiva. Los neoevolucionistas han reexaminado las aportaciones de los evolucionistas culturales del s. XIX, a los que han reivindicado, aunque sin caer en sus ingenuidades ni en sus concepciones etnocentristas. Especialmente remarcable es el punto de vista de L. White, según el cual la dirección fundamental de la evolución cultural está determinada en gran parte por las cantidades de energía disponibles.

Lo más destacable de la obra de White[77] —que es más un teórico de la antropología cultural que un antropólogo en sentido convencional, razón por la cual a menudo fue considerado como un antropólo-

77. Leslie Alvin White (1900-1975), antropólogo neoevolucionista norteamericano. Nació en Salindo (Colorado) el 19 de enero de 1900. Estudió en Louisiana y en las universidades de Columbia y Chicago. Fue profesor en las universidades de Búfalo (entre 1927 y 1930) y Michigan (1930 hasta su jubilación en 1970), donde creó el Departamento de Antropología. Murió el 3 de abril de 1975. Sus primeros estudios se centraron en los indios Pueblo.

go poco ortodoxo— está contenido en sus dos textos principales: *La ciencia de la cultura*, publicado en 1948 y dedicado a su esposa, y *La evolución de la cultura*, publicado en 1959, aunque también escribió numerosos artículos. Puede considerarse como el iniciador de la corriente del neoevolucionismo cultural a partir del reexamen crítico de los trabajos de los evolucionistas culturales decimonónicos (Morgan, especialmente) y de la obra de E.B. Tylor (muy apreciada por White), y de la censura a la falta de una teoría global y causal de la cultura propia de los antropólogos de la primera mitad del s. XX, tanto difusionistas como funcionalistas. Dos son los aspectos más notables del pensamiento de White: a) su concepción de la cultura como un *continuum* autónomo propio del conjunto de la especie humana (que en ciertos aspectos se semeja a la concepción popperiana del mundo 3). Debido al hecho de considerar la cultura en general como atributo propio de la humanidad, White propone la creación de una nueva ciencia, la *Culturología*, que examine la cultura sin caer en los reduccionismos sociologistas, economicistas o psicologistas. b) Su influyente teoría según la cual la dirección global de la cultura humana está determinada por las cantidades de energía que se pueden captar y poner a trabajar per cápita anualmente, ya que la vida, en general, y la vida humana, en particular, son mecanismos de organización energéticos que marchan en sentido contrario al segundo principio de la termodinámica. Cada nuevo dominio de formas de energía constituye un nuevo logro cultural que, al incorporarse a la cultura, ocasiona innumerables efectos de retroalimentación.

Aunque no es propiamente un marxista, su obra está fuertemente influenciada por el materialismo histórico de Marx y Engels. Como estos autores, cree que existe alguna ley causal general capaz de explicar la dinámica cultural a partir de elementos estrictamente materiales (su mencionada teoría de la optimización de las formas de energía combinadas con evoluciones tecnológicas). Así, si para Marx los cambios en los modos de producción son, hasta cierto punto, los determinantes de la evolución de la superestructura ideológica, para White los cambios en los niveles de aprovechamiento de las formas de energía (las plantas y los animales en la revolución neolítica; la fuerza del vapor, los motores de combustión interna y la electricidad, en la época de la revolución industrial y la desintegración del átomo en la época contemporánea) son los que determinan la evolución cultural.

Como neoevolucionista cultural huye de las generalizaciones ingenuas de los evolucionistas del siglo XIX, y no sustenta la ineludible necesidad de un tránsito rígidamente pautado entre formas culturales sucesivas. Pero, aunque no afirme que todas las culturas que posean los mismos desarrollos tecnológicos hayan de desarrollar patrones culturales exactamente comparables en sus detalles, sí sostiene que existen tendencias generales parecidas en la sucesión de formas culturales. Al igual que Julian Steward, otro importante neoevolucionista cultural, estuvo fascinado por las notables semejanzas en los desarrollos culturales de grandes civilizaciones, como las del Perú, México, Mesopotamia, Egipto y la China.

El materialismo cultural es una reelaboración del neoevolucionismo que, aunque se aparta de las concepciones más marcadamente marxistas, sigue considerando que la antropología cultural debe basarse en el estudio de los condicionantes materiales que surgen en las necesidades de producir alimentos, refugios, máquinas y, en general, de todos aquellos condicionantes materiales de la cultura. Entre sus representantes más destacados se encuentra Marvin Harris, antropólogo norteamericano contemporáneo vinculado a la tradición del materialismo cultural y a la sociobiología. Dada su vinculación a la corriente del materialismo cultural, Harris defiende que el objetivo fundamental de la antropología es proponer explicaciones causales a las diferencias y semejanzas que se encuentran entre los grupos humanos, en el pensamiento y en la conducta, y la mejor manera de llevar a cabo esta labor es a partir del estudio de los imperativos materiales que determinan la existencia humana: la necesidad de producir alimentos, refugios, útiles, etc. Las variaciones en estos imperativos materiales, que afectan decisivamente a la forma que tiene la población de enfrentarse con los problemas de satisfacer necesidades básicas dentro de un entorno determinado, son las causantes de las variaciones en los aspectos materiales o espirituales de la vida humana de cada comunidad.

Por otra parte, Harris también se ha mostrado muy vinculado a la sociobiología (ha escrito algunas obras conjuntamente con E.O. Wilson, el fundador de la sociobiología), a la que no solamente considera plenamente compatible con el materialismo cultural, sino que la concibe como una manifestación más de dicho enfoque materialista. Sin embargo, el estilo voluntariamente iconoclasta de

Harris y sus equívocas interpretaciones de tantos hechos humanos no permite asegurar su permanencia al lado de obras tan cuajadas como las de Evans-Prittchard, Boas, Malinowski o incluso, a pesar de sus extrapolaciones, Lévi-Strauss. Por otra parte, también la sociobiología ha hecho sus aportaciones a la antropología cultural.

Es evidente que, por problemas de espacio, hemos soslayado algunas importantes disciplinas científicas y que, por el mismo motivo, hemos pasado de puntillas sobre otras tantas. Sin embargo, al final del trayecto, consideramos que hemos alcanzado el objetivo propuesto: ofrecer al lector una historia básica de la ciencia.

