

I.C.B

Historia de la Ciencia - 2009 -

(109 copias)

John D. Bernal

**HISTORIA
SOCIAL
DE LA
CIENCIA
1/ La ciencia
en la historia**

Historias península
Historia/ciencia/sociedad



Cuarta parte

EL NACIMIENTO DE LA CIENCIA MODERNA

El desarrollo de las ciudades, del comercio y de la industria, que ganaba en vigor a finales de la Edad Media, mostró ser incompatible con la economía del feudalismo. Los cambios mardados lentamente bajo la superficie del orden feudal encontraron finalmente expresión e inauguraron, primero en un lugar y luego en otro, un nuevo orden económico y científico. Con mejores técnicas, mejores medios de transporte y mercados más amplios, la producción de mercancías para la venta aumentó constantemente. Las ciudades donde se encontraban esos mercados desempeñaron durante largo tiempo un papel subsidiario y casi parasitario en la economía feudal, pero hacia el siglo xv los habitantes de los burgos o burgueses se habían desarrollado de un modo tan poderoso que empezaron a transformar esa economía en otra en la que los pagos en dinero y no ya los servicios forzados determinaban la forma de la producción. El triunfo de la burguesía, y del sistema económico capitalista implantado por ella, sólo tuvo lugar tras muchas y difíciles luchas políticas, religiosas e intelectuales. Naturalmente, el proceso de transformación fue lento y desigual; en Italia había empezado ya en el siglo xiii, pero hay que llegar a mediados del xvii para ver establecido el gobierno burgués incluso en países tan desarrollados como Inglaterra y Holanda. Tuvieron que transcurrir otros doscientos años antes de que la misma clase llegara a dominar sobre toda Europa.

El mismo período, 1450-1690, que presentó el desarrollo del capitalismo como principal método de producción fue también testigo de la experimentación y el cálculo como nuevos métodos de la ciencia natural. La transformación fue muy complicada; los cambios en las técnicas impulsaban a la ciencia, y la ciencia, a su vez, conducía a nuevos y más rápidos cambios técnicos. Esta revolución general, técnica, económica y científica, es un fenómeno social único. En último extremo, su importancia es incluso mayor que la del descubrimiento de la agricultura, que hizo posible la civilización, porque por medio de la ciencia contiene en sí misma posibilidades de progreso indefinido.

El problema del origen de la ciencia moderna se considera ahora como uno de los principales problemas de la historia. El profesor Butterfield³¹ señala, por ejemplo, que «la llamada revolución científica... difumina todo lo ocurrido desde el naci-

miento del cristianismo y reduce el Renacimiento y la Reforma al nivel de meros episodios, de meros desplazamientos internos dentro del sistema de la cristiandad medieval... Dificilmente existe otro campo en que podamos ver tan claramente... las transformaciones concretas subyacentes a una determinada transición histórica, a un capítulo específico del progreso intelectual». Pese a disentir profundamente de sus análisis, estoy plenamente de acuerdo con la importancia del problema.

El surgimiento del capitalismo y de la ciencia están relacionados, pero de una forma tan íntima que esa relación no puede expresarse simplemente en términos de causa y efecto. Sin embargo, puede decirse que al comienzo del período lo dominante fue el factor económico. Fueron las condiciones del nacimiento del capitalismo las que hicieron posible y necesaria la ciencia experimental. A finales del período empezó a hacerse sentir el efecto contrario. Los éxitos prácticos de la ciencia contribuían ya al gran progreso técnico siguiente, la Revolución Industrial. Así, la ciencia natural superó su punto crítico en este período asegurándose un lugar permanente como parte de las fuerzas productivas de la sociedad. En una visión amplia de la historia este hecho es mucho más importante que los acontecimientos políticos y económicos de la época, pues el capitalismo representa solamente un estadio temporal en la evolución económica de la sociedad, en tanto que la ciencia es una conquista permanente de la humanidad. Si al principio el capitalismo hizo posible la ciencia, la ciencia, a su vez, convertirá al capitalismo en innecesario.

En sus primeros estadios, sin embargo, cuando el capitalismo rompía las limitaciones de un feudalismo decadente, era algo vigoroso y expansivo. El empleo de los artificios técnicos de la Edad Media tardía obligaba a la agricultura, a la manufactura y al comercio a aumentar y difundirse por amplios territorios. Las necesidades materiales del progreso económico conducían a ulteriores desarrollos de las técnicas, en especial las de la minería, la navegación y la guerra. Estas, a su vez, plantearon nuevos problemas derivados del comportamiento de los nuevos materiales y procedimientos que excedían a la ciencia de la época clásica, en que inventos como la brújula y la pólvora no habían tenido lugar. Los viajes de los descubrimientos mostraron la limitación de las experiencias de los antiguos y reforzaron la necesidad de encontrar una nueva filosofía que permitiera perspectivas más amplias.

A principios del siglo XVII, una burguesía nueva y emprendedora era capaz de responder a este estímulo y poner los fundamentos de la ciencia experimental. La nueva ciencia se organizó en compañías, como antes lo habían hecho los comerciantes aventureros. Antes de que finalizara el siglo, un pequeño grupo de hombres capaces había logrado resolver con éxito los proble-

mas centrales de la *mecánica* y la *astronomía*. Con ello consiguieron algo jamás logrado por los antiguos: proporcionar ayuda práctica precisamente donde era necesaria, es decir, en la *navegación*. Pero esto era sólo una pequeña muestra: su triunfo real consiste en el poderoso impulso dado al estudio científico de la técnica y de la Naturaleza y en la elaboración de los nuevos métodos de análisis *experimentales* y *matemáticos* que producirían todos sus *frutos* en los siglos siguientes. Hasta el final del siglo XVII lo que la ciencia podía *ganar* por sus renovados contactos con el trabajo práctico era muy superior a lo que podía *dar* en mejoras técnicas radicales.

La revolución científica

El dibujo del desarrollo de la nueva ciencia a partir del período crítico de su nacimiento y su primer estadio, hasta llegar a su madurez intelectual, es la principal tarea del Capítulo VII. Ante todo es necesario mostrar su relación con las nuevas fuerzas sociales del Renacimiento y la Reforma, examinando luego en qué medida sus conquistas determinaron la tecnología y modelaron las ideas de la Edad Moderna. El cambio, en las ideas científicas, durante este período crítico fue en realidad mucho mayor que en política y religión, por importantes que en su época parecieran los cambios en estas últimas. Esos cambios condujeron a una *Revolución Científica*, por la que se derrumbó todo el edificio de presupuestos intelectuales heredado de los griegos y santificado por los teólogos musulmanes y cristianos, al tiempo que un sistema radicalmente nuevo venía a ocupar su lugar. Una imagen nueva del mundo, cuantitativa, atómica, infinitamente extendida y secular sustituyó a la imagen antigua, cualitativa, continua, limitada y religiosa que los escolásticos musulmanes y cristianos habían heredado de los griegos. El jerárquico universo de Aristóteles dio paso al mundo mecánico de Newton. Y, durante la transición, la crítica destructora y la síntesis constructiva estuvieron tan unidas que es imposible trazar entre ellas una línea de separación.

Esta sustitución era solamente un síntoma de una nueva actitud hacia el conocimiento. Dejó de ser considerado como un medio de reconciliación del hombre con el mundo tal como se cree que es, era y será siempre hasta el Juicio Final, para pensar en él como un medio de dominar la Naturaleza por medio del conocimiento de sus eternas leyes. Esta nueva actitud era en sí misma un producto de la nueva preocupación por la riqueza material y se acompañaba de un renovado interés de los hombres cultos por la práctica de los oficios del artesano. De este modo el Renacimiento remedió, aunque sólo fuera parcialmente, la superación entre la teoría aristocrática y la práctica plebeya

que se había producido con el comienzo de las sociedades clasistas en la civilización primitiva y que había limitado la enorme capacidad intelectual de los griegos.

Para comprender adecuadamente cómo se inició la ciencia moderna es necesario considerar a la vez los aspectos intelectuales y prácticos de la transformación puesta en marcha en el Renacimiento. Los historiadores de la ciencia han subrayado por lo general únicamente el segundo aspecto y considerado, por lo tanto, la transformación en su conjunto como algo que va de argumentos malos a argumentos buenos a partir de primeras premisas evidentes, o bien como cuestión de observaciones más cuidadosas y valoraciones más correctas de hechos evidentes. Ambas explicaciones son inadecuadas, como lo muestra su fracaso en dar cuenta de la coincidencia en tiempo y lugar del progreso económico, técnico y científico, así como de la coincidencia de los temas de interés de la ciencia con los de la preocupación técnica de los grupos dominantes de la sociedad.

Por otra parte, resulta insuficiente considerar solamente esos intereses técnicos, pues también deben tenerse en cuenta las actitudes mentales y las preocupaciones materiales. Los aspectos ideológicos de la lucha de la burguesía ascendente que dieron impulso en las ideas científicas y religiosas de estos siglos de transición. En realidad, el rechazo de ideas aceptadas durante muchos siglos sólo podía hacerse en una época en que todos los fundamentos de la sociedad se pusieran en tela de juicio.

A diferencia de las anteriores transiciones en que, como ocurrió al final del Imperio Romano, se construyó una nueva ciencia sobre las ruinas de la antigua, o en que, como al principio de la Edad Media, la ciencia se trasladó de una cultura a otra, la revolución que dio lugar a la ciencia moderna se produjo sin rupturas de continuidad y sin influencias externas. Esto destaca aún más el hecho de que, en la nueva sociedad, se estaba construyendo un nuevo sistema de pensamiento a partir de elementos derivados directamente de la antigua, pero transformados por los pensamientos y las acciones de los hombres que estaban haciendo la revolución. La vieja cultura feudal había sido puesta a prueba con resultados negativos: no podía sobrevivir a los conflictos que ella misma había engendrado. La nueva clase burguesa que había hecho nacer tenía que dar con un nuevo sistema social propio y hacer evolucionar su propio sistema de ideas. Los hombres del Renacimiento y del siglo XVII creyeron sin duda romper con el pasado pese a lo mucho que inconscientemente le debían.

La Revolución Científica difirió de los cambios anteriores en un aspecto significativo: hacerla fue muy fácil, especialmente al principio, por la conciencia de que se trataba de un retorno a una cultura más antigua, más grande y más filosófica. La au-

toridad de los antiguos podía ser invocada y de hecho lo fue por innovadores tan auténticos como Copérnico y Harvey para apoyar sus tesis de un modo en absoluto menos importante que la evidencia de los sentidos. No se trataba tanto de rechazar toda autoridad como de apoyarse en unas contra otras. El humanista era libre de elegir, y su elección obedecía a razones intrínsecas. La recuperación de al menos una parte de la mejor obra matemática de la antigüedad clásica, en especial la de Apolonio y Arquímedes, contribuyó a destruir el monopolio de Aristóteles. El mismo Platón, como matemático y no ya como teólogo, podía ser una fuente de inspiración. En cierto sentido, en realidad el más importantes, la nueva ciencia procedía directamente de los antiguos, pues fue siguiendo sus métodos como los hombres de la nueva era fueron capaces de derrumbar sus ideas y superar sus conquistas.

Las principales fases de la transformación científica

Para conocer el verdadero proceso de creación de la nueva ciencia es conveniente dividir el período de la Revolución Científica en tres fases que podemos llamar, convencionalmente, del Renacimiento (1440-1540), de las Guerras de Religión (1540-1650) y de la Restauración (1650-90). Debe tenerse presente que no se trata de tres períodos contrapuestos sino de un único proceso de transformación de la economía feudal en economía capitalista.

En la esfera política, la primera fase (7.1 - 7.3) incluye el Renacimiento, los grandes viajes de los navegantes y la Reforma, así como las guerras que pusieron fin a la libertad política en Italia y que condujeron a la aparición de España como primera potencia mundial.

En la segunda fase (7.4 - 7.6), los resultados de la incorporación de América y de Oriente al comercio y la piratería europeas comenzaron a hacerse sentir en una crisis de precios que paralizó a toda la economía de Europa. Fue el período de las incabables guerras de religión en Alemania y Francia. Pero en último extremo fue mucho más importante para la historia el establecimiento de la República burguesa en Holanda al principio del período y de la Comunidad británica burguesa al final del mismo.

La tercera fase (7.7 - 7.9) fue una época de compromiso político. Aunque los gobiernos eran monárquicos, la alta burguesía participaba del poder en todos los países que progresaban económicamente. Holanda dio la tónica de la época pese a la pompa del Gran Monarca en Versalles. En Inglaterra esta fase señaló el comienzo de la monarquía constitucional y del rápido desarrollo industrial y comercial.

VII. La revolución científica

El correspondiente desarrollo de la ciencia consistió en el primer periodo en un desafío a la imagen del mundo adoptada por la Edad Media a partir de los tiempos clásicos. Este desafío se expresó decisivamente en el rechazo por Copérnico del cosmos geocéntrico de Aristóteles y en su sustitución por un sistema solar en el que la tierra era un planeta que giraba como los demás.

En la segunda fase el desafío quedó reforzado por la oposición de Kepler y Galileo, extendiéndose además al cuerpo humano por obra de Harvey. Esto se logró gracias al empleo de los nuevos métodos experimentales, al tiempo que aparecían los primeros profetas de la nueva era científica, Bacon y Descartes.

La tercera fase señaló el triunfo de la nueva ciencia, su rápido crecimiento y su extensión a nuevos campos, así como la primera organización de sociedades científicas. Es la época de Boyle, Hooke y Huygens, de una nueva filosofía mecánico-matemática. El trabajo de muchas manos y muchas mentes finalizó en la formulación por Newton de los *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*, base sobre la cual podía construirse confiadamente el resto de la ciencia. Las causas finales fueron sustituidas por las causas mecánicas, y el universo jerárquico de la Edad Media fue abrogado y sustituido por otro. A partir de entonces las partículas pudieron entrar libremente en interacción guiadas por la invisible constitución de las Leyes Naturales. Y a su vez se pensó que el conocimiento de estas leyes era el medio para someter las fuerzas de la Naturaleza al dominio del hombre. La contemplación cedió el paso a la acción.