Bibliografía

AA.VV.: *Historia de la bioquímica*, R.A.C.E.F.N., Madrid, 1985.

— *Historia de la física hasta el siglo XIX*, R.A.C.E.F.N., Madrid, 1983.

— *Historia de la química*, R.A.C.E.F.N., Madrid, 1981.

ABETTI, G.: *Historia de la astronomía*, F.C.E., México, 1956.

ACHINSTEIN, P.: «Inference to the best Explanation: Or Who Won the Mill-Whewell Debate?», *Studies in History and Philosophy of Science*, 1992, 23: 349-364.

AGASSI, J.: *Epistemología, Metafísica e Storia della Scienza*, Armando, Roma, 1978.

— *La Filosofia dell'uomo libero: Verso una Storiografia della Scienza*, Armando, Roma, 1978; ed. or.: Wesleyan Univ. Press, 1963.

AGAZZI, E.: *El bien, el mal y la ciencia. Las dimensiones éticas de la empresa científico-tecnológica*, Tecnos, Madrid, 1996.

— *Storia delle scienze*, Città Nuova, Roma, 1980.

AITON, E.J.: *Leibniz. Una biografía*, Alianza, Madrid, 1992; ed. or.: Adam Hilger, 1985.

ALBERTS, B.M.: *Biología molecular de la célula*, Omega, Barcelona, 1987.

ALONSO, C. J.: *Tras la evolución. Panorama histórico de las teorías evolucionistas*, EUNSA, Pamplona, 1999.

— *La agonía del cientificismo. Una aproximación a la filosofía de la ciencia*, EUNSA, Pamplona, 1999.

ARAGO, F.: *Grandes astrónomos*, 2 vols., Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1962.

ARANA, J.: «Galileo: el hombre y el filósofo», *Atlántida*, 1990, 2: 158-169.

— *Materia, universo, vida*, Tecnos, Madrid, 2001.

ARECCHI, T.: «Los límites del lenguaje científico», *Atlántida*, vol. 3, Madrid, 1990, pp. 65-71.

ARISTÓTELES: *Acerca del alma* (trad. de T. Calvo), Gredos, Madrid, 1994.

— *Física*, Trad. de G. Rodríguez de Echandía, Gredos, Madrid, 1995.

— *Investigación sobre los animales*, (trad. de J. Pallí), Gredos, Madrid, 1992.

— *Metafísica*, (ed. de V. García Yebra), Gredos, Madrid, 1970.

— *Reproducción de los animales*, (Trad. de E. Sánchez), Gredos, Madrid, 1994.

ARMERO, J. y RADA, E.: *Filosofía de la ciencia*, U.N.E.D., Madrid, 1989.

ARQUÍMEDES: «El arenario», en VERA, F., (ed.), *Científicos griegos*, vol. 2, Gredos, Madrid, 1970.

ARTIGAS, M.: *Ciencia, razón y fe*, 4.ª ed., Palabra, Madrid, 1992.

— *El desafío de la racionalidad*, 2.ª ed., EUNSA, Pamplona, 1999.

— *El hombre a la luz de la ciencia*, Palabra, Madrid, 1991.

— *Filosofía de la ciencia experimental*, 3.ª ed., EUNSA, Pamplona, 1999.

— *Karl Popper: Búsqueda sin término*, Magisterio Español, col. Crítica filosófica, Madrid, 1979.

— *La inteligibilidad de la naturaleza*, 2.ª ed., EUNSA, Pamplona, 1995.

— *Filosofía de la ciencia*, EUNSA, Pamplona, 1999.

ASIMOV, I.: *Breve historia de la química*, Alianza, Madrid, 1975.

— *El Universo. De la Tierra plana a los quásares*, Alianza Editorial/ Emecé, Madrid, 1973.

ATKINS, P.W.: *La creación*, Labor, Barcelona, 1983.

ATLAN, H.: *L'organisation biologique et la theorie de l'information*, Hermann, Paris, 1972.

AYALA, F.J.: «Teleological explanations in evolutionary biology», en *Philosophy of Science*, 1970, 37: 1-15.

— «El origen de la información genética», en Sanmartín, Simón, García-Mérita (eds.), 1986.

— *La teoría de la evolución*, Temas de Hoy, Madrid, 1994.

BACÓN, F.: *El avance del saber*, Alianza, Madrid, 1988.

— *Instauratio Magna*, 1620-23; trad. esp.: *La gran restauración. Aforismos sobre la interpretación de la naturaleza y el reino humano*, CV Alianza Editorial, Madrid 1985.

— *Novum organum*, 1620; trad. esp.: *Novum organum*, Losada, Buenos Aires, 1949.

— *Of the Dignity and Advancement of Learning*, vol. 3, cap. IV, en The Works of Francis Bacon, J. Spedding (ed.), London, 1870.

BALME, D.: «Aristotle's Biology was not essentialist», en GOTTHELF, A. y LENNOX, J. (eds.): *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, C.U.P., Cambridge, 1987.

BANFI, A.: *Vida de Galileo Galilei*, Alianza, Madrid, 1967.

BARROW, D. y TIPLER, F.: *The Anthropic Cosmological Principle*, Clarendon Press, Oxford, 1986.

BATTANER, E.: *Planetas*, Alianza, Madrid, 1991.

BAUDOUIN, J.: *Karl Popper*, P.U.F., Paris, 1989.

BECHTEL, W.: *Filosofía de la mente: una panorámica para la ciencia cognitiva*, Tecnos, Madrid, 1991.

BELTRÁN, A.: «De la historia de la ciencia a la filosofía de la ciencia», en *Kuhn*, 1989.

— *Galileo, el autor y su obra*, Barcanova, Barcelona, 1983.

— *Revolución científica, Renacimiento e historia de la ciencia*, Siglo XXI, Madrid, 1995.

BENOIT, P. y MICHEAU, F.: «¿El intermediario árabe?», en Serres (ed.), 1991.

BENOIT, P.: «La teología en el siglo XIII: una ciencia diferente a las demás», en Serres (ed.), 1991.

BENSAUDE-VINCENT, B.: «Lavoisier: una revolución científica», en Serres, 1991.

BERNAL, J.D.: *Historia social de la ciencia*, 2 vols., Península, Barcelona, 1967; ed. or.: Watts, London, 1964.