7.1 PRIMERA FASE: EL RENACIMIENTO (1440-1540)

La primera fase de la transición del feudalismo al capitalismo es el periodo que comprende los movimientos del Renacimiento y la Reforma, aun cuando éstos, con sus precedentes y sus efectos, se extendían durante un periodo mayor. El modelo económico de producción de mercancías para un mercado dominado por los pagos en dinero existía ya en ciudades dispersas a partir del siglo xii. Empezó a convertirse en forma económica predominante en el siglo xv en la faja de regiones que va desde Italia, pasando por la alta Alemania y el Rin, hasta los Países Bajos. De esta amplia región, solamente en Italia las ciudades más importantes, como Venecia, Génova, Florencia y Milán, conquistaron su independencia económica y política, siendo capaces de edificar la brillante civilización artística e intelectual del Renacimiento. En Italia esto no supuso una ruptura con la Iglesia, pues la Santa Sede tenía en Roma una magnífica renta constituida por las aportaciones de toda la cristiandad. Pero las cosas fueron distintas cuando el movimiento se extendió a Alemania y otros lugares. Ahí se llegó por una parte a la afirmación de la independencia de la religión sobre una base nacional, expresada en la reforma luterana, y por otra a una feroz lucha social que encontró expresión en la Guerra de los Campesinos de 1525-26 y en la revuelta de los anabaptistas de Münster en 1533-35. Revueltas parecidas tuvieron lugar en Hungría e incluso en la católica España. Posteriormente, cuando la Reforma se extendió aún más, por los Países Bajos, Inglaterra y Francia, adoptó la forma más radical del calvinismo, rechazando todo el gobierno jerárquico de la Iglesia y organizando tanto el gobierno civil como el eclesiástico sobre la base de la democracia electiva. La cuestión de la democracia, sin embargo, no se plantearía de un modo efectivo hasta alcanzar la siguiente fase. La primera forma política que sustituyó al sistema feudal de poderes y jerarquías ordenados fue la de los monarcas absolutos, que basaban su poder en el apoyo de los comerciantes y que a veces eran ellos mismos comerciantes ennoblecidos, como los Médicis. La restauración de la monarquía puso fin a los poderes temporales del emperador y del papa, y con ello a todo el esquema del universo medieval. En su lugar empezaron a surgir los Estados nacionales que se aliaban o se hacían la guerra como conse-

cuencia de un precario equilibrio de poder que nadie podía llegar a dominar.

Las cortes de esos reyes o príncipes fueron las patrocinadoras de los nuevos científicos y humanistas, que dejaron de depender de la Iglesia. En realidad, la situación de los intelectuales era muy parecida a la que habían disfrutado en tiempos de los árabes, cuando la cultura era también un adorno de los príncipes. Fuera de Italia, las viejas universidades medievales continuaron como un reducto de las ideas feudales y se opusieron al nuevo saber. El rey Francisco I de Francia se vio obligado a fundar en 1530 el *Collège Royal*, el actual *Collège de France*, para facilitar la enseñanza de las humanidades, no toleradas por la Sorbona.

El Renacimiento y la Reforma son dos aspectos del mismo movimiento que convertiría el sistema de relaciones sociales basado en un estatuto hereditario fijo en otro basado en la compra y la venta de mercancías y de trabajo. El principal factor económico que impulsaba ese movimiento era la rápida expansión del comercio hecha posible por la mayor cantidad de excedentes. Estos excedentes eran consecuencia de las mejoras técnicas introducidas en la Baja Edad Media, en especial los relativos a la agricultura y a la manufactura textil.* Al propio tiempo, la disponibilidad de excedentes se incrementó enormemente por las mejoras en la construcción naval y en la navegación. Durante el siglo xv la principal corriente comercial, todavía consistente en gran parte en artículos de lujo, iba desde Oriente, por Venecia, a Alemania, haciendo las fortunas de Augsburgo y Nuremberg, y de ahí a los Países Bajos e Inglaterra. En realidad fue el comercio lo que dio a esas regiones su importante posición en la riqueza y la cultura.

Sin embargo, a finales de siglo, en el punto culminante del Renacimiento, se produjo una ruptura crítica de los antiguos moldes comerciales, y en ello la ciencia desempeñó un papel decisivo. El desarrollo de la navegación produjo una especie de corto circuito en las antiguas y costosas rutas comerciales terrestres al abrir nuevos mercados imaginados por vías más baratas. El resultado más espectacular fue el descubrimiento del Nuevo Mundo, pero aún más importante de un modo inmediato fue el dominio por los portugueses del comercio marítimo asiático y el rápido desarrollo de las tierras del Báltico y de Rusia. La apertura de estas rutas comerciales modificó todo el equilibrio económico de Europa. El comercio de Italia y la Alta Alemania se cortó de raíz y empezó a decaer su importancia política y económica, si bien su influencia cultural y técnica perduraría ampliamente aún durante algún tiempo. En su lugar se desarrollaron los países marítimos, España y Portugal primero, y a continuación, durante un período más largo por poseer mayores recursos básicos, Holanda e Inglaterra.

Los beneficios del comercio marítimo hicieron posible la primera acumulación de capital fluido, es decir, de capital invertido en empresas productivas y no solamente en tierras. La búsqueda de mayores beneficios condujo a un rápido desarrollo de la construcción naval y de la navegación, teniendo ésta última efectos decisivos en el nacimiento de la ciencia moderna. Con soldados mercenarios en vez de las levas feudales, las guerras podían durar mucho tiempo, pero también costaban más, y de ahí la demanda de bronce y hierro, de oro y plata. Aumentó la minería y la metalurgia, al igual que la fabricación de pólvora y la destilación de alcoholes.

El período en su conjunto fue de expansión económica. La producción, y no sólo la industria sino también la agrícola, crecía en casi toda Europa. Había más grano, más ganado, más pescado. Es difícil atribuir esto a un progreso técnico específico; más bien fue consecuencia de innumerables mejoras separadas y de una más rápida difusión de las innovaciones por los nuevos conductos comerciales. El único progreso técnico radical e importante fue la introducción de la imprenta, ya discutida por conveniencia nuestra en el capítulo anterior. Aunque la imprenta no es, por sí misma, un método de producción, sí es en cambio uno de los modos más efectivos de difundir los progresos técnicos, como testimonia el número de libros impresos sobre cuestiones como la agricultura, la horticultura, la cocina y el comercio.

La revolución humanista en las actitudes y en las ideas

Si el Renacimiento sólo se hubiera caracterizado por una mejora gradual o rápida en las condiciones económicas no ocuparía el lugar que detenta en la historia mundial. Lo que le da su importancia en la ciencia, el arte y la política es que fue un movimiento consciente, y, en definitiva, un movimiento revolucionario. En su aspecto intelectual fue obra de una pequeña y consciente minoría de sabios y artistas que se opusieron al modelo de vida medieval y se esforzaron por crear formas nuevas tan próximas como fuera posible a las de la antigüedad clásica. No intentaron considerar a los antiguos a través de la larga cadena de la tradición árabe y escolástica, sino que lo hicieron directamente extrayendo las estatuas de las excavaciones y leyendo los textos clásicos por sí mismos. Esto significó ir a los originales griegos y tomar de primera mano el pensamiento no solamente de Platón y Aristóteles sino también de Demócrito y Arquímedes.⁹¹³

El movimiento humanista se inició realmente en Italia a principios del siglo xvi con Petrarca y Boccaccio. En los clásicos se apreciaba más la belleza de la expresión y la nobleza de los

sentimientos que las sutilezas de la lógica. En la medida en que eran filósofos, eran platónicos. El movimiento humanista se extendió por Francia y el norte de Europa en el siglo XVI, tomando un aire más religioso. Supuso en todas partes el rechazo de las ideas específicamente feudales de jerarquía y una actitud más secular respecto de la sociedad. Esto no significa que rechazaran la religión o siguiera el misticismo, sino más bien que cargaron el acento en una religión más personal para la que fueron menos necesarios los menesteres de la Iglesia. El culto al individuo, a la virtud, en el antiguo sentido romano de mayor independencia, se convirtió en ideal.^{4,27}

En los países protestantes se proclamó el derecho del juicio privado o de la elección especial. Aquí los humanistas, recuperando los textos hebreos y griegos y traduciéndolos directamente a las lenguas vernáculas, dieron mayor peso a la autoridad de la Biblia. La confianza en la palabra divina literal sustituyó al respeto a los pronunciamientos de los sucesores de san Pedro. Con todo ello se construyó el sistema ético de la clase de los comerciantes rechazando la subordinación del feudalismo. En realidad se repudió violentamente el pasado feudal, y con él la arquitectura, que los humanistas llamaron gótica por burla, la filosofía escolástica, la vida contemplativa de los monjes y el pedir limosna de los frailes.^{4,28} Finalmente, la misma Iglesia católica se vio obligada a reformarse y a romper con su pasado medieval casi tanto como pedían los reformadores. La doctrina de la gracia fue el equivalente romano de la salvación por la fe. El papado, que durante un siglo había estado en manos de humanistas tolerantes, de moralidad dudosa pero patrocinadores de las artes, se convirtió en algo casi tan rígido e intolerante como la más severa secta protestante.

Placer, arte y dinero

Tanto en los países católicos como en los protestantes, el Renacimiento significó una definida y deliberada ruptura con el pasado. Fue necesario conservar buena parte de éste, pero se tomó una nueva orientación y las formas medievales de la economía, la edificación, el arte y el pensamiento se desvanecieron para siempre, siendo sustituidas por una nueva cultura capitalista en su economía, clásica en el arte y la literatura y científica en su enfoque de la Naturaleza.

El Renacimiento fue un período de disturbios, pero también de esperanza si se lo compara con la desesperación de la era clásica tardía y la resignación de la edad de la fe que la siguió. Se ocupaba mucho menos de la vida futura y mucho más de la actual, preocupación expresada en un rápido desarrollo de las artes seculares de la pintura, la poesía y la música. En todas

las formas de expresión se produjo una nueva y clara admisión del goce físico. El gran profeta de este período, el Dr. François Rabelais (aprox. 1490-1553) eligió como lema para su Abadía de Thelema, la comunidad ideal, el «Haz lo que quieras».^{4,29} Desde un punto de vista ideal, la gente vivía libremente y pensaba peligrosamente; en realidad, muy pocos podían hacerlo. La nueva vida era muy costosa y había que pagar en dinero contante y sonante. El dinero fue mucho más importante de lo que había sido hasta entonces; consecuencia de ello fue que cambió la actitud hacia las maneras de ganarlo. Todo era bueno si servía para ello, ya fuera la manufactura o el comercio honrado, ya la introducción de algún nuevo invento productor de ganancias, ya la explotación de minas, la invasión de territorios extranjeros o el préstamo con interés. La Iglesia formulaba objeciones, pero si insistía mucho era peor para ella, como mostró la Reforma. Incluso la magia adquirió un interés nuevo como medio de obtener poder y riqueza, tal como muestra la historia de Fausto. De hecho, la magia natural era difícilmente discernible de la ciencia.^{1,43;44,9;174}

La unión del artesano y el sabio

Precisamente porque eran necesarios para ganar dinero y para gastarlo, los técnicos y artistas no fueron tan despreciados como en los tiempos clásicos o medievales. Las artes de la ornamentación y el lujo, pintura, escultura y arquitectura, florecieron y se desarrollaron con menor abundancia pero con mayor originalidad que en el período clásico. Lo auténticamente nuevo, sin embargo, fue el respeto concedido a las artes prácticas del hilado, el tejido, la alfarería, la vidriería y, por encima de todo, a las artes necesarias para riqueza y la guerra: la minería y la metalurgia. Las técnicas de esos oficios adquirieron mayor importancia en el Renacimiento que en el período clásico debido a que no estaban ya en manos de esclavos sino de hombres libres, y éstos no se hallaban tan distanciados social y económicamente como en la Edad Media de los gobernantes de la nueva sociedad. En la Florencia medieval, por ejemplo, los artistas eran miembros subordinados al gremio más importante de los médicos y comerciantes, *Medici e Speciali*; los escultores estaban a un nivel más bajo, en el gremio inferior de los albañiles y picapedreros.^{4,31} Sin embargo, a principios del siglo XVI pintores y escultores gozaban de los favores de los reyes y papas, si bien con frecuencia les era difícil obtener el pago de su trabajo.

La elevación del estatuto social de los artesanos hizo posible renovar el vínculo entre sus tradiciones y las de los sabios, perdido desde el comienzo de las civilizaciones primitivas. Ambos tenían algo muy importante que aportar: el artesano podía

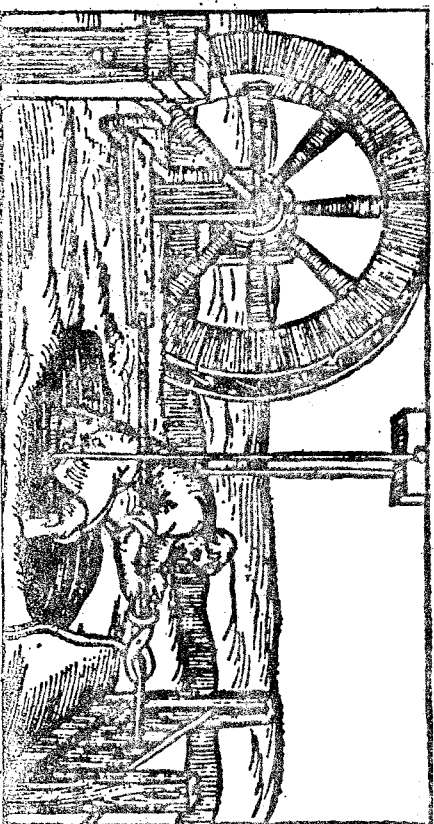
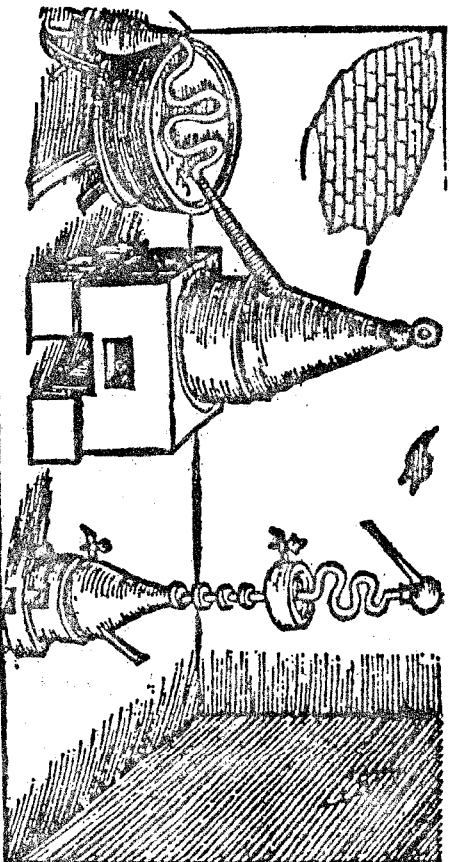
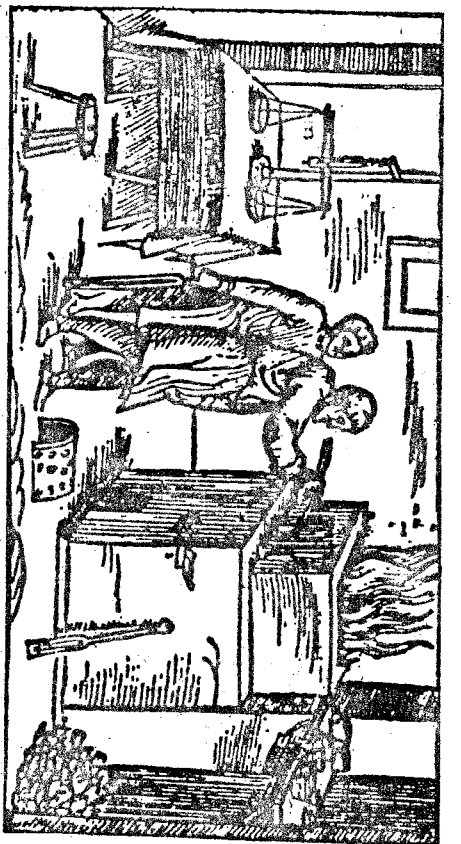
añadir a las viejas técnicas de la antigüedad clásica los artificios aparecidos durante la Edad Media; el sabio podía aportar la concepción del mundo, las ideas, y, sobre todo, los métodos lógicos de argumentación derivados de los griegos a través de las filosofías árabe y escolástica, así como métodos de cálculo mejorados nuevamente. La combinación de ambos puntos de vista exigió algún tiempo y se difundió de modo más bien gradual, al principio, por todos los ámbitos del pensamiento y de la acción. Pero una vez que se hubieron mezclado los componentes la reacción fue imposible de detener. Y era explosiva. La tarea intelectual del Renacimiento consistió esencialmente en el redescubrimiento y el dominio del mundo del arte y de la Naturaleza.

La exploración del mundo

El Renacimiento abundó en grandes obras descriptivas que cubrían todos los reinos de la experiencia humana. La amplitud de su interés queda mostrada en las conquistas de un hombre que fue el epítome de la época: el gran ingeniero, científico y artista universal, Leonardo da Vinci. Los dos mayores triunfos de aquel interés son la clara afirmación del sistema celeste heliocéntrico, el sistema de Copérnico en su *De Revolutionibus Orbium Coelestium*,⁴⁸ y la primera anatomía completa del cuerpo humano descrita en el *De Humani Corporis Fabrica*.⁴⁹ de Vesalio, publicados los dos en el mismo año, 1543. Ambas fueron las primeras versiones de la imagen que podían tener de las esferas celestes o del cuerpo humano quienes tuvieran los ojos lo bastante claros para ver por sí mismos y no ya a través de las gafas de la autoridad de los antiguos. Estas ideas fueron establecidas y aceptadas por una sociedad nueva y laica que aprendía también a ver y experimentar por sí misma. Sólo más tarde, cuando empezaron a vislumbrarse las consecuencias

8. CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL RENACIMIENTO

- (a) Pruebas de laboratorio con copelas. Un mineral de peso conocido se mezcla con plomo duro. Se cuece al horno la mezcla hasta la escoriación. La plata resultante se pesa de nuevo para indicar cuantitativamente la cantidad de metal contenida en el mineral.
- (b) Alambique para la producción de espíritus fuertes. A la derecha, un condensador de refugio en el que se enfrían y devuelven los espíritus más débiles; a la izquierda, un alambique con un condensador de serpiente inmerso en una gran vasija de agua.
- (c) Estrado mecánico de alambre. Una rueda hidráulica acciona un manubrio que cada medio giro estira el alambre a través de la plancha. (De la *Pirotechnia* de Birnbaum.)



políticas de la nueva visión, la autoridad empezó a tener miedo e intentó, demasiado tarde, detenerla.

Las grandes obras iban acompañadas de muchas otras en los diversos campos de la Naturaleza y el arte que habían sido descuidados por los antiguos. Así, por ejemplo, *Pyrotechnica*⁴⁹¹ de Biringuccio (1480-1559), describiendo el trabajo del metal, del vidrio y la industria química, y *De Re Metallica*⁴¹⁴ de Georg Bauer o Agricola (1490-1555), probablemente el tratado técnico más agudo escrito hasta entonces, pues no describe solamente los minerales y metales sino también la práctica e incluso la economía de la minería. Más tarde aparecieron en libros como los de Gesner (1516-65), Rondelet (1507-66) y Belon (1517-64) muchas descripciones excelentes de animales y plantas, tanto del antiguo como del nuevo mundo.^{414, 421} A ellos debe añadirse el casi incalculable número de notas de las exploraciones de las nuevas tierras, incluidas las *Cartas de América*. Vespucio⁴¹⁰ en 1504 de quien, de forma más bien inconsecuente, tomó su nombre el nuevo continente, y la primera relación, de Pigafetta, del viaje de Magallanes alrededor de la tierra en 1519-1522.

La fase inicial de la Revolución Científica fue de descripción y crítica más que de pensamiento constructivo. Éste se iniciaría más tarde. Primero se exploraron los amplios horizontes nuevos y se puso en duda la antigua autoridad. Las artes y las ciencias suministraron estímulos positivos y medios materiales para el progreso de la nueva ciencia. Las controversias y los conflictos religiosos conmovieron el edificio de la ortodoxia y permitieron a algunas personas intentar pensar por sí mismas. Las nuevas actitudes religiosas del juicio individual y la responsabilidad inmediata procedían de la misma necesidad que daba origen a la ciencia. Se trataba de los requisitos esenciales para el triunfo de la economía capitalista. Antes de intentar discutir la posición y la influencia de la ciencia en la vida del Renacimiento es preciso decir algo acerca de la influencia de los factores más importantes que la afectaron en esta fase. Se trata principalmente del arte y la técnica, y en especial de las técnicas de la ingeniería y la navegación.

7.2 ARTE, NATURALEZA Y MEDICINA

El arte del Renacimiento

La exaltación de las artes visuales y manuales, en contra de la contemplación pasiva y desinteresada, fue la primera característica del Renacimiento. Es cierto que la pintura, la escultura, la arquitectura y la música habían florecido durante la Edad Media. Habían sido un medio de transferencia de muchas de las

técnicas de los tiempos clásicos, en particular de la metalurgia y la química. Sin embargo, se emplearon como medios para un fin, estando a cargo de monjes o de humildes artesanos, al servicio de la Iglesia y en medida menor de la nobleza.

No obstante, la importancia social y económica del arte renacentista fue de orden diferente. No sólo se gastaba mucho más en él, especialmente en pintura, que en tiempos anteriores, sino que por primera vez las artes empezaron a apreciarse por sí mismas. Los artistas se pusieron al servicio de los nuevos príncipes comerciantes por dondequiera que apareciesen, primero en Italia, luego en Borgoña, Flandes y la Alta Alemania. Había una demanda insaciable de formas cada vez más impresionantes y vigorosas para representar el nuevo estilo de vida de los ricos.⁴¹⁷ Con ello se elevó el estatus social de los artistas estableciéndose estudios que eran al propio tiempo universidades y laboratorios en muchas ciudades de Italia. El arte mismo, sin dejar de ser tradicional, se convirtió en algo consciente y científico. Los artistas se plantearon nuevos problemas y encontraron para ellos nuevas soluciones materiales e intelectuales. En ningún otro momento de la historia han tenido las artes visuales efectos semejantes sobre el desarrollo de la ciencia, y, probablemente, no es por accidente que tal interés coincidiera con el principio de la transformación más importante de la historia de la ciencia misma.

Visión y perspectiva

Las principales direcciones en que los artistas contribuyeron a la fundamentación de la ciencia consisten en el desarrollo de la visión y de la *perspectiva*, en el interés por la Naturaleza y especialmente por la *anatomía* del cuerpo humano, y en su utilización en la ingeniería civil y militar. Leonardo de Vinci dividió su tiempo entre estos intereses, y pese a ser el más importante de todos, no fue en absoluto el único que lo hizo.

El primer manifiesto del arte renacentista fue el *Trattato della Pittura* de Leon Battista Alberti (1404-72), en 1434. Alberti era hijo de una rica familia florentina exiliada por razones políticas, pero no por eso desdénó dedicarse al arte y al aprendizaje de los oficios manuales: «El artista debe aprender de todos, preguntando a los herreros, albañiles, constructores de barcos e incluso a los zapateros para conseguir todo el saber no divulgado o secreto de sus correspondientes oficios, y a menudo debe afectar ignorancia para descubrir las excelencias de los demás.»⁴¹⁵ Fue uno de los primeros defensores de la perspectiva formal—inventada ya por Brunelleschi en el siglo XV—. El principal interés de la pintura consistía para Alberti en la representación de figuras tridimensionales en dos dimensiones. Por lo tanto, exigía de

todos los pintores un profundo conocimiento de la geometría y se ayudaba de artificios ópticos como la *camera oscura* para los paisajes y de una red de coordenadas rectangulares para dibujar el campo de la visión. El concepto métrico básico del espacio tridimensional fue casi un lugar común intuitivo en el Renacimiento gracias a la realización de este programa por artistas como Masaccio, Piero della Francesca y Mantegna. Así, Leonardo da Vinci expresaba solamente una opinión general cuando decía que pintar era una ciencia. En su tratado sobre pintura publicado con su *Paragone*⁴¹⁴ declara categóricamente:

«La ciencia de la pintura trata de todos los colores de las superficies de los cuerpos y de las formas de los cuerpos así determinados; de su acercamiento o alejamiento relativos; de los grados de disminución exigidos a medida que las distancias aumentan gradualmente; además, esta ciencia es la madre de la perspectiva, es decir, de la ciencia de los rayos visuales.»

Respondiendo a quienes condenaban la pintura como actividad semimecánica, afirma, en clara contradicción con Platón:

«La astronomía y las demás ciencias también implican operaciones manuales aunque tengan su principio en la mente; lo mismo ocurre con la pintura, que nace en la mente del contemplativo pero que no puede realizarse sin la operación manual. Los principios verdaderos y científicos de la pintura... se comprenden por la mente sola y no implican operación manual alguna; constituyen la ciencia de la pintura, que permanece en la mente de sus contempladores; de ésta nace la creación real, que es muy superior en dignidad a la contemplación o ciencia que la precede.»

La Naturaleza y el hombre

El Renacimiento contempló el triunfo del movimiento del *realismo* en el arte. El arte clásico, y todavía más el bizantino, se habían concentrado en las formas ideales y en la producción de efectos por medio del simbolismo tradicional. Ya en la Edad Media las formas procedentes de la Naturaleza empezaban a penetrar, en forma de vegetación o de animales, por los lados de las pinturas. El Renacimiento introdujo el mismo realismo para las figuras humanas centrales. Todo esto exigía una observación más detallada de la Naturaleza —montañas, rocas, árboles, flores, bestias y pájaros— y ponía así la base de una geología y una historia natural no basadas ya en los libros y la lógica. Y lo que es más, exigía una *anatomía* del hombre

mismo para encontrar el mecanismo subyacente del gesto y la expresión. El arte renacentista fue tan poco impresionista como formal. Alberti exhortaba a los pintores a considerar primero los huesos, luego la carne que los cubría y sólo después de los trajes con que la figura iba vestida. Leonardo fue mucho más lejos en la práctica y en sus preceptos: de la representación de la figura estática pasó a la figura en movimiento, y de ahí a la *fisiología* y a la *dinámica*. La representación de hombres o animales en movimiento era para él solamente un medio para un fin, la expresión del espíritu o alma que anima ese movimiento. Todo esto exigía un profundo estudio de la anatomía del cerebro y de los órganos internos, y en esto los dibujos de Leonardo nunca han sido superados. La nueva anatomía que condujo a Harvey al descubrimiento de la circulación de la sangre debe casi tanto a los artistas como a los médicos.

La medicina del Renacimiento

Es conveniente examinar aquí la gran aportación del Renacimiento a los estudios biológicos centrados en la medicina. Las facultades de medicina de las universidades italianas fueron la más notable salvedad a la esterilidad y el oscurantismo general. En la Universidad de Padua, especialmente, la facultad de medicina había conquistado un elevado prestigio y atraía a las mentes más brillantes. Esto no pudo mejorar notablemente la práctica médica, pues tuvieron que pasar bastantes siglos antes de que se conociera la subyacente química y biología para aplicarla de un modo eficaz en la batalla contra la enfermedad. Lo que hizo, sin embargo, fue contribuir enormemente al progreso de la ciencia natural.