— *La proyección del hombre: la física clásica*, S.XXI, Madrid, 1975.

BERTALANFFY, L.: *Teoría general de los sistemas*, F.C.E., México, 1976; ed. or.: George Brazilller, New York, 1968.

BLUM, H.: *Time's Arrow and Evolution*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1968.

BOUDOT, A.: «Le déterministe est-il réfuté? Analyse de la critique poppériene du déterminisme scientifique dans 'The Open Universe'», en *Revue de Métaphysique et de Morale*, 1988, 93: 489-512.

BOUVERESSE, R. (ed.): *Karl Popper et la science d'aujourd'hui*, Aubier, Paris, 1989.

BOUVERESSE, R. y BARREAU, H. (eds.): *Karl Popper. Science et Philosophie*, Vrin, Paris, 1991.

BOWLER, P.: *Charles Darwin. The Man and His Influence*, Blackwell, Oxford, 1990; trad. esp.: *Charles Darwin. El hombre y su influencia*, Alianza, Madrid, 1995.

— *El eclipse del darwinismo*, Labor, Barcelona, 1985; ed. or.: The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1983.

— *The Environmental Sciences*, Fontana, London, 1992; trad. esp.: *Historia Fontana de las ciencias ambientales*, F.C.E., México, 1998.

BOYER, M., 1993, «Las interpretaciones de Copenhague y la interpretación popperiana de la mecánica cuántica», en Schwartz, Rodríguez y Méndez (eds.), 1993.

BRAITHWAITE, R.B.: *La explicación científica*, Tecnos, Madrid, 1965; ed. or.: C.U.P., Cambridge, 1953.

BRANDMÜLLER, W.: *Galileo y la Iglesia*, 2.ª ed., Rialp, Madrid, 1992.

BRENNER, A.: *Duhem. Science, réalité et apparence. La relation entre philosophie et histoire dans l'oeuvre de Pierre Duhem*, Vrin, Paris, 1990.

BRESCH, C.: *La vida, un estadio intermedio*, Salvat, Barcelona, 1987.

BROOKS, D. y WILEY, E.: *Evolution as Entropy*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1986.

BRUNO, G.: *La cena de las cenizas*, Alianza, Madrid, 1986.

BURTT, E.A.: *Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*, Sudamericana, Buenos Aires, 1960; ed. or.: London, 1950.

BUTTERFIELD, H.: *Los orígenes de la ciencia moderna*, 2.ª reimp., Taurus, Madrid, 1982; ed. or.: *The Origins of Modern Science*, Bell & Sons, London, 1949.

BYNUM, W.F., BROWNE, E.J. y PORTER, R. (eds.): *Dictionary of the History of Science*, Macmillan, London, 1981; trad. esp.: *Diccionario de historia de la ciencia*, Herder, Barcelona, 1986.

CADEVALL, M.: *La estructura de la teoría de la evolución*, Univ. Autónoma de Barcelona, Bellaterra, 1988.

CHALMERS, A.F.: *La ciencia y cómo se elabora*, Siglo XXI, Madrid, 1992; ed. or.: Open Univ. Press, 1990.

— *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?*, Siglo XXI, Madrid, 1984; ed. or.: Univ. of Queensland Press, 1982.

COHEN, I.B.: *La revolución newtoniana y la transformación de las ideas científicas*, Alianza, Madrid, 1983.

— *Revolución en la ciencia*, Gedisa, Barcelona, 1989; ed. or.: Harvard Univ. Press.

COHEN, M. y NAGEL, E.: *Introducción a la lógica y al método científico*, 2 vols., Amorrortu, Buenos Aires, 1968.

COOPER, L.: *Galileo and the Tower of Pisa*, Itaca, Cornell University Press, New York, 1935.

COPÉRNICO, N.: *Sobre las revoluciones de los orbes celestes*, Tecnos, Madrid, 1987.

COPÉRNICO, N., DIGGES, T. y GALILEI, G.: *Opúsculos sobre el movimiento de la Tierra*, Alianza, Madrid, 1982.

CORSI, P. y WEIDLING, P. (eds.): *Information Sources in the History of Science and Medicine*, Butterworths, London, 1983.

CROMBIE, A.C.: *Historia de la ciencia de San Agustín a Galileo*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1974; ed. or.: *Augustine to Galileo*, 1959.

— *Styles of Scientific Thinking in the European Tradition*, 3 vols., Duckworth, London, 1994.

CRUSAFONT, M., y col.: *La evolución*, BAC, Madrid, 1974.

CUEILLERON, J.: *Histoire de la Chimie*, P.U.F., Paris, 1957.

DAMPIER, W.C.: *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*, Tecnos, Madrid, 1972; ed. or.: C.U.P., Cambridge, 1942.

DARWIN, Ch.: *Journal of researches into the natural history and geology of the countries visited during the voyage of H.M.S. «Beagle» round the world*, 2.ª ed., Colonial and Home library, London, 1845; trad. esp.: Espasa-Calpe, 2 vols., Madrid, 1935.

— *Autobiografía*, Alianza, Madrid, 1977.

— *Ensayo sobre el instinto*, Tecnos, Madrid, 1983.

— *La expresión de las emociones en los animales*, Alianza, Madrid, 1984.

— *On the origin of species by means of natural selection*, London, 1859; 6.ª ed.: *The origin of species by means of natural selection*, John Murray, London, 1872 (última revisada por Darwin); trad. esp. de esta edición: *El origen de las especies*, Espasa-Calpe, Col. Austral, Madrid, 1988.

— *The descent of man, and selection in relation to sex*, London, John Murray, 1871; trad. esp.: *El origen del hombre*, EDAF, Madrid, 1970.

— *The Variation of Animals and Plants under Domestication*, 2 vols., 2.ª ed., John Murray, London, 1872.

DARWIN, F.: *The life and letters of Charles Darwin, including an autobiographical chapter*, John Murray, London, 1887; *La vie et la correspondance de C. Darwin*, trad. francesa de H.C. de Varigny, Reinwald edit., Paris, 1888.

DAVIES, P.: *God and the new Physics*, Dent, London, 1983.

DAWKINS, R.: *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 1985; ed. or., 1976.