Los médicos italianos y el gran número de sabios extranjeros que empezaron a estudiar medicina no estaban aislados. Se mezclaban libremente con artistas, matemáticos, astrónomos e ingenieros. De hecho, muchos de ellos seguían también esas profesiones. Copérnico, por ejemplo, estudió y ejerció como médico, además de ser administrador y economista. Fueron estas relaciones las que dieron a la medicina europea, y especialmente a la italiana, su característica orientación descriptiva, anatómica y mecanicista. El cuerpo humano fue objeto de disección, explorado, medido, determinado y explicado como una máquina tremendamente complicada. La explicación fue excesivamente simple; mucho de lo que hoy sabemos acerca de la función o la historia evolutiva de los órganos entonces ni siquiera se sospechó, ni podía sospecharse. Sin embargo, se fundaron una *anatomía*, una *fisiología* y una *patología* nuevas —debemos los dos últimos términos al gran médico francés Jean Fernel (1497-1558)— de carácter esencialmente moderno, sobre la base de la observa-

ción y la experimentación directas, empezando a quebrantarse así la autoridad clásica y la tradición mágica en la medicina.^{4,87} Este trabajo encontró su epitome en el gran *De Humani Corporis Fabrica* de Andreas Vesalius, que dio la descripción más completa de todos los órganos del cuerpo. Pero seguía faltando una crítica seria de la imagen clásica de Galeno poniéndose una buena anatomía al servicio de una mala fisiología. Sin embargo, la escuela fundada en Padua por Vesalio en 1537 produciría una serie de anatomistas que llegaría hasta Harvey.^{9,12} Vesalio se convirtió en médico del emperador Carlos V. Su rival, Francisco I de Francia, tuvo como cirujano a un hombre que contrastaba con Vesalio en muchos aspectos, Ambroise Paré (1510-90). En realidad se trataba de un artesano inculto que escribía en un francés coloquial acerca de lo que veía con sus propios ojos y ejecutaba con sus manos. Revolucionó el tratamiento de las heridas, especialmente las de bala, que se hicieron muy corrientes en esa época de mortíferas guerras.^{9,14}

Los ingenieros: Leonardo da Vinci

En el Renacimiento las profesiones de artista, arquitecto e ingeniero no estaban separadas. El artista podía ser llamado por su ciudad o por el príncipe, u ofrecerse él mismo, para esculpir una estatua, levantar una catedral, siempre había tenido o asediado una ciudad. El maestro artesano siempre había tenido que conocer las propiedades de los materiales y los medios de tratarlos. El artista del Renacimiento tenía que saber todo eso y mucho más: debía introducir en su trabajo la geometría y la mecánica en su consciente imitación de la antigüedad. Fue en este terreno donde Leonardo da Vinci, superior a todos los artistas y naturalista, mostró su mayor habilidad. Al recomendarse a sí mismo ante el Duque de Milán, por ejemplo, cita cierto número de artificios militares que es capaz de hacer y añade al final: «En pintura puedo hacerlo tan bien como cualquier otro.»¹³ Sus libros de notas muestran cuán agudamente había estudiado las operaciones de los metalúrgicos e ingenieros y cómo se convirtió en el primer gran maestro de la *mecánica* y la *hidráulica*. Su gran tentativa, condenada al fracaso, consistió en construir un *pájaro mecánico*, pieza maestra de la investigación en la ingeniería, que combina la observación de los pájaros con la confección de modelos, cálculos y pruebas a gran escala.^{16,4,113}

Al estudiar los casi innumerables artificios mecánicos propuestos y proyectados por Leonardo, desde máquinas laminadoras hasta excavadoras móviles, advertimos otro aspecto de la tecnología de su genio.^{4,9} Podía inventar máquinas para casi todas las cosas y proyectarlas incomparablemente bien, pero muy po-

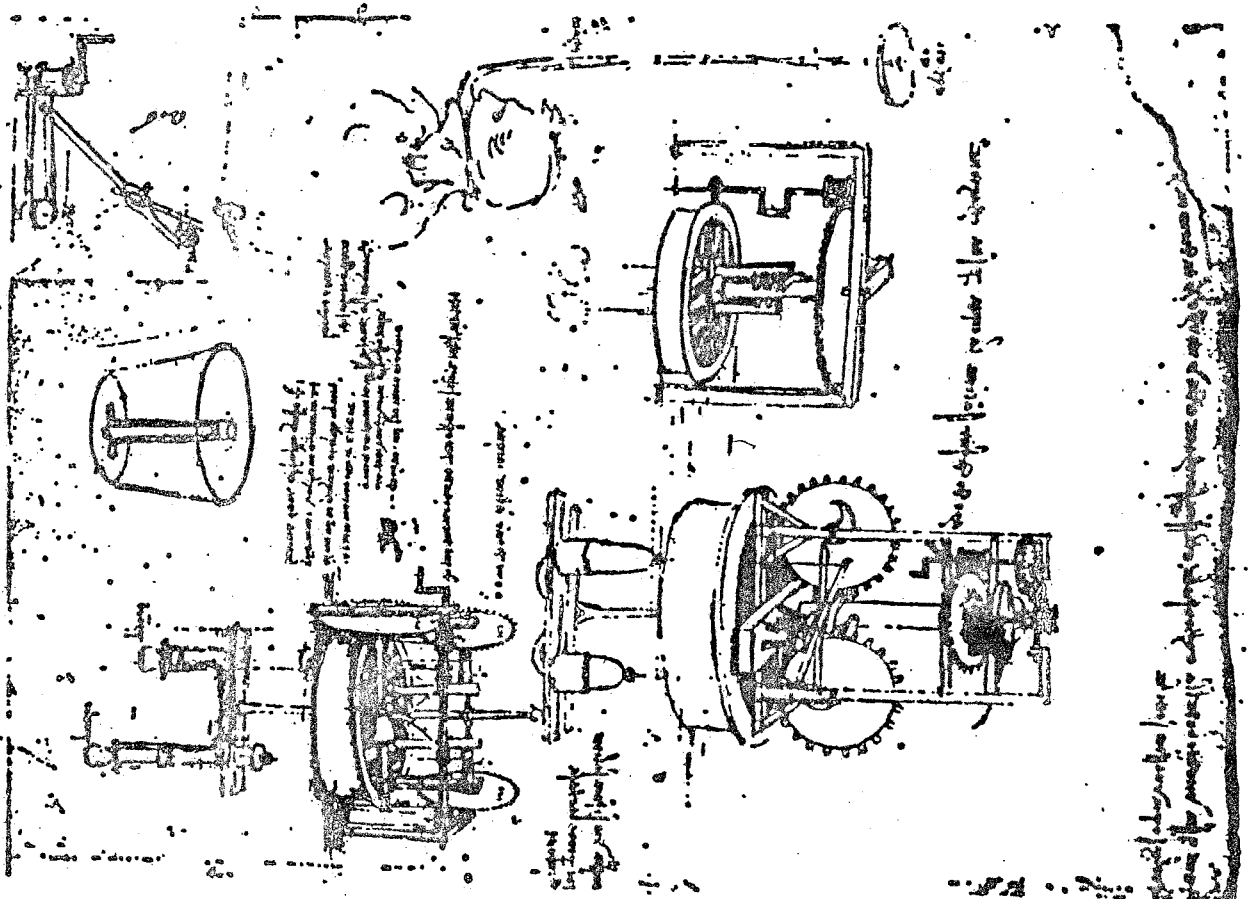
cas de ellas —y, desde luego, ninguna de las más importantes— hubieran podido funcionar incluso aunque hubiera encontrado dinero suficiente para construirlos. Sin conocimientos cuantitativos de estática y dinámica, y sin el uso de un primer motor como la máquina de vapor, el ingeniero del Renacimiento no podía, en realidad, ir mucho más allá de los límites establecidos por la práctica tradicional. Aunque no hayan afectado mucho al desarrollo de las máquinas, los trabajos de Leonardo impulsaron sin embargo, en el mundo culto, la idea de que el funcionamiento de la Naturaleza podía explicarse mecánicamente.

La vida y las obras de Leonardo da Vinci nos ilustran acerca de las esperanzas y flaquezas del Renacimiento.^{4,22} Educado como pintor, sus excelentes dotes le proporcionaron desde joven el patrocinio de los grandes en el período más brillante del arte italiano. Pero no quedó satisfecho con la práctica de la pintura; intentó comprender al propio tiempo la naturaleza subyacente de lo que pintaba y de la luz por la que veía. De ahí sus múltiples estudios en óptica, anatomía, animales, plantas y minerales. Al propio tiempo quedaba cada vez más impresionado por la importancia del movimiento y la fuerza. Intentó llevar sus ideas a la práctica poniéndose al servicio del príncipe más poderoso de su tiempo, Ludovico il Moro de Milán, pero la sombra de la guerra se cernía sobre él y fue poco lo que Leonardo pudo lograr allí. Tras la caída de Milán, en 1499, Leonardo se vio obligado a convertirse en un vagabundo, permaneciendo durante algún tiempo al servicio de Cesare Borgia en sus campañas, después al servicio de la ciudad de Florencia y del Papa, para morir finalmente como un exiliado pensionado por Francisco I de Francia.

Trató siempre de penetrar más ampliamente en el significado subyacente de la Naturaleza y de la sociedad. En esto se vio favorecido por carecer de educación universitaria y por haber de menos cosas que olvidar, pero por la misma razón le faltó el enfoque sistemático y la educación matemática suficientes para desarrollar sus ideas o para convencer a los demás de su verdad. No dejó escuela, y fue más bien una inspiración que un guía.

La tecnología renacentista

Los adelantos más importantes de la tecnología renacentista tuvieron lugar en los campos estrechamente vinculados de la minería, la metalurgia y la química. La necesidad de metales condujo a la rápida apertura de minas, primero en la Alemania central y más tarde en América. Las minas alemanas fueron las nodrizas de la producción capitalista. Durante la Edad Media la minería corría en gran parte a cargo de pequeñas cuadrillas de aventureros, o de un solo hombre, los llamados «mineros



9. TECNOLOGÍA RENACENTISTA: LEONARDO DA VINCI

Diseños de máquinas, la mayoría bombas de doble acción, con ar-
tíficios de cuerdas interrumpidas y ruedas dentadas y espirales.

libres, que trabajaban para sí y pagaban impuestos a un rey o príncipe, recibiendo protección de él contra las interferencias de los señores feudales menores.⁴¹⁰⁶ Cuando la minería se practicó a gran escala, los mineros se agruparon en *compañías* y dividieron sus partes en *acciones* o cuotas. En el siglo XV había ya acciones en manos de socios comanditarios que contribuían a encontrar el dinero para la adquisición del equipo, cada vez más costoso. A medida que las minas eran más profundas las bombas y el equipo de acarreo se hicieron más importantes. El Agricola del *De Re Metallica* fue oficialmente doctor en minería en Beilberg (colina de plomo) en Sajonia, pero también poseía acciones de algunas de las minas más productivas. La experiencia obtenida en la transmisión de fuerza y en las bombas fue el punto de partida de un nuevo interés por los principios mecánicos e hidráulicos que tendría innumerables consecuencias en las Revoluciones Científica e Industrial. Con la decadencia de la minería en Alemania, provocada por las guerras de religión, los mineros y metalúrgicos alemanes se dispersaron por España, el Nuevo Mundo y, lo que es más importante, por Inglaterra, donde proporcionaron el fundamento técnico de su futura riqueza.

La metalurgia y la química

La fundición de los metales fue la verdadera escuela de la química. La extensión de la minería produjo necesariamente el descubrimiento de nuevos minerales e incluso de nuevos metales como el zinc, el bismuto (metal dorado), el cobalto (de *kobold*, el genio de las minas) y el níquel (de *Kupfernickel*, cobre falso). Los modos de separar y manejar esos metales tuvieron que hallarse por analogía y corregirse mediante amargas experiencias, pero al hacerlo empezó a cobrar forma, al principio implícitamente, una teoría general de la química, que comprendía oxidaciones y reducciones, destilaciones, y amalgamas. Los ensayos para extraer el metal precioso de un mineral sólo pueden hacerse fundiéndolo a pequeña escala, pero de manera definida. De este modo se puso la base del *experimento* y el *análisis* químico.

La manipulación de las nuevas sustancias metálicas no dejó de producir algunos efectos fisiológicos sobre quienes trabajaban en ellas, algunos malos y otros buenos. Por ejemplo, las jóvenes de los distritos mineros empleaban arsénico para embellecer sus cutis. Algunos compuestos metálicos empezaron a introducirse en la medicina habida cuenta de sus violentos efectos y para quebrantar la confianza en las simples hierbas tradicionales. En particular, el empleo del mercurio mostró ser decisivo para curar la nueva y terrible enfermedad de la sífilis, traída por los marinos de Colón, para lo cual las antiguas hierbas habían mostrado ser ineficaces.

Paracelso y la doctrina de los espíritus

Phillipus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (1493-1541), que se llamó a sí mismo Paracelso para mostrar su superioridad sobre Celso, el gran médico de la antigüedad, fue el intemperante y entusiasta fundador de la nueva escuela de los iatroquímicos (médicos químicos). Quemó públicamente los libros de Galeno y Avicena en la plaza del mercado de Basilea, y con auténtico espíritu protestante proclamó la supremacía de la experiencia directa sobre la autoridad. Aunque estudió las antiguas tradiciones alquimistas transformadas por los árabes y Ramón Llull, fue capaz de transformarlas y modificar su orientación. A los antiguos opuestos del *azufre* y el *mercurio* agregó la *sal* neutra, estableciendo así la *tria prima*—rival de los cuatro elementos de Aristóteles—como fundamento de su arte *esparitico* de la química, que abandonó la búsqueda de la piedra filosofal para emprender la búsqueda de la salud.

El enfoque de la química por parte de Paracelso fue decididamente animista. La doctrina de la actuación de agentes invisibles relacionados con todas las actividades vivas o automotoras es una de las ideas humanas más antiguas, procedente seguramente del paleolítico. Está relacionada con el *aliento*, que es lo primero en todo animal al nacer y lo que le abandona al morir. El gran número de palabras con que puede expresarse, mezclado con otras, muestra la amplia ramificación de esta idea: soplo, aspiración, álito, suspiro, psique, espíritu, alma, inspiración... El aire mismo era una especie de espíritu, y su acción sobre los cuerpos, manifestada por las burbujas, el signo de una *fermentación* activa. El proceso químico capital, la destilación, era esencialmente un medio de capturar los espíritus invisibles que surgen de un líquido en ebullición. Que esos espíritus eran muy poderosos quedaba claro por los efectos que producía beberlos.

Todas las funciones del cuerpo, según la fisiología de Galeno, eran realizadas por distintos espíritus o almas: el espíritu vegetativo o natural, localizado en el hígado, gobernaba la digestión de los alimentos; al reunirse en el corazón con el aliento vivificador se convertía en el espíritu de la vida, que se difundía por todo el cuerpo a través de las arterias; el espíritu de la vida, a su vez, al pasar por los ventrículos del cerebro se refinaba hasta convertirse en el espíritu animal, que a través de los nervios ponía en movimiento a todo el cuerpo. Paracelso, pese a repudiar a Galeno, fue todavía más libre que él en su adopción del concepto de espíritu. Imaginaba espíritus—*archaei*, como los duendecillos de las minas—que gobernaban los diversos órganos internos—el estómago, el hígado y el corazón—precisamente en el mismo momento en que se expulsaba a los ángeles de la guarda de las esferas celestes. Pese a todo, y debido a la

intrínseca complicación de la química, este místico e intuitivo fue más fructífero para el progreso de la química que el enfoque racional y mecánico hasta llegar a la revolución química del siglo XVIII, de modo que Paracelso ocupa un lugar indiscutible en la fundación de la química moderna. Sus *archaei* han vuelto a presentarse en número muy superior a lo que imaginaba en la forma de las enzimas de la moderna bioquímica.