DE BEER, G. y COL.: «Darwin's notebooks on transmutation of species», *Bull. Brit. Mus. (Nat. Hist.)*, 1960, 2: 27-200; 3: 129-176.

DEPEW, D.J. y WEBER, B.H.: *Darwinism Evolving*, MIT Press, Cambridge, Mass., 1995.

DESCARTES, R.: *Discurso del método*, Alfaguara, Madrid, 1981.

— *El mundo*, Alianza, Madrid, 1991.

— *Les principes de la philosophie*, Vrin, Paris, 1964; trad. esp.: *Los principios de la filosofía*, Alianza, Madrid, 1995.

DEVEREUX, D. y PELLEGRIN, P. (eds.): *Biologie, Logique et Métaphysique chez Aristote*, C.N.R.S., Paris, 1990.

DICKS, D.R.: *Early Greek Astronomy to Aristotle*, Thames & Hudson, London, 1970.

DOBZHANSKY, T., AYALA, F.J., STEBBINS, G.L. y VALENTINE, J.W.: *Evolución*, Omega, Barcelona; ed. or.: Freeman, San Francisco, 1983.

DRAKE, S.: *Galileo*, Alianza, Madrid, 1983.

DROUIN, J-M.: «De Linneo a Darwin: los viajeros naturalistas», en SERRES (ed.), 1991.

— «Mendel: faceta jardín», en SERRES (ed.), 1991.

DUHEM, P.M.M.: *Le système du monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, 10 vols., Hermann, Paris, 1913-1959.

— *La Theorie physique. Son object. Sa structure*, Chevalier Rivière, Paris, 1914; reed.: Vrin, 1989.

— *Le systeme du monde: histoire des doctrines cosmologiques de Platon a Copernic*, 10 vols., Hermann, Paris, 1913-59 [reed. 1976].

— *SOZEIN TA PHAINOMENA. Essai sur la notion de theorie physique de Platon a Galilée*, Hermann, Paris, 1908; reed.: Vrin, 1990.

ECCLES, J.C.: «The World of Objective Knowledge», en Schilpp (ed.), 1974.

ECCLES, J.C. y ROBINSON, D.N.: *The Wonder of Being Human. Our Brain and our Mind*, The Free Press, New York, 1984.

ELDERS, L.J.: «Un diálogo imprescindible», *Nuestro Tiempo*, Pamplona, vol. 359, pp. 116-120.

ELENA, A.: *A hombros de gigantes. Estudios sobre la primera revolución científica*, Alianza, Madrid, 1989.

— *La revolución astronómica*, en Puerto (ed.), vol. 12, Akal, Madrid, 1995.

— *Las quimeras de los cielos. Aspectos epistemológicos de la revolución copernicana*, Siglo XXI, Madrid, 1985.

ELENA, A. y MARTÍNEZ-ALBERTOS, A.: *Bibliografía española de historia de la ciencia y de la tecnología*, Univ. Autónoma de Madrid, Madrid, 1988-1989.

ELENA, A. y ORDÓÑEZ, J.: *Historia de la ciencia*, 2 vols., Univ. Autónoma de Madrid, Madrid, 1988.

EMPÉDOCLES: *De la Naturaleza*, en KIRK, G.S. y RAVEN, J.E.: *Los filósofos presocráticos*, Gredos, Madrid, 1969.

EINSTEIN, A.: *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, Alianza, Madrid, 1984.

FARRINGTON, B.: *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ariel, Barcelona, 1977.

— *Ciencia y política en el mundo antiguo*, Ayuso, Madrid, 1973.

— *Francis Bacon, filósofo de la revolución industrial*, Ayuso, Madrid, 1971.

— *La ciencia griega*, Icaria, Barcelona, 1979.

FICHANT, M. y PECHEUX, M.: *Sur l'histoire des sciences*, Maspero, Paris, 1971; trad. esp.: Buenos Aires, 1975.

FINOCCHIARO, M.A.: *Galileo and the Art of Reasoning*, Reidel, Dordrecht, 1980.

FISCHER, K.: *Galileo Galilei*, Herder, Barcelona, 1986; ed. or.: Verlag C.H. Beck, Munich, 1983.

GALILEI, G.: *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid, 1976.

— *Dialogo di Galileo Galilei linceo... dove ne i congressi di quattro giornate si discorre sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico e copernicano*, 1632; trad. esp.: *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo ptolemaico y copernicano*, Alianza Editorial, Madrid, 1995.

— *El ensayador*, Aguilar, Buenos Aires, 1981.

GALILEI, G. y KEPLER, J. *El mensaje y el mensajero sideral*, Alianza, Madrid, 1984.

GAMOW, G.: *Biography of Physics*, Harper & Brothers, Publishers, New York, 1961; trad. esp.: *Biografía de la física*, Alianza, Madrid, 1980.

GARCÍA, M.: *Exposición crítica de las teorías vigentes sobre el origen de la vida*, Anthropos, Barcelona, 1982.

GARDNER, M.: *La ciencia: lo bueno, lo malo y lo falso*, Alianza Editorial, Madrid, 1988.

GARIN, E.: *La revolución cultural del renacimiento*, Crítica, Barcelona, 1981; ed. or.: Sansoni, Florencia; Morano, Napoles; Laterza, Roma-Bari, 1967-76.

— *El zodíaco de la vida*, Península, Barcelona, 1981a; ed.or.:Laterza, Roma-Bari.

— *Ciencia y vida civil en el renacimiento italiano*, Taurus, Madrid, 1982; ed.or.: Laterza, Roma-Bari, 1980.

GATLIN, L.: *Information theory and the living Systems*, Columbia Univ. Press, New York, 1972.

GEHLEN, A.: *Der Mensch seine Natur und seine Stellung in der Welt*, Francfort, 1966.

GELB, I.J.: *Historia de la escritura*, Alianza, Madrid, 1976; ed. or.: The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1952.

GEYMONAT, L.: *Galileo Galilei*, Península, Barcelona, 1969; ed. or.:1957.

GHISELIN, M.: «A Radical Solution to the Species Problem», en *Systematic Zoology*, 1974, 23: 536-44.

GILLISPIE, C.C. (ed.): *Dictionary of Scientific Biography*, 16 vols., Charles Scribner's Sons, New York, 1981.

— *The Edge of Objectivity; an Essay in the History of Scientific Ideas*, Princeton New Jersey, 1960.

GILSON, E.: *La filosofía en la Edad Media*, 2 vols., Gredos, Madrid,1958; ed. or.: Payot, Paris, 1952.

GOMIS, A.: *Las civilizaciones fluviales. Egipto y Mesopotamia*, en Puerto (ed.), vol. 2, Akal, Madrid, 1992.

GONZALO, L.M.: «El ordenador nunca podrá reflexionar», *Nuestro Tiempo*, vol. 372, Pamplona, VI-1985.

GORDON, S.: *Historia y filosofía de las ciencias sociales*, Ariel, Barcelona, 1995.

GOTTHELF, A. y LENNOX, J (eds.): *Philosophical Issues in Aristotle's Biology*, C.U.P., Cambridge, 1987.

GOULD, S. J.: *Dientes de gallina y dedos de caballo*, Hermann Blume, Madrid, 1980.

— *El pulgar del panda*, Hermann Blume, Madrid, 1977.

— *La vida maravillosa*, Crítica, Barcelona, 1999.

GRASSÉ, P.P.: *Evolución de lo viviente*, Hermann Blume, Madrid, 1977.

GREENBERGER, M.: *La empresa del ordenador del futuro*, 1962.

GRIBBIN, J.: *En busca de la doble hélice*, Salvat, Barcelona, 1986; ed. or.: Transworld, London, 1985.

HACKING, I. (ed.): *Revoluciones científicas*, F.C.E., México, 1985; ed. or.: Oxford Univ. Press, New York, 1981.

— *Representing and Intervening. Introductory Topics to the Philosophy of Natural Science*, C.U.P., Cambridge, 1983.

HAKEN, H.: *Fórmulas de éxito en la naturaleza*, Salvat, Barcelona, 1986.

HALL, A.R.: *La revolución científica, 1500-1750*, Crítica, Barcelona, 1985; ed.or.: Longman, London, 1954.

HARRE, R.: *Grandes experimentos científicos*, Labor, Barcelona, 1986.

HARTLEY, H.: *Studies in the History of Chemistry*, Clarendon Press, Oxford, 1971.

HAWKING, S.W.: *Historia del tiempo. Del big bang a los agujeros negros*, Alianza, Madrid, 1988.

HEATH, T.L.: *Greek Astronomy*, Dover, New York, 1991.

HERÁCLITO: *De la Naturaleza*, en KIRK, G.S. y RAVEN, J.E.: *Los filósofos presocráticos*, Gredos, Madrid, 1969.

HERSCHEL, J.: *A Preliminary Discourse on the Study of Natural Philosophy*, Longman, London, 1830.

HOLTON, G.: *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Revert, Barcelona, 1987; ed. or.: Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.

HOOKE, R.: *Micrografía*, Alfaguara, Madrid, 1989.

HULL, L.W.H.: *History and Philosophy of Science*, 2.ª ed., Longmans, London, 1959; trad. esp.: *Historia y Filosofía de la ciencia*, Ariel, Barcelona, 1989.

JAHN, I., LOTHER, R. y SENGLAUB, K.: *Historia de la biología*, Labor, Barcelona, 1989; ed. or.: VEB Gustav Fischer Verlar, Jena, 1985.

JAKI, S.L.: *The Relevance of Physics*, 2.ª reimp., The University of Chicago Press, Chicago, 1966.

— *The Milky Way: An Elusive Road for Science*, Science History Publications, New York, 1972.

— *Planets and Planetarians: A History of Theories of the Origin of Planetary Systems*, Scottish Academic Press, Edinburgh, 1978.

— *The Origin of Science and the Science of its Origins*, Scottish Academic Press, Regenery/ Gateway, Edinburgh, 1978.

— *Uneasy Genius: The Life and Work of Pierre Duhem*, Martinus Nijhoff, La Haya, 1984.

— *Chance or Reality and Other Essays*, University Press of America and Intercollegiate Studies Institute, Lanhan and London, 1986.

— *God and the Cosmologists*, Scottish Academic Press, Edinburgh, 1989.

— *Ciencia, Fe, Cultura*, Palabra, Madrid, 1990.

JEANS, J.: *Historia de la física*, F.C.E., México, 1960.

JONES, E.: *La vie et l'oeuvre de Sigmund Freud*, Presses Univ., Paris, 1981.

JONHSON, P.: *A History of the Modern World*, 1983; trad. esp.: *Tiempos Modernos*, Javier Vergara (ed.), Buenos Aires, 1988.

KANT, I.: *Historia general de la naturaleza y teoría del cielo*, Juárez, Buenos Aires, 1969.

— *Opúsculos de filosofía natural*, Alianza, Madrid, 1992.

KAUFFMAN, S.: *The Origin of Order. Self-Organization and Selection in Evolution*, Oxford Univ. Press, New York, 1993.

KEPLER, J.: «Conversaciones con el mensajero sideral», en GALILEI, G. y KEPLER, J., 1984.

KIMURA, M.: «Teoría neutralista de la evolución molecular», en PREVOSTI (ed.), 1987.

KIRK, G.S. y RAVEN, J.E.: *Los filósofos presocráticos*, Gredos, Madrid, 1969; ed. or.: C.U.P., Cambridge, 1966.

KOHN, D. (ed.): *The Dawinian Heritage*, Princeton Univ. Press, Princeton, 1985.

KOYRÉ, A.: *La révolution astronomique*, Hermann, Paris, 1961.

— *Études newtoniennes*, Gallimard, Paris, 1968; *Newtonian Studies*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1965.

— *Études d'histoire de la pensée scientifique*, P.U.F., Paris, 1966; trad. esp.: *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI, Madrid, 1977.

— *Études Galiléennes*, Hermann, Paris, 1940; trad. esp.: *Estudios galileanos*, Siglo XXI, Madrid, 1980.

— *From the Closed World to the Infinite Universe*, The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore, 1957; trad. esp.: *Del mundo cerrado al universo infinito*, Siglo XXI, Madrid, 1979.

— *Pensar la ciencia*, Paidós, Barcelona, 1994.

KRAGH, H.: *Introducción a la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1989; ed.or.: C.U.P., Cambridge,1987.