Los minerales metálicos no eran los únicos que llamaban la atención de los químicos renacentistas. Algunos, como Bernard Palissy (1510-1590 aprox.), estudiaban las tierras en busca de nuevos materiales vítreos para la alfarería, precisamente cuando los alfareros europeos estaban empezando a aprender las técnicas persas. Todavía debía pasar mucho tiempo antes de que pudieran imitar la porcelana china. De importancia económica mucho mayor fue que se ocuparan del alumbre, material esencial en las industrias textiles y del curtido. La posesión de minas de alumbre proporcionó una fácil riqueza al Papado, que fundó el primer *trust* químico, la *Societas Aluminum*, en 1462.³⁸ Desgraciadamente el alumbre pontificio era caro y los intentos de fortalecer el monopolio amenazando con los fuegos del infierno constuyeron otra razón para inclinarse a los fabricantes de tejidos del Norte en favor de la Reforma. En las famosas indulgencias concedidas por los papas para pagar la construcción de san Pedro y que llevaron a Lutero a desafiar a Roma encontramos que entre los pocos pecados a los que no alcanzaba la indulgencia figuraba el tráfico de alumbre de los yacimientos competidores.

Otro progreso químico de importancia fue el que se produjo en el arte de la destilación, tan mejorado y difundido que ya no conocería cambios de importancia hasta el siglo XVIII. Los espíritus fuertes no sólo se bebieron a gran escala en Europa sino que se mostraron sólo inferiores a la pólvora como medio necesario para que los ignorantes salvajes entregaran sus tierras o sus cuerpos. A finales del Renacimiento el laboratorio químico, con sus hornos, retortas, alambiques y balanzas, había tomado ya una forma que llegaría sin cambios radicales a los laboratorios actuales (Fig. 8).

7.3 NAVEGACIÓN Y ASTRONOMÍA

Viajes y descubrimientos

Los progresos técnicos de la minería y la metalurgia debían muy poco a la ciencia aunque contribuyeron mucho a ella. Cosa distinta fueron los grandes viajes, que abrieron el mundo a la empresa capitalista europea. Los viajes fueron fruto de la primera aplicación consistente de la ciencia astronómica y geográfica

a la gloria y el beneficio. Fue natural que las ciudades alemanas e italianas —Venecia, Génova, Florencia y Nuremberg— con su amplio comercio, tomaran la delantera desde el punto de vista teórico. Se produjo la resurrección y ampliación de la geografía griega, puesta al día por las viejas crónicas de viajeros, como Marco Polo y Rubricquis en el siglo XIII, y los resultados de los recientes viajes oceánicos. Al propio tiempo, italianos y alemanes mejoraron la aplicación de la astronomía a la navegación, dieron impulso a tablas astronómicas lo bastante exactas y sencillas para ser empleadas por los marinos y prepararon mapas en los que se podía dibujar la ruta seguida.

El aspecto práctico fue desarrollado principalmente por los navegantes portugueses y españoles, que combinaban los últimos esfuerzos de las cruzadas con una idea práctica acerca de las plantaciones de azúcar, los esclavos y el oro. Teoría y práctica confluyeron en la corte del príncipe Enrique el Navegante (1415-60), en Sagres, donde técnicos moros, judíos, alemanes e italianos discutían nuevos viajes con los capitanes que ya habían navegado por el Atlántico. Las Tablas Alfonsinas fueron revisadas por Peurbach (1423-51) y su discípulo Regiomontano (1436-76), quienes trabajaron en Nuremberg y finalmente fueron ayudados por Alberto Durer. Para esta obra emplearon el viejo sistema tolemaico simplificando sus cálculos por medio de la trigonometría de Levi ben Gerson, remontándose por lo tanto a los árabes y pasando por encima de todos los esfuerzos matemáticos de la Europa medieval. Estos métodos y tablas fueron de empleo inmediato para los navegantes oceánicos armados de la escuadra de Gerson. A finales del siglo XV, el fuerte monopolio turco del comercio oriental hizo tomar cuerpo a la idea de llegar al Océano Índico por un camino distinto del Mar Rojo. Los teóricos discutían sobre dos posibles rutas alternativas. La más simple, que podía intentarse paso a paso, consistía en circumnavegar África. Esta era la más apreciada por los portugueses, que la pusieron en práctica en 1488 si bien Vasco de Gama no llegó a la India hasta 1497. No estaba garantizado de antemano que tal circumnavegación fuera posible porque las tierras emergidas podían llegar hasta el Polo, pero existía también la leyenda de que se trataba de algo ya realizado por los cartagineses e intentarlo parecía bastante prometedor.

Cristóbal Colón y el Nuevo Mundo

El otro proyecto, esbozado por astrónomos y geógrafos teóricos como el florentino Toscanelli (1397-1482), consistía en navegar por el océano desconocido hasta llegar a la China, al otro lado del redondo mundo. Pero discutir esa hipótesis era cosa muy diferente de intentar realmente navegar derechamente

por la mar. Según la imaginación popular, a semejantes aventuras podía ocurrirles cualquier cosa. Tal vez tuvieran que navegar eternamente, o bien se precipitarían en el vacío al llegar al fin del mundo. Lo único no previsto fue que existiera un continente en el camino. El hombre que se atrevió a hacer la prueba ha sido reconocido siempre como el príncipe de los navegantes y como el más afortunado de los exploradores: «*A Castilla y a León, Nuevo Mundo dio Colón*», aunque él mismo no obtuviera gran cosa para sí aparte de muchas tribulaciones. Colón distaba mucho de ser un científico o de tener una idea clara acerca de su intento.⁴⁹ Hizo lo que hizo por la inspiración mística de que navegando por el océano descubriría nuevas islas, o incluso llegaría a Catay, o, tal vez, con la idea de que era el elegido (Cristóbal, portador de Cristo) destinado al descubrimiento de la imagen apocalíptica de «un nuevo cielo y una nueva tierra». Esta visión, en parte religiosa y en parte científica, fue la que le dio fuerza para alcanzar, pese a todas las penalidades, el éxito en su empresa. Esta no podía imaginarse plenamente de antemano y era bastante difícil de realizar incluso en el inquieto y aventurero siglo XV. Colón tuvo que pregonar su idea durante diez años dando vueltas por las cortes de Portugal, España, Inglaterra y Francia, soportando las sucesivas respuestas negativas de las comisiones de expertos. Por fin, sólo mediante complicadas influencias obtuvo licencia para hacerse a la mar con sus tres carabelas —una de ellas, la mayor, de cien toneladas— llevando consigo un contrato que le concedía el título de Almirante del Mar Océano y gracias regias si lograba encontrar nuevas tierras. El contraste entre las sucesivas expediciones portuguesas en torno a África y la aventura de Colón atravesando el Atlántico refleja el que existe entre el progreso técnico dependiente de una mejora constante de la tradición y el progreso de base científica, que utiliza la razón para romper radicalmente con la tradición. Por místicas que hayan sido las motivaciones del propio Colón, el apoyo que recibió para todos sus viajes le fue dado por el cálculo práctico de las ganancias que sus protectores podían esperar de la verificación de una hipótesis científica.

Colón nunca supo que había descubierto un nuevo continente y éste tomó su nombre años después del florentino Amerigo Vesputio, un amigo de Leonardo que era culto y tuvo más éxito que él al escribir sobre sus descubrimientos. Al final quedó para el portugués Magallanes, que estaba al servicio de España, completar la prueba demostrando que se podía navegar dando la vuelta a la tierra. Magallanes no terminó su viaje, pues fue asesinado en las Filipinas. El primer hombre que dio la vuelta al mundo fue Juan Sebastián Elcano.

Efectos económicos y científicos

Los efectos económicos de las grandes navegaciones fueron amplios e inmediatos. La apertura de nuevas rutas marítimas determinó el abandono de las tradicionales a través de los territorios árabes, tan beneficiosas para éstos y para los turcos, y al tiempo que propició inmensos beneficios a los portugueses ocasionó la ruina de los venecianos. Más tarde, la explotación de las minas y de las plantaciones de azúcar y tabaco de América, por medio del trabajo esclavo importado de África, dio un beneficio más amplio y más notable a España y a otras potencias coloniales. El carácter retrogrado del sistema económico español, sin embargo, hizo que esta riqueza no permaneciera en el país, pues tanto la explotación de las minas como el comercio estaban en manos de extranjeros, de modo que, finalmente, suministró el capital para las industrias de Inglaterra y Holanda.

Los efectos de la ciencia también fueron decisivos. El éxito de los primeros viajes creó una enorme demanda en la construcción de buques y en la navegación. Surgió una nueva clase de artesanos inteligentes, con formación matemática, capaces de hacer brújulas, mapas e instrumentos. Este fue el principio del público científico, creándose una nueva forma de educación y de vida para los jóvenes inteligentes de todas las clases. Se fundaron escuelas de navegación en Portugal, España, Inglaterra, Holanda y Francia.^{4,10} El movimiento de las estrellas tenía ahora un valor económico y la astronomía olvidó el peligro de ser descuidada, incluso después de que la astrología hubiera pasado de moda.

Al propio tiempo, los descubrimientos gemelos de las antiguas y ricas civilizaciones de Asia y del nuevo mundo de América, con sus productos y sus extrañas costumbres, hizo que el mundo clásico pareciera provinciano y estimuló a los hombres con la idea de que podían conseguir algo nuevo que los antiguos ni siquiera habían podido pensar. El nuevo campo, abierto ahora a la observación y a la descripción, necesitaba de nuevos métodos de análisis. De hecho las navegaciones significaron en la esfera intelectual una ruptura tan grande como la que habían abierto en la esfera terrestre. Los iniciadores del Renacimiento trabajaban confiando en una nueva era. A mediados del siglo XVI podían creer que la habían alcanzado. El humanista Jean Fernel, médico del Rey de Francia y primer hombre moderno que realizó la medición del grado de meridiano, expresó el nuevo espíritu en su *Dialogue*, escrito hacia 1530; al justificar los nuevos métodos de la medicina dice:

«Pero ¿qué habría ocurrido si nuestros antepasados y los que les precedieron se hubieran limitado a seguir la misma senda que los que trabajaron antes que ellos? No, por el contra-

rio, parece que a los filósofos les conviene ir por caminos nuevos y probar nuevos sistemas. Les conviene seguirlos sin dejar que la voz del detractor, la riqueza de la cultura antigua o el poder de la autoridad les impidan expresar sus propias opiniones. De este modo cada época produce su propia cosecha de nuevos autores y nuevas artes. La nuestra contempla el glorioso renacimiento de la ciencia y de las artes tras doce siglos de muerte. El arte y la ciencia igualan o sobrepasan hoy su antiguo esplendor. Nuestra época no necesita en modo alguno despreñarse a sí misma y contemplar el saber de los antiguos... En nuestra época se realizan proezas que la antigüedad ni siquiera soñó... En una gran hazaña, nuestros navegantes han atravesado el océano y descubierto nuevas islas. Han sido revelados los lejanos secretos de la India. El continente occidental, el llamado Nuevo Mundo, desconocido para nuestros padres, se ha explorado ya en gran parte. En esto y en la astronomía Platón, Aristóteles y los antiguos filósofos hicieron grandes progresos, y Tolomeo agregó aún mayores conocimientos, empero, si alguno de ellos resucitara hoy, encontraría la geografía tan cambiada que no podría reconocerla. Los navegantes de nuestra época nos han dado un nuevo globo terrestre.»^{4,87,17}

La revolución copernicana

No es casual que fuera en el campo de la astronomía, tan íntimamente ligado al de la geografía, donde se diera la primera y en cierto sentido la más importante ruptura del sistema de ideas de los antiguos. Esta consistió en la clara y detallada exposición de Copérnico acerca de la rotación de la Tierra sobre su eje y de su movimiento en torno a un Sol fijo. La astronomía descriptiva era la única ciencia de la época que había acumulado observaciones suficientes y desarrollado métodos matemáticos lo bastante finos para permitir que las hipótesis pudieran formularse claramente y comprobarse numéricamente. La astronomía también era, como hemos visto, el centro de un interés renovado tanto por su viejo empleo astrológico como por su nuevo uso en la navegación. Ambas cosas, con todo, no hubieran conducido por sí mismas a ningún progreso radical. Los astrónomos profesionales como Peurbach (1423-61) y Regiomontano (1436-76) consideraban que los viejos métodos, con algunas mejoras, eran ya bastante buenos. Pese a todo, es a ellos y al espíritu renacentista, que les condujo a examinar los originales griegos, a lo que se debe la nueva astronomía. Peurbach estaba al servicio del cardenal Besario (aprox. 1400-1472), el humanista bizantino, y le fue encomendada por el Papa la reforma del calendario.

Lo que añadió Copérnico fue el nuevo espíritu crítico, la

estimación de la forma estética y la inspiración de los textos recientemente editados que también podían emplearse para enfrentar unas contra otras las autoridades antiguas. Como hemos visto, la idea de la rotación de la Tierra no era en absoluto nueva. Se remonta a la fundación de la astronomía griega y fue formulada muy claramente por Aristarco en el siglo III a. C. Había continuado siendo siempre una alternativa —paradójicamente, absurda— al movimiento de las estrellas, ya que era evidente que la Tierra no se movía en tanto que sí lo hacían el Sol, la Luna y las estrellas. Para superar la idea del sentido común era necesario mucho valor además de la ciencia. El hombre que se atrevió a hacerlo tenía, a pesar de su naturaleza retraída, valor en abundancia y, como humanista del Renacimiento, el pleno deseo de lograr esa ruptura decisiva con el pasado.^{9,96,97}

Nicolás Copérnico nació en Torún, en Polonia, en 1473, educándose en Bolonia para la astronomía, en Padua para la medicina, y en Ferrara para el derecho, pasando la mayor parte de su vida como canónigo de Frauenburg. Como esta sede episcopal estaba situada en un territorio disputado por los caballeros teutones y el reino de Polonia, Copérnico tuvo mucho que ver con la guerra y la administración. Pero su gran interés estuvo siempre en la astronomía, dedicando toda su vida privada al esfuerzo de hallar una imagen más racional de los cielos, exponiéndola en su forma final en su libro *Sobre la revolución de las órbitas celestes*, impreso en el mismo año de su muerte, 1543. En él postulaba un sistema de esferas que giraban alrededor del Sol y no de la Tierra, introduciendo la rotación de ésta y mostrando en detalle cómo podía influir en las observaciones astronómicas.* Las razones de este cambio revolucionario eran principalmente filosóficas y estéticas.³¹ Hablando de su sistema heliocéntrico y de su implicación de la distancia casi infinita de las estrellas, escribe:

«Pienso que es más fácil crear esto que confundirnos suponiendo un amplio número de esferas, como se ven obligados a hacer quienes colocan a la Tierra en el centro. Nosotros seguimos así más bien a la Naturaleza, que no produce nada vano o superfluo y que a menudo prefiere dotar a una causa de múltiples efectos.»^{4,84,19}

Y, tras describir las órbitas de los planetas una tras otra, concluye:

«En el centro de todo se halla entronizado el Sol. En este bellísimo templo, ¿acaso podríamos colocar esa luminaria en mejor posición para que iluminara a todo el conjunto? Con justicia se llama al Sol Lámpara, Mente, Señor del Universo;

Hermes Trimegisto le llama Dios visible; la Electra de Sófocles le llamaba Omnividente. Así es como el Sol, sentado en su trono, gobierna sobre sus hijos, los planetas, que giran en torno a él. La Tierra tiene a la Luna a su servicio. Como dice Aristóteles en su *De Animalibus*, la Luna guarda una relación más estrecha con la Tierra, mientras que ésta concibe gracias al Sol y se hace fecunda con su renacimiento anual.»

También advertimos aquí un regreso a una imagen más antigua, mágica en realidad, del universo, y a una exaltación de la monarquía centralista, *le Roi Soleil*.

La presentación del sistema solar tardó algún tiempo en producir efectos. Algunos astrónomos lo apreciaron como un medio para mejorar sus cálculos. Las tablas prusianas fueron preparadas en 1515 según el sistema copernicano, pero muy pocos creían que fuera realmente verdadero. Además de repugnar al sentido común, los sabios podían hacerle muchas objeciones, en particular la consistente en preguntar por qué la rotación de la Tierra no producía un fuerte viento, o por qué no desviaba a los cuerpos en su caída. Estas objeciones fueron eliminadas finalmente por Galileo.

Sin embargo, la mera idea de un universo abierto, con la Tierra como una pequeña parte del mismo, destrozaba la vieja imagen de las cerradas esferas concéntricas cristalinas, creadas y mantenidas en movimiento por la divinidad. Si se habían descubierto nuevos mundos en la Tierra, ¿acaso no podían existir otros en el cielo? Ésta fue la herejía por la que Giordano Bruno tuvo que morir.

Las conquististas del Renacimiento

La primera fase de la revolución científica fue destructiva en el campo de las ideas, aunque quedó iluminada por la brillante hipótesis constructiva de Copérnico. Los viejos modos de pensar mostraron ser inadecuados e insatisfactorios no solamente en la astronomía sino también en otros terrenos como la anatomía y la química. Los hombres del Renacimiento, aunque sólo hallaron solución para algunos de los problemas que se habían planteado, al menos abrieron el camino para la solución de los restantes en la gran lucha de ideas del siglo siguiente.

En el empleo de la ciencia, por contraste, el Renacimiento se apuntó un éxito decisivo. El esfuerzo científico de la Edad Media se perdió en gran parte, como se ha indicado, porque no pudo encontrarse un empleo práctico. Los éxitos de los navegantes renacentistas proporcionaron precisamente lo que era necesario: un campo de aplicación seguro y en crecimiento. Y este campo

necesitaba a la vez de la astronomía y de la navegación, precisamente aquellas partes de la ciencia que se habían conservado mejor desde la época clásica y que se habían mantenido más activamente al servicio de la astrología y de la confección del calendario. La ciencia de la mecánica suministró un apoyo adicional en el desarrollo de la artillería. A partir de entonces quedó asegurada la posición de la ciencia. Se había convertido en una necesidad para la más vital, activa y provechosa de las empresas: el comercio y la guerra. Más tarde extendería sus servicios a la manufactura, la agricultura e incluso la medicina. La importancia capital del Renacimiento procede de que significó la primera ruptura con la economía, la política y las ideas de la Edad Media feudal. La mayor parte del trabajo constructivo estaba aún por hacer, pero era ya imposible retroceder. La ciencia había empezado a poner su huella en la historia.^{2,17, 9,67, 9,86, 9,137}

7.4 LA SEGUNDA FASE: LA CIENCIA DURANTE LAS PRIMERAS REVOLUCIONES BURGUESAS (1540-1650)

El período comprendido entre 1540 y 1650 no tiene en la historia un nombre determinado. A veces se le ha llamado el Contrarrenacimiento,⁴⁴ pero esto sugeriría un grado de reacción respecto de la primera fase mayor del que realmente tuvo lugar. Incluye la Contrarreforma, con el estilo barroco que fue su expresión visible, las Guerras de Religión que se produjeron sucesivamente en Francia (1560-98), los Países Bajos (1572-1609) y Alemania (1618-48), y el establecimiento de los Estados Generales de Holanda en 1576 y de la *Commonwealth* británica en 1649. De estos sucesos, los dos últimos fueron los que tuvieron mayor significado. Señalan el triunfo político de la nueva burguesía en los países en que se concentraba el grueso de la manufactura y el comercio mundial.

En la ciencia, este período incluye los primeros grandes triunfos del nuevo enfoque del experimento y la observación. Se abre con la primera exposición del sistema solar, por Copérnico, y se cierra con su firme establecimiento —pese a la condena de la Iglesia— mediante la obra de Galileo. Abarca la descripción de la Tierra como imán, realizada por Gilbert en 1600, y el descubrimiento por Harvey de la circulación de la sangre en 1628. También es testigo de los dos grandes ampliadores de la Naturaleza visible, el telescopio y el microscopio.

Económicamente el siglo estuvo dominado por los efectos acumulativos de las navegaciones, que por entonces suponían ya un comercio equiparable al antiguo comercio interior de Europa. Se caracterizó especialmente por el gran aumento de los

precios determinado por la afluencia de la plata americana. La ruptura del sistema feudal de tenencia de la tierra en la Europa occidental, especialmente en Inglaterra y Holanda, incorporó al mercado a los campesinos desposeídos e hizo descender al propio tiempo los salarios reales de los trabajadores. Esto hizo bajar el costo de los productos en un período de aumento de precios y ampliación de mercados y al mismo tiempo dio una abundante fuerza de trabajo a los manufactureros. El resultado fue un aumento sin precedentes en la riqueza de los comerciantes y manufactureros que explotaban las nuevas rutas oceánicas y que podían obtener nuevos recursos y abastecer nuevos mercados.^{43, 47} Los efectos combinados del cambio en las rutas marítimas y de las guerras arruinaron la economía alemana, que había sido la región más progresiva de Europa a principios del siglo XVI.

La pérdida en el antiguo centro quedó compensada en la periferia. El nuevo centro económico de Europa, y por lo tanto del mundo, se trasladó a las tierras costeras del Mar del Norte, primero a Holanda y más tarde a Inglaterra y el norte de Francia. Allí, a diferencia de otros países costeros como España y Portugal, donde las condiciones seguían siendo feudales, la manufactura podía combinarse con el comercio. Los artesanos alemanes e italianos emigraron hacia esa zona y extendieron rápidamente las conquistas artísticas y técnicas del Renacimiento a las ahora dominantes naciones del norte. Al propio tiempo, la necesidad de suministrar alimento a las crecientes poblaciones de Holanda e Inglaterra, además de lino, madera, brea y hierro para sus navíos, estimuló el desarrollo económico de los países del Báltico, de modo que Dinamarca, Suecia, Polonia y Rusia empezaron a aparecer a su vez como potencias independientes.

Los motores y principales beneficiarios de esta segunda fase de la revolución económica fueron los mercaderes de Holanda e Inglaterra, que se apoyaban en una agricultura y una industria pesquera florecientes. La riqueza dio poder político a la burguesía, pero esto no ocurrió fácilmente. Fueron necesarios años de lucha e incluso de guerra abierta antes de que los reyes, de España primero y luego de Inglaterra, se vieran obligados a comprobar que no podían mantener a sus ricos súbditos holandeses o ingleses bajo las condiciones feudales que les impedían obtener sus beneficios. Las razones visibles de esta lucha fueron de índole religiosa, y esto tenía por lo menos la justificación de que las convicciones y la práctica políticas y económicas de la nueva burguesía se expresaban más naturalmente en términos calvinistas que en términos católicos o incluso luteranos.⁴⁹

El progreso de la tecnología

Técnicamente el siglo fue de progreso uniforme en magnitud y realización, pero sin las innovaciones radicales que caracterizaron a los siglos anterior y siguiente. La agricultura siguió siendo la ocupación predominante, y los tejidos de lana la industria principal. Sin embargo, el cambio estaba en el ambiente. La construcción naval mejoraba con la experiencia y con la navegación. El aumento del comercio y el descenso de los costos del transportes condujo a una distribución mucho más amplia de la riqueza entre la burguesía. Los artículos de lujo rarísimos, como la seda y el vidrio, se convirtieron en mercancías, a la vez que nuevos productos de oriente y de occidente, como el algodón, la porcelana, el cacao y el tabaco, empezaron a entrar en los mercados europeos. La pintura, en las escuelas holandesa y flamenca, empezó a dejar de servir a la religión y a la exaltación de la nobleza para retratar a la gente corriente que comía, bebía o estaba en esparcimiento. Fue en esa época cuando los holandeses establecieron el modelo de *comfort* burgués en las casas de la ciudad y del campo, invirtiendo buen dinero en jardines y parques.

Los altos hornos y el vaciado del hierro

De un modo casi desapercibido estaba teniendo lugar un cambio de mayor envergadura en los métodos de producción de bienes menos espectaculares, especialmente del hierro. En este período la transformación de la metalurgia del hierro, que había estado madurando en Europa a partir del siglo XIV, empezó a tener un efecto decisivo. El hierro vaciado era ya conocido en China en el siglo I a. C., pero su aparición en Europa parece haber sido cosa completamente independiente de esto. Su producción es un típico ejemplo de un cambio crucial derivado del simple aumento en la magnitud de la operación. Durante 3000 años el hierro se había producido por reducción a baja temperatura, utilizando carbón vegetal en pequeños hornos de forja, que dejaban una masa pastosa de hierro. A lo largo de la Edad Media estos hornos empezaron a ser mayores, atizándose el tiro mediante fuelles impulsados finalmente por la fuerza hidráulica. En ocasiones la temperatura era lo bastante alta para fundir el hierro y convertir la «esponja» maleable en un «oso» intratable.⁴⁶ Más tarde, en el Rhin y en el siglo XIV, surgió la idea de vaciar el hierro frente al horno en un hoyo que pronto se convirtió en la «goa» o gorrina, con su camada de «lingotes» de hierro. Al principio esos lingotes eran difíciles de manejar y su mejora fue lenta, pero a medida que se fue difundiendo el conocimiento del proceso, las forjas cedieron el paso a los nuevos

altos hornos y a fines del siglo XVI el hierro empezó a vaciarse a toneladas en vez de ser batido en pequeñas cantidades.⁵²

La limitación impuesta a todas las técnicas por el alto costo del hierro se eliminó rápidamente, pero apareció un nuevo obstáculo constituido por la escasez de carbón vegetal necesario para fundir grandes cantidades de hierro. Las antiguas regiones del hierro, como Sussex, perdieron su predominio. Este pasó a Suecia y a Rusia, que contaban con grandes reservas de madera. En realidad el hierro fue el principal factor que, por medio del comercio y de la guerra, introdujo a estos países en la economía mundial. El hierro se empleó primera y principalmente para las armas, especialmente para cañones, una vez que el arte de los fundidores de campanas de bronce pudo ser aplicado a él. Inglaterra en seguida adquirió fama como fabricante de cañones, que se vendían siguiendo estrictamente las reglas comerciales. Los cañones de los galeones de la Muy Católica Majestad del rey de España y del infiel Bey de Argel eran iguales: habían sido fundidos en Sussex.⁴⁸

El empleo de la hulla

La escasez de leña para la fundición de hierro fue solamente una entre las muchas razones de la aguda crisis maderera que afectó a Holanda e Inglaterra a finales del siglo XVI. La prosperidad mercantil general elevó la demanda de madera —para barcos y casas, para leña, para las salinas, la producción de carbón, toneles de cerveza y otros muchos usos domésticos— por encima de la capacidad de los bosques locales. La escasez de carbón podía remediarse en parte mediante las importaciones, pero pronto se tuvo a mano un nuevo remedio: la hulla, extraída en los yacimientos abiertos en Escocia y Northumbria desde la época romana, y que había tenido ya un lejano mercado en Londres e incluso en el Continente desde la Edad Media. Aunque era bastante sucia, los ciudadanos empezaron a utilizarla como combustible, a pesar de todas las leyes que prohibían su empleo.