KUHN, T.S.: «¿Lógica del descubrimiento o psicología de la investigación?» en LAKATOS, I. & MUSGRAVE, A. (eds.): *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, Grijalbo, Barcelona, 1975.

— *The Structure of Scientific Revolutions*, Univ. of Chicago Press, Chicago, 1962; trad. esp.: *La estructura de las revoluciones científicas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1990.

— *La revolución copernicana*, Ariel, Barcelona, 1978; ed. or.: Havard, Cambridge, Mass., 1957.

— *Segundos pensamientos sobre paradigmas*, Tecnos, Madrid, 1978.

— *La teoría del cuerpo negro y la discontinuidad cuántica, 1894-1912*, Alianza, Madrid, 1980; ed. or.: Clarendon Press, Oxford, 1978.

— *La tensión esencial*, F.C.E., México, 1983; ed. or.: Univ. of Chicago Press, Chicago, 1977.

— *¿Qué son las revoluciones científicas?*, Paidós, Barcelona, 1989.

LAFUENTE, A. y SALDAÑA, J.J.: *Historia de las ciencias*, C.S.I.C., Madrid, 1987.

LAKATOS, I.: *La historia de la ciencia y sus reconstrucciones racionales*, Tecnos, Madrid, 1974.

LAMARCK: *Filosofía zoológica*, Mateu, Barcelona, 1971.

LAPLACE, P.S.: *Breve historia de la astronomía*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1947.

LATOUR, B.: «Pasteur y Pouchet: heterogénesis de la historia de las ciencias», en Serres (ed.), 1991.

— «Joliot: punto de encuentro de la historia y de la física», en SERRES (ed.), 1991.

— *Ciencia en acción*, Labor, Barcelona, 1992; ed. or.: Open Univ. Press, Buckingham, 1987.

LAUDAN, L.: *El progreso y sus problemas*, Encuentro, Madrid, 1986; ed. or.: Univ. of California Press, 1977.

LAURENT, G.: «Cuvier y Lamarck: la querella del catastrofismo», en *Mundo Científico*, 1987, 66: 136-144.

LEIBNIZ, G.W.: *Nuevos ensayos sobre el entendimiento humano*, Editora Nacional, Madrid, 1983.

LEICESTER, H.M.: *Panorama histórico de la química*, Alhambra, Madrid, 1967.

LENNOX, J.: «Are Aristotelian Species Eternal?», en *Aristotle on Nature and Living Things*, Mathesis Publications y Bristol Classical Press, Pittsbrugh, 1985.

L'HÉRITIER, P. y COL.: *La grande aventure de la génétique*, Flammarion, Paris, 1984.

LIMA-DE-FARIA, A.: *Molecular Evolution and Organization of the Chromosome*, 2.ª ed., Amsterdam, 1986.

LLOYD, E.: *The Structure and Confirmation of Evolutionary Theory*, Greenwood Press, London, 1988.

LLOYD, G.E.R.: *Adversaries and Authorities. Investigations into Ancient Greek and Chinese Science*, C.U.P., Cambridge, 1996.

— *Polarity and Analogy*, C.U.P., Cambridge, 1966.

— *Early Greek Science. Thales to Aristotle*, Chatto & Windus, London, 1970; trad. esp.: Eudeba, Buenos Aires, 1977.

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

— *The revolution of Wisdom: Studies in the Claims and Practice of Ancient Greek Science*, Univ. of California Press, Berkeley, 1987.

LOCKE, D.: *Science as Writing*, Yale Univ. Press, London, 1992.

LÓPEZ PIÑERO, J.M.: *Breve historia de la medicina*, Alianza, Madrid, 1984.

LOVEJOY, A.O.: *The Great Chain of Being. A Study of the History of an Idea*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1936; trad. esp.: *La gran cadena del ser*, Icaria, Barcelona, 1983.

MACH, E.: *Desarrollo histórico crítico de la mecánica*, Espasa-Calpe, Madrid, 1959; reed. Francesa: Gabay, Paris, 1987.

MADDOX, J.: *Lo que queda por descubrir*, Debate, Madrid, 1999.

MAGEE, B.: *Popper*, Grijalbo, Barcelona, 1974; ed. or.: Fontana-Collins, London, 1973.

MAHAJAN, G.: *Explanation and Understanding in the Human Sciences*, Oxford Univ. Press, Nueva Delhi, 1992.

MANUEL, F.E.: *A Portrait of Isaac Newton*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1968.

MARCOS, A.: *Pierre Duhem: la filosofía de la ciencia en sus orígenes*, P.P.U., Barcelona, 1988.

— «Darwinismo holista», *Contextos*, VIII-1990, 15-16: 295-300.

— «Información y evolución», *Contextos*, IX-1991, 17-18: 197-214.

— «Información y entropía», *Arbor*, 1991, 549: 111-135.

— «Neodarwinismo, teoría de la información y termodinámica: estado de la cuestión», en *Estudios Filosóficos*, 1992, 41: 215-252.

— «Biología, realismo y metáfora», *Agora. Papeles de Filosofía*, Universidad de Santiago de Compostela, 1996.

— *Aristóteles y otros animales. Una lectura filosófica de la Biología aristotélica*, P.P.U., Barcelona, 1996, prefacio de G.E.R. Lloyd.

MARGALEF, R.: «Variaciones sobre el tema de la selección natural. Exploración, selección y decisión en sistemas comlejos de baja energía», en *Proceso al azar*, WAGENSBERG (ed.), Tusquets, Barcelona, 1986.

MASON, S.: *Historia de las ciencias*, 5 vols., Alianza, Madrid, 1984-86.

MAYR, E.: *The Growth of Biological Thought*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1982.

— «The Ontological Status of Species: Scientific Progress and Philosophical Terminology», en *Biology and Philosophy*, 1987, 2: 145-166.

— *Toward a New Philosophy of Biology*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass, 1988.

— *One Long Argument. Charles Darwin and the Genesis of Modern Evolutionary Thought*, Penguin Press, 1992; trad. esp.: Crítica, Barcelona, 1992.

MCSHEA, D.W.: «Complexity and Evolution: What Everybody Knows», *Biology and Philosophy*, 1991, 6: 303-324.