A medida que en el siglo XVI crecía el precio de la madera se iban encontrando nuevos empleos para la hulla, de modo que su producción aumentó rápidamente. En los setenta años comprendidos entre 1564 y 1634 los embarques de hulla en Newcastle aumentaron catorce veces, hasta alcanzar el medio millón de toneladas.⁴⁷ Consiguientemente, se hicieron mayores esfuerzos para su extracción, haciendo las minas más profundas y facilitando así el aprovechamiento de los yacimientos más ricos. Esto produjo el uso de artificios tomados en gran parte de las minas de metal europeos (bombas mejoradas y vías de madera para llevar las carretillas al exterior). La hulla resolvió las crisis periódicas de combustible que en el pasado habían empujado más

y más a la civilización hacia los bosques vírgenes. A partir de entonces los centros industriales, y con ellos el centro de la civilización, se aproximaron a los centros hulleiros, donde permanecieron fijos al menos durante otros cuatrocientos años. Seguramente éste fue el principal factor que condujo al predominio industrial británico. Como señala el agudo observador Daniel Defoe en su descripción del paseo de Yorkshire, el West Riding,

«...tal ha sido la bondad de la Naturaleza para con este país, por otra parte feísimo, que en él hay dos cosas esenciales para los negocios, fáciles de encontrar para quienes viven en él, que le colocan en una situación que jamás he visto en ninguna otra parte de Inglaterra y seguramente difícil de hallar en ningún otro lugar del globo. Me refiero a la hulla y a las corrientes de agua que bajan desde las altas montañas; esto parece puesto así por la sabia mano de la Providencia para el objeto en que hoy se emplean, es decir, para las manufacturas, que no podrían funcionar de otro modo. En realidad, sin ellas no podría aumentarse ni la quinta parte de la población actual, pues la tierra no podría mantenerla.»

El desarrollo industrial de finales del siglo XVI y principios del XVII, al que se ha llamado Primera Revolución Industrial,⁴⁷ no puede compararse en innovaciones técnicas ni en el empleo de la ciencia con la gran Revolución Industrial del siglo XVIII. Sin embargo, hoy podemos ver que fue su preludio necesario. Antes de que fuera posible el cambio de una tecnología de la lana y la fuerza hidráulica a otra de hulla y hierro, era preciso que se mostrase su necesidad. La presión de la demanda de la primera revolución industrial sobre los limitados recursos que habían bastado para la economía feudal de la Edad Media obligó a la búsqueda de nuevos recursos y nuevas técnicas.

Los proyectistas: Simon Sturtevant

Finalmente, esa misma presión modificó la actitud hacia la novedad. Una vez que el beneficio se consideró legítimo y se advirtió que métodos nuevos podían suministrar mayores riquezas, las novedades se adoptaron en seguida y dejaron de ser evitadas. Ésta fue la tienda que vendió el «nuevo gorro de pensar» al que el profesor Butterfield atribuye el nacimiento de la ciencia moderna.⁴⁸ A finales del XVI y principios del XVII apareció la raza de los *proyectistas*, llamados más tarde *inventores*. No se limitaron a hablar, como Roger Bacon, de máquinas maravillosas y nuevas sino que ofrecían construir las y algunas veces lo conseguían.⁴⁹

Uno de esos hombres fue Cornelius Drebbel (1572-1634), quien construyó un submarino que exhibió en el Támesis, e introdujo un tinte escarlata que fue mucho más provechoso para él. Otro fue el trágico y olvidado Simon Sturtevant, un clérigo excéntrico que tenía altas miras: quería nada menos que «elaborar, fundir y moldear hierro, acero y otros temple con carbón marino o hulla, siendo el propósito principal de este invento salvar los bosques y selvas de nuestro país» (del preámbulo a su patente *El tratamiento de los metales*, 1612⁴⁹⁷). Cuál era el secreto de Sturtevant, o cómo esperaba llegar a él, es cosa que no sabemos nunca. El problema que se planteaba no llegó a resolverse en la práctica hasta cien años más tarde, pero nos ha legado la descripción más perfecta, insuperada en muchos sentidos, de los aspectos técnicos y económicos del invento, y todo ello con anterioridad a la era industrial. La exposición de Sturtevant empieza con «La Heurética —o arte de la invención—, que enseña cómo encontrar lo nuevo y juzgar lo viejo», la cual está a su vez dividida en una parte «Orgánica», la del capital fijo, y una parte «Técnica», relativa a la pericia de los «Artesanos». En su análisis de los procesos de invención distingue los diseños, los modelos (superficiales y reales), modelos funcionantes, prototipos (protoplastos) y finalmente la «Gran Mecánica» o producto a escala real, «amplificando simplemente la forma y el tipo del protoplasto o añadiéndole algunas innovaciones beneficiosas que la experiencia posterior ha hecho aconsejables». Era plenamente consciente de los costos de producción y de los criterios de rentabilidad, además de tener ideas claras acerca de los medios de aumentar el capital. ¿Por qué llegó a fracasar por completo? No por incapacidad técnica, ya que mostró su pericia inventando la loza de barro comprimido que aún hoy utilizamos. Las razones parecen derivarse de las condiciones de la época, todavía inapropiadas para el tipo de empresa capitalista que preveía con tan sorprendente claridad.

Sturtevant calculó el rendimiento anual del monopolio del hierro en 330.000 libras esterlinas. De acuerdo con ello dividió su empresa en 33 acciones; el rey, los príncipes y el favorito Carr recibirían dieciocho; Sturtevant, una, y las catorce restantes se distribuirían entre «quienes quisieran aventurarse, unirse o colaborar en la empresa». Con semejante participación de la corte no debe sorprender que no se llegara a nada. Dos de los aventureros que se habían ofrecido a participar en la empresa robaron la patente a Sturtevant, dejándolo en una situación ilegal, pero fracasaron al tratar de ponerla en práctica por sí mismos, puesto que la patente original es un modelo de oscuridad en lo referente a los detalles.*

La industria moderna no podía surgir de las condiciones feudales o de las prerrogativas de los príncipes del Renacimiento que, desprecupados por sus gastos, estaban siempre cortos de

dinero y llenos de deudas. El progreso técnico real lo realizaron los hombres que fueron acumulando capital a partir de sus propias ganancias. Y esto sólo pudo tener lugar en el siglo siguiente, cuando se hubieron abolido los privilegios de los reyes, los nobles y las corporaciones.

Los nuevos filósofos experimentales

En esta atmósfera se desarrolló la nueva y semidespierta ciencia europea hasta alcanzar su madurez. Dicha atmósfera no era en absoluto desfavorable a pesar de la amplitud de los privilegios y la corrupción. Ni siquiera la Contrarreforma, que logró detener y hasta reducir el progreso del protestantismo en Europa, tuvo malas consecuencias para la ciencia. Los jesuitas que dirigían el movimiento de la Contrarreforma tuvieron la inteligencia de comprender que era más fácil conquistar las almas alentando a la ciencia que oponiéndose cíegamente a ella. Por lo tanto, se incorporaron plenamente al movimiento científico, especialmente a la nueva astronomía, y llegaron incluso a ser agentes de su difusión estableciendo observatorios en la India, la China y el Japón. Al mismo tiempo actuaron dentro de la ciencia como perros guardianes para impedir que tuviera efectos perniciosos sobre la religión verdadera, de modo que, inadvertentemente, dieron una ventaja a los científicos de los países protestantes que quedaban fuera de su control.

La concentración de la ciencia en Italia en el siglo xv fue sustituida por su amplia difusión por Europa, si bien la primacía intelectual italiana se mantuvo durante algún tiempo a pesar de su decadencia política y económica. Italia, el primero de los países de la Europa occidental en romper con la tradición feudal, continuó siendo el centro de la cultura europea mucho después de haber perdido su importancia política y económica. La cultura estaba allí bien equilibrada pues, a diferencia de los demás países europeos, sus universidades habían sido conquistadas en seguida para las nuevas enseñanzas. Los profesores eran al mismo tiempo cortesanos, de modo que eran capaces de combinar el conocimiento práctico del mundo con el contacto y la familiaridad con la tradición escolástica. Cualquiera que fuese el país de procedencia de los nuevos científicos —Polonia, Inglaterra, Francia—, fue en Italia donde adquirieron sus conocimientos y donde realizaron lo mejor de su obra.

Los nuevos filósofos experimentales o científicos, como les llamaríamos ahora, ya no formaban parte de la intensa vida ciudadana del Renacimiento; parecían más bien miembros individuales de la nueva burguesía, y eran a menudo abogados como Vieta, Fermat o Bacon; médicos, como Copérnico, Gilbert y Harvey; miembros de la baja nobleza, como Tycho Brahe, Descartes,

von Guericke y van Helmont; eclesiásticos, como Marsena y Gassendi, y hasta había algunos brillantes frutos de los órdenes inferiores de la sociedad, como Kepler. En la historia aparecen como figuras aisladas, pero en realidad, gracias a su pequeño número, estaban siempre en contacto más estrecho que los científicos actuales, con un gran número, la presión de los plazos de publicación y su sumisión a restricciones militares y políticas.

La educación científica: el Gresham College

En Holanda e Inglaterra se produjo incluso el comienzo de la educación científica, con una decidida preferencia por la navegación, a imitación de las escuelas españolas y portuguesas de la primera fase. Los flamencos Gemma Frisius (1508-55) y Gerard Mercator (1512-94), mostraron el modo de hacer cartas de navegación muy precisas. Les siguieron de cerca los geógrafos ingleses, de los cuales John Dee (1527-1608), más conocido como astrólogo, fue amigo y consejero de los grandes marinos del reinado isabelino y puede ser considerado con justicia como el primer científico británico de la nueva era. El primer instituto de Inglaterra para la enseñanza de la nueva ciencia fue el *Gresham College*, fundado en 1579 por voluntad de sir Thomas Gresham (1519-79), uno de los grandes comerciantes de Londres, agente financiero de la corona y fundador de la *Royal Exchange*. Personificaba la unión del capital mercantil y la nueva ciencia. A diferencia del *Collège de France*, de la generación anterior, el *Gresham College* no fue simplemente una institución humanista. Las clases se daban tanto en inglés como en latín. De sus siete profesores, dos de ellos tenían a su cargo las ciencias de la geometría y la astronomía, y al profesor de esta última se le encomendaba además la enseñanza de los instrumentos de navegación «para capacitación de los marinos».⁴⁶ El *Gresham College* sería durante un siglo el centro científico de Inglaterra y albergaría a la *Royal Society*, que al principio se reunía en sus salones.⁴⁷

Muchos científicos de la época daban por sentado —lo que hubiera sido una herjeía en tiempos medievales— que la ciencia se ocupaba ante todo de la Naturaleza y de las artes, y que su principal finalidad era ser útil. Muchos de ellos estaban de vez en cuando al servicio del Estado e intentaban justificar su empleo por medio de invenciones prácticas para la guerra o la paz. Su originalidad e individualismo eran sólo aparentes. Sus pensamientos se basaban necesariamente en las mismas tradiciones, usaban los mismos métodos y se ocupaban de los mismos problemas. El número de éstos era limitado en comparación con el cualitativo universalismo del Renacimiento o con la investigación sistemática de la Naturaleza en la siguiente fase de ciencia organizada. Las principales cuestiones planteadas fueron las

referentes al funcionamiento de los cielos, para permitir el uso de la astronomía en la navegación, el movimiento de los proyectiles y de las máquinas, y el del cuerpo humano. Este programa no era ya puramente negativo, como en la primera fase del Renacimiento; se ocupaba menos de destruir los sistemas de Aristóteles y Galeno que de suministrar alternativas Operantes. En esto llegaron a superar todas las previsiones, aunque la síntesis final quedó reservada para la época de Newton.

7.5 LA JUSTIFICACION DEL SISTEMA SOLAR

Las implicaciones de la revolución copernicana tardaron algún tiempo en introducirse. Los astrónomos profesionales fueron los primeros en aceptarla debido a su simplicidad como medio —si bien no excesivamente preciso— de mejorar las tablas astronómicas. Vinieron a continuación los que la consideraban una convincente ilustración de la estupidéz de la vieja imagen del mundo aristotélica y medieval, o quienes se inspiraron en la visión del infinito universo que abría. Uno de los científicos más famosos fue Giordano Bruno (1548-1600),⁴⁹ nacido en Nola, cerca de Nápoles, de temperamento fogoso y penetrante imaginación. Se peleó en seguida con la orden monástica en que había ingresado y viajó por toda Europa discutiendo y publicando libros y panfletos en los que mezclaba el misticismo juliano con la idea de la pluralidad de mundos. Su habilidad era tal que impresionaba por igual a científicos y maguates, pero su atlada lengua le proporcionó menos amigos que enemigos, obligándole a viajar continuamente. Finalmente, aventurándose imprudentemente en Venecia en 1592, fue traicionado y entregado a la Inquisición Romana, que ocho años más tarde le condenó a morir en la hoguera por hereje. Fue mártir no tanto de la ciencia como de la libertad de pensamiento, pues nunca hizo experimentos u observaciones pero insistió hasta el fin en su derecho a extraer sus conclusiones de los hechos científicos.

Bruno logró que sus contemporáneos pensaran y discutieran sobre la teoría copernicana. Su ejecución asustó tanto a católicos como a protestantes, que habían animado sus palabras. Con todo, eran necesarios argumentos más sólidos antes de que la teoría de Copérnico pudiera establecerse y emplearse provechosamente. Lo que le faltaba a la teoría, en su forma inicial, era una descripción precisa de las órbitas de los planetas. Esto era lo que debían suministrar los astrónomos, a la vez que argumentos convincentes para justificar la imperceptibilidad del movimiento de la Tierra. Esto suponía la creación de una nueva ciencia de la dinámica.

La primera tarea fue llevada a cabo por dos hombres notables: Tycho Brahe (1546-1601) y su ayudante Johannes Kepler (1571-1630). Tycho Brahe, un noble danés, utilizó su influencia sobre el rey Federico II para construir el primer instituto realmente científico del mundo moderno, Uraniborg, situado en la isla de Hveen (en el estrecho de Sund), que proporcionó riqueza a Dinamarca por el cobro de derechos de paso. Allí, con la ayuda de aparatos fabricados especialmente, reunió una serie de observaciones muy precisas acerca de la posición de estrellas y planetas que convirtió en anticuadas a todas las realizadas con anterioridad. Estaba influido por la obra de Copérnico, pero prefería un sistema propio suyo en el cual el Sol giraba en torno a la Tierra, pero los planetas en torno al Sol, que es, naturalmente el sistema copernicano relativo a una Tierra sin movimientos. En realidad adoptó ese sistema como el más acorde con sus observaciones y sin preocuparse por lo absurdo que era desde el punto de vista físico. En realidad, sin insistir en ello, había quebrantado ya el sistema aristotélico al demostrar que la Estrella Nueva de 1572 estaba en la esfera de las estrellas fijas donde, por definición, no podía tener lugar ningún cambio. Tycho vivió en una época de transición para la astronomía, precisamente cuando la antigua necesidad de datos astronómicos, casi exclusivamente con finalidades astrológicas, y por tanto subvencionados socialmente por los príncipes, estaba dando paso a una necesidad nueva de datos astronómicos más exactos para el uso de los navegantes.