MEDAWAR, P.: *Aristotle to Zoos: A Philosophical Dictionary of Biology*, Harvard Univ. Press, Cambridge, Mass., 1983.

MERTON, R.: *La sociología de la ciencia*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1977; ed. or.: The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1973.

— *Ciencia, tecnología y sociedad en la Inglaterra del siglo XVII*, Alianza, Madrid, 1984.

MINSKY, M.: «¿Serán los robots quienes heredarán la Tierra?», *Investigación y ciencia*, XII-1994, pp. 90-91.

MONOD, J.: *El azar y la necesidad*, Tusquets, Barcelona, 1981; ed. or.: Seuil, Paris, 1970.

MOSTERIN, J.: *Historia de la filosofía*, 5 vols., Alianza, Madrid, 1983.

— *Conceptos y teorías en la ciencia*, Alianza, Madrid, 1984.

— *Teoría de la escritura*, Icaria, Barcelona, 1993.

NEEDHAM, J.: *De la ciencia y la tecnología chinas*. Siglo XXI, Madrid, 1978; ed. or.: C.U.P., Cambridge, 1970.

— «Conferencia Hobhouse», Bedford College, London, 1951, *Journ. History of Ideas*, 1951, 12: 3.194.

— *La gran titulación. Ciencia y sociedad en Oriente y Occidente*, Alianza Editorial, Madrid, 1977.

— *Science and Civilization in China, History of Scientific Thought*, vol. II, C.U.P., Cambridge, 1956.

NEUGEBAUER, O.: *A History of Ancient Mathematical Asrtronomy*, Springer Verlag, Berlín, 1975.

NEWTON, I.: *Optica*, Alfaguara, Madrid, 1977.

— *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Editora Nacional, Madrid, 1982.

— *El sistema del mundo*, Alianza, Madrid, 1983.

OVERMIER, J.A.: *The History of Biology. A Selected, Annoted Bibliography*, Garland, New York, 1989.

PAPP, D. y PRELAT, C.: *Historia de los principios fundamentales de la química*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1950.

PAPP, D.: *Historia de la física desde Galileo hasta los umbrales del siglo XX*, Espasa-Calpe, Madrid, 1945.

PARÉS, R.: *La Revolución científica. De Tales de Mileto a Einstein*, Pirámide, Madrid, 1987.

PARMÉNIDES: *De la Naturaleza*, en KIRK, G.S. y RAVEN, J.E.: *Los filósofos presocráticos*, Gredos, Madrid, 1969.

PARTINGTON, J.R.: *A Short History of Chemistry*, McMillan, London, 1960-62.

PATY, M.: «Einstein, Popper et le débat quantique aujourd'hui», en Bouveresse (ed.), 1989.

PELLEQUER, B.: *Guía del cielo*, Alianza, Madrid, 1991; ed. or.: Du Seuil, Paris,1945 y 1990.

PÉREZ DE LABORDA, A.: *Leibniz y Newton*, Univ. Pontificia, Salamanca, 1981.

— *¿Salvar lo real?*, Encuentro, Madrid, 1984.

PÉREZ SEDEÑO, E.: *El rumor de las estrellas: teoría y experiencia en la astronomía griega*, Siglo XXI, Madrid, 1986.

— «El método científico en medicina y astronomía griegas», *Arbor*, 1995, CL, 589: 103-124.

PIAGET, J.: *Biología y conocimiento*, Siglo XXI, Madrid, 1969; ed. or.: Gallimard, Paris,1967.

— *La epistemología genética*, Debate, Madrid, 1986; ed. or.: P.U.F., Paris, 1970.

PINILLOS, J.L.: *Principios de psicología*, Alianza, Madrid, 1975.

POLAINO-LORENTE, A. (coord.): *Manual de Bioética General*, Rialp, Madrid, 1994.

POPPER, K: *Conocimiento objetivo*, 2.ª ed., Tecnos, Madrid, 1982; ed. or.: Clarendon Press, Oxford, 1972.

— *Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge*, 1963; trad. esp.: *Conjeturas y refutaciones. El desarrollo del conocimiento científico*, Paidós, Barcelona, 1994.

— *The Logic of Scientific Discovery*, 1959; trad. esp.: *La lógica de la investigación científica*, reimpresión, Tecnos, Madrid, 1977.

— *Teoría cuántica y el cisma en física*, Tecnos, Madrid, 1985; ed. or.: Routledge, London, 1982.

POPPER, K. y ECCLES, J.C.: *El yo y su cerebro*, Labor, Barcelona, 1980; ed.or.: Springer International, Berlín, 1977.

PREVOSTI, A. (ed.): *Genética molecular*, Libros de Investigación y Ciencia, Prensa Científica, Barcelona, 1987.

— «Concepto de especie en el darwinismo actual», en *Mundo Científico*, 1992, 141/13: 1040-1049.

PRIGOGINE, I. y NICOLIS, G.: *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*, John Wiley & Sons, New York, 1977.

PRIGOGINE, I. y STENGERS, I.: *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Alianza, Madrid, 1983; ed. or.: Gallimard, Paris, 1979.

PTOLOMEO: *Las hipótesis de los planetas*, Alianza, Madrid, 1987.

PUERTO, F.J. (ed.): *Cuadernos Akal de Historia de la ciencia y de la técnica*, 50 vols., Akal, Madrid, 1991.

RADA, E. (ed.): *La polémica Leibniz-Clarke*, Taurus, Madrid, 1980.

RADL, E.M.: *Historia de las teorías biológicas*, 2 vols., Alianza, Madrid, 1988; ed. or.: Leipzig, 1905.

REDONDI, P.: *Galileo herético*, Alianza, Madrid, 1990; ed. or.: Einaudi, Turín, 1983.

RITTER, J.: «Babilonia 1800 a. de C.», en SERRES (ed.), 1991.

— «A cada uno su verdad: las matemáticas en Egipto y Mesopotamia», en SERRES (ed.), 1991.

ROSSI, P.: *Clavis Universalis. El arte de la memoria y la lógica combinatoria de Lulio a Leibniz*, F.C.E., México, 1989; ed. or.: Il Mulino, Bolonia, 1983.

— *Las arañas y las hormigas. Una apología de la historia de la ciencia*, Crítica, Barcelona, 1990.

— *Francis Bacon: de la magia a la ciencia*, Alianza, Madrid, 1990; ed. or.: Einaudi, Turín, 1974.

— *Naufragi senza spettatore. L'idea di progresso*, Il Mulino, Bolonia, 1995.

ROSTAND, J.: *Introducción a la historia de la biología*, Península, Barcelona, 1979; ed. or.: Gallimard, Paris, 1945.

— *El hombre y la vida*, Fondo de Cultura Económica, México, 1964.

RUSE, M.: *La revolución darwinista*, Alianza, Madrid, 1983; ed. or.: The Univ. of Chicago Press, Chicago, 1979.

— *The Darwinian Paradigm*, Routledge, London, 1989.

RUSSO, F.: *Eléments de bibliographie de l'histoire des sciences et des techniques*, 2.ª ed., Hermann, Paris, 1969.

S. TOMÁS DE AQUINO: *Suma Teológica*, 17 vols., Madrid, B.A.C., 1947 ss.

SAGAN, C.: *Cosmos*, 11.ª ed., Planeta, Barcelona, 1987.

SAMBURSKY, S.: *El mundo físico de los griegos*, Alianza, Madrid, 1990.

SÁNCHEZ RON, J.M.: *El siglo de la ciencia*, Espasa, Madrid, 2000.

SCHRÖDINGER, E.: *¿Qué es la vida?*, Orbis, Barcelona, 1986; ed. or.: *What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell*, C.U.P., Cambridge, 1944.

SCHWARTZ, P., RODRÍGUEZ, C. y MÉNDEZ, F. (eds.): *Encuentro con Karl Popper*, Alianza, Madrid, 1993.

SEARLE, J.: *Mentes, cerebros y ciencia*, Cátedra, Col. Teorema, Madrid, 1985.

SELLERI, F.: *Física sin dogma*, Alianza, Madrid, 1994.

SELLÉS, M. y SOLIS, C.: *Revolución científica*, Síntesis, Madrid, 1991.

SERRE, J.L.: «La genèsse de l'oeuvre de Mendel», en *La Recherche*, 1984, 158: 1072-1080.

SERRES, M. (ed.): *Historia de las ciencias*, Cátedra, Madrid, 1991; ed. or.:, Bordas, Paris, 1989.

SIMON, W.M.: *European Positivism in the Nineteenth Century: An Essay in Intellectual History*, Cornell Univ. Press, Ithaca, 1963.

SIVIN, N.: «Comparing Greek and Chinese science», en *Medicine, Philosophy and Religion in Ancient China: Researches and Reflections*, vol. II, Aldershot, 1995.

SKINNER, B.F.: *Mas allá de la libertad y de la dignidad*, Fontanella, Barcelona, 1973.

SKLAR, L.: *Filosofía de la física*, Alianza, Madrid, 1994; ed. or.: Westview Press, 1992.

SKOLOMOWSKI, H.: *Racionalidad evolutiva*, Departamento de Lógica de la Universidad de Valencia, 1979.

SNYDER, E.E.: *La historia de las ciencias físicas*, Labor, Barcelona, 1973.

SOBER, E. (ed.): *Conceptual Issues in Evolutionary Biology: An Antology*, 2.ª ed., Bradford/MIT Press, Mass., 1994.

— *The Nature of Selection*, MIT Press, Mass., 1984.

— *From a Biological Point of View*, C.U.P., Cambridge, 1994.

SOLIS, C.: *La revolución de la física en el siglo XVII*, vol 18, Cuadernos de Historia de la ciencia y de la técnica, Akal, Madrid, 1991.

— *Razones e intereses. La historia de la ciencia después de Kuhn*, Paidós, Barcelona, 1994.

STENGERS, I.: «Los episodios galileanos», en SERRES (ed.), 1991.

— «La afinidad ambigua: el sueño newtoniano de la química del siglo XVIII», en SERRES (ed.), 1991.

TATON, R. (ed.): *Historia general de las ciencias*, 4 vols., Destino, Barcelona, 1971-74; ed.or.: P.U.F., Paris,1966.

TAUBER, A.I. (ed.): *Organism and the Origins of the Self*, Kluwer, Dordrecht.

TEMPLADO, J.: *Historia de las teorías evolucionistas*, Alhambra, Madrid, 1974.

THAXTON, C., BRADLEY, W. y OLSEN, R.: *The Mystery of Life's Origin*, Philosophical Library, New York, 1984.

THUILLIER, P.: «Galileo y la experimentación», en *Mundo Científico*, 1983, 26: 585-597.

TURRÓ, S.: *Descartes. Del hermetismo a la nueva ciencia*, Anthropos, Barcelona, 1985.

VIDAL, B.: *Histoire de la Chimie*, P.U.F., Paris.

WADDINGTON, C. (ed.): *Hacia una biología teórica*, Alianza, Madrid, 1976; ed. or.: Eddinburg Univ. Press, Edimburgo, 1968.

WALLACE, W. A.: *Galileo and his sources*, Princeton, 1984.

— *Galileo, the jesuits and the medieval Aristotle*, Hampshire, 1991.

WARTOFSKY, M.W.: «The Relation between Philosophy of Science and History of Science», en Cohen et al. (eds.), 1976.

WESTFALL, R.S.: *Never at rest. A Biography of Isaac Newton*, C.U.P., Cambridge, 1980.

WHEWELL, W.: *History of the Inductive Sciences, from the Erliest to the Present Times*, 3 vols., Parker, London, 1837.

— *Theory of Scientific Method*, [ed. por R. E. Butts], Hackett, Indianapolis, 1989.

WHITEHEAD, A.N.: *Science and the Modern World*, Macmillan Co., New York, 1926.

WILSON, E.O.: *Sociobiología: la nueva síntesis*, Omega, Barcelona, 1980.

WOOLGAR, S.: *Ciencia: abriendo la caja negra*, Anthropos, Barcelona, 1991.

YATES, F.: *Giordano Bruno y la tradición hermética*, Ariel, Barcelona, 1983.

ZIMAN, J.: *Introducción al estudio de las ciencias*, Ariel, Barcelona, 1986.

— *La credibilidad de la ciencia*, Alianza Editorial, Madrid, 1981.