Kepler

Los resultados de Tycho se hicieron infinitamente más valiosos para el progreso de la ciencia cuando fueron elaborados por Kepler. Este era hijo de una familia pobre y vivió una vida de continuas luchas y frustraciones, en parte debido a su extraño carácter. Fue el primer gran científico protestante pero trabajó en países católicos durante la mayor parte de su vida. Combinaba de modo poco corriente una fantástica imaginación, ampliamente imbuída de magia numérica, con una escrupulosa integridad en la exactitud de sus mediciones y cálculos. El principal motivo que presidía su obra era el místico deseo de penetrar en los secretos del universo, como testimonia el título de su primer libro, *Mysterium Cosmographicum*.⁴⁹ Pero tenía que vivir y, como decía, «Dios da a todos los animales sus medios de subsistencia; a los astrónomos les ha dado la astrología». Kepler ayudó a Tycho, durante los últimos años de la vida de éste en el extravagante instituto alquímico-astrológico que el emperador

Rodolfo II había fundado en Praga. La existencia de una investigación científica activa y bien subvencionada en la Polonia del siglo XVI, así como en Dinamarca y en Bohemia, es un signo del nuevo desarrollo económico de esos países, situados más allá de la franja de la Europa feudal.

Kepler trató de encontrar el modo de representar de la mejor manera posible y por medio de una sola curva los movimientos planetarios. Copérnico había seguido aferrado a ciclos y epiciclos, pero éstos no sólo eran muy complicados sino que ni siquiera le permitieron realizar nuevas observaciones precisas. Kepler concluyó, después de muchos fracasos, en que la única explicación del movimiento observado del planeta Marte consistía en que su órbita era elíptica, teniendo al Sol como uno de los focos. La idea de las órbitas elípticas no era completamente nueva: la había sugerido Arzachel de Toledo (1029-87) en el siglo XI, pero basándose en datos totalmente inadecuados. Kepler tuvo éxito porque vivió en una época en que existían ya datos suficientes para demostrar que las trayectorias de los planetas no se podían explicar por medio de combinaciones de círculos, pero al propio tiempo los datos no eran suficientemente exactos para que se advirtiera que las órbitas no son en realidad elipses, sino curvas mucho más complicadas que solamente serían explicadas por Einstein.

La hipótesis de las órbitas elípticas y las otras dos leyes por las que Kepler explicaba el mantenimiento de los planetas en sus órbitas no solamente eliminaron la principal objeción astronómica a la hipótesis de Copérnico, sino que también asertaron un golpe mortal a la idea pitagórico-platónica de la necesidad de que los cielos tengan solamente movimientos perfectos —es decir, circulares—, conservada incluso por Copérnico.* Los cálculos puramente astronómicos de Kepler no fueron, sin embargo, el elemento decisivo en la producción de la gran revolución en las mentes humanas que condujo a una imagen completamente nueva del universo, pero proporcionaron la base de observaciones para la explicación cuantitativa y dinámica que elaboraría Newton más adelante.

El telescopio

El paso decisivo para garantizar la aceptación de la nueva imagen de los cielos no fue la ampliación posterior del cálculo astronómico, apreciado únicamente por los expertos, sino un medio físico directo que hacía asequible a todos la observación directa de los cielos y examinar con mayor detalle el Sol, la Luna y las estrellas. En otras palabras: lo decisivo fue la invención del telescopio o catalejo.

El telescopio seguramente no fue en sí mismo una creación

de la ciencia: apareció en Holanda de modo más bien oscuro, como un subproducto de la fabricación de gafas. La leyenda cuenta que, hacia el año 1600, a un niño que estaba en la tienda de gafas de Lippershey se le ocurrió mirar por la ventana a través de varias lentes, advirtiendo que los objetos parecían estar más cerca. El hecho de que no se necesitara ningún genio científico para inventar el telescopio revela que éste apareció con mucho retraso. Siempre había sido necesario, pero nunca había sido construido porque no se pensaba que fuera realizable. De hecho, los medios para obtenerlo estaban a la disposición de cualquiera desde hacía trescientos años. Sólo parece haber precisado la mera concentración cuantitativa de la manufactura óptica producida con la riqueza del siglo XVI para que el invento tuviera lugar por casualidad.

Galileo Galilei

El telescopio mostraría ser el gran instrumento científico de la época. La simple noticia de su invención llegó a oídos del profesor de física e ingeniería militar de Padua, Galileo Galilei (1564-1642), quien decidió construir uno y escudriñar con él los cielos. Galileo era ya un copernicano convencido, y estaba además enormemente interesado por el movimiento del péndulo y por los problemas relacionados con la caída de los cuerpos. En unas pocas noches de observación de los cielos vio lo suficiente para que se derrumbara toda la imagen aristotélica de ese sereno elemento. La Luna, en vez de ser una esfera perfecta, estaba cubierta de mares y montañas; Venus tenía fases como la Luna; el planeta Saturno parecía dividido en tres, y, lo que es más importante, Galileo observó que en torno a Júpiter giraban tres estrellas o lunas como un modelo a pequeña escala del sistema copernicano. Cualquiera podía observarlas mirando por el telescopio.

Con su agudo sentido de la publicidad y del valor material de sus descubrimientos, que no consideraba incompatibles con el puro goce de la investigación, Galileo trató de vender los nombres de estas estrellas sucesivamente al Duque de Florencia (un Médico), al Rey de Francia y al Papa, pero los honores celestiales les parecieron a éstos demasiado caros. Posteriormente, cuando se le ocurrió el fin más práctico de emplear su movimiento para determinar la longitud en el mar, trató de vender el secreto al Rey de España y a los Estados Generales de Holanda, que habían ofrecido premios al descubrimiento de sistemas de medición de la longitud, pero tampoco encontró comprador.^{1,3,17}

Con todo, esas tentativas fueron para Galileo cosa secundaria. Desde el principio advirtió el carácter realmente revolucionario de las nuevas observaciones. Todo el mundo podía ver en el cielo

el sistema de Copérnico. Se trataba de algo que había que difundir en seguida. Al cabo de un mes, en 1610, había publicado ya lo que sería un *best seller* científico: *Siderius Nuntius* («El mensajero de las estrellas»), en el que describía breve y claramente sus observaciones. El libro produjo sensación y, de momento, ninguna reacción desfavorable. El proceso contra Galileo no tuvo lugar hasta veinticuatro años más tarde; pues, si bien se dictó una condena calificada de las tesis de Copérnico en 1618, ésta no constituía obstáculo alguno a su consideración como una representación matemática de los movimientos de los cielos. Algún aristotélico recalcitrante se negó a mirar por el telescopio alegando que ya sabía muy bien lo que había en los cielos por el dictado de su razón. En la medida en que razón y observación podían permanecer en diversas esferas del discurso no había dificultades.

La caída de los cuerpos: la dinámica

Pero Galileo no creyó que fuera suficiente comprobar mediante observaciones la preferencia estética de Copérnico. También era necesario justificarla explicando cómo podía existir semejante sistema y eliminando las objeciones que tanto los filósofos como el sentido común habían opuesto a ella en el pasado. Era necesario explicar cómo podía tener lugar la rotación de la Tierra sin que se levantara un fuerte viento en dirección opuesta y por qué los cuerpos arrojados al aire no permanecían fuera de la Tierra. Esto supuso un serio estudio de los cuerpos en movimiento libre, problema que había adquirido ya gran importancia práctica en relación con el lanzamiento de proyectiles.

Por aquel entonces la teoría del ímpetu de Filipo, transmitida por los árabes y elaborada por los nominalistas parisinos, estaba ganando aceptación. El proyectil, al abandonar el cañón, se suponía dotado de un ímpetu o *vis viva* que eliminaba transitoriamente su natural propensión de caer. Tartaglia (1500-57), Benedetti (1530-96) y otros científicos del siglo XVI habían elaborado esta explicación insertando entre la violenta ascensión del proyectil y su caída natural un movimiento circular mixto determinante de una trayectoria que, para las bombas de mortar de la época, era una aproximación no demasiado mala. Seguía faltando, no obstante, toda justificación lógica o matemática^{44, 93} (Fig. 10).

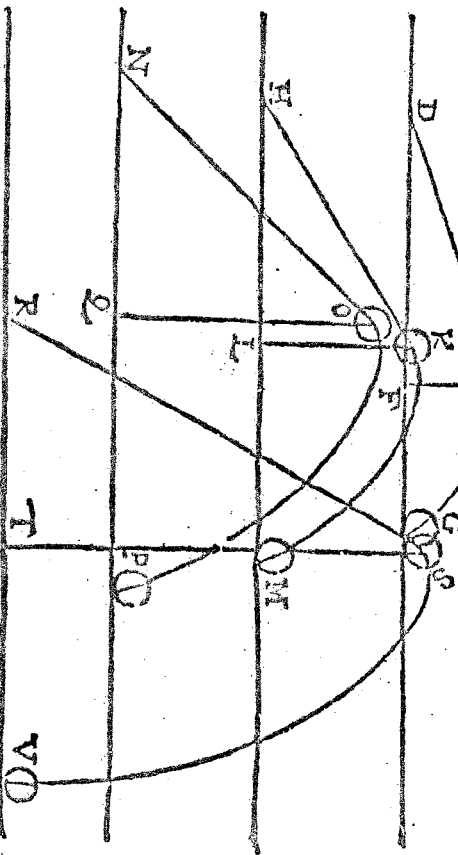
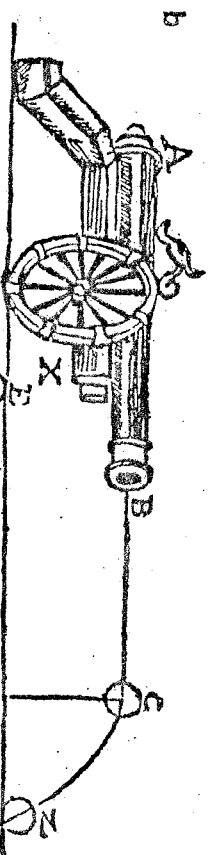
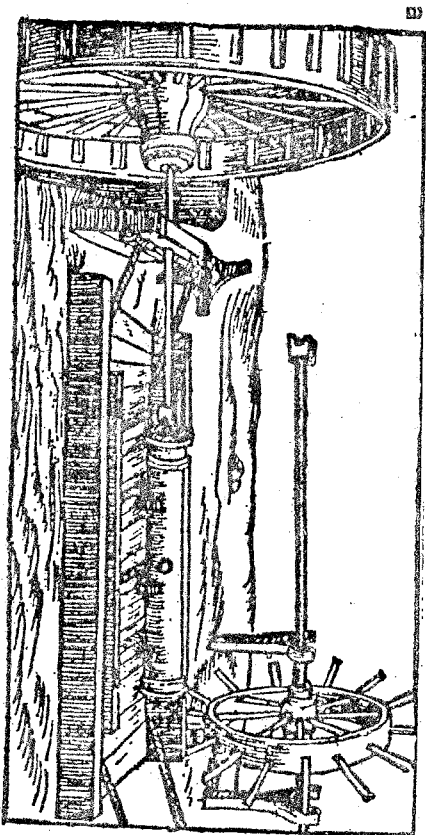
La física experimental

Galileo triunfó donde otros habían fracasado al formular una descripción matemática del movimiento de los cuerpos. Esta fue la principal obra de su vida, expresada plenamente en sus

Diálogos acerca de dos nuevas ciencias, publicados después de su condena, pero ya implícita en el *Diálogo sobre los dos principales sistemas del mundo*, causa inmediata de su conflicto con la Iglesia. Galileo procedió a poner en duda todas las ideas aceptadas mediante el nuevo método: el método experimental. Que en realidad arrojara o no objetos desde lo alto de la Torre de Pisa no es la cuestión esencial; sabemos que utilizó el péndulo y el plano inclinado para medir con precisión la caída de los cuerpos.

Los experimentos de Galileo fueron casi los primeros de la ciencia moderna, aunque esto requiriere alguna precisión. Diferían de los efectuados por los sabios del siglo XIII principalmente en que eran exploratorios más que ilustrativos y en que, cosa más importante, su carácter cuantitativo los hacía compatibles con la teoría matemática. El propio Galileo mostraba una actitud de transición respecto de sus propios experimentos. En cierta ocasión dijo que no los efectuaba para convencerse a sí mismo, sino para convencer a los demás. Confaba enormemente en su poder de interpretar la Naturaleza por medio de la razón. En este sentido se trataba más de demostraciones que de experimentos. Sin embargo, los efectuó realmente, aunque fueran distintos de los experimentos ideales sobre el papel que enturbiaban la física moderna. Es más: cuando obtenía resultados distintos a los esperados, no los rechazaba, sino que ponía en cuestión sus propios argumentos, mostrando esa esencial humildad ante los hechos que caracteriza a la ciencia experimental.

La interpretación matemática de los experimentos de Galileo sobre la caída de los cuerpos resultó mucho más difícil que los experimentos mismos. Tenía que alcanzarse la idea de que un cuerpo que se mueve a velocidad continuamente cambiante puede tener una velocidad concreta en un momento determinado. Como cuestión de hecho, Galileo partió de una base falsa al presuponer que se ganaba velocidad en proporción a la distancia recorrida por el cuerpo, en tanto que, como él mismo concluiría finalmente, aquélla depende directamente del tiempo de caída.⁴⁵ Para comprender la caída de los cuerpos, y consiguientemente los movimientos de las balas en el aire y de la Luna en el cielo, era esencial llegar a la idea física realmente difícil de velocidad instantánea. Corresponde a la noción matemática de diferencial, dx/dt , la relación entre dos magnitudes que sigue siendo constante aunque las magnitudes mismas se hagan infinitamente pequeñas. Galileo utilizó estas ideas sin formularlas con precisión. Combinando la experimentación exacta y el análisis matemático resolvió el problema relativamente simple de la caída de los cuerpos mostrando que si faltara el aire seguirían una trayectoria parabólica. Al hacerlo suministró el primer ejemplo claro de los métodos de la física moderna que tan extraordinario desarrollo tendrían en los siguientes siglos. En realidad el método físico exacto iniciado por él ha sido considerado hasta



10. EL CAÑÓN EN LA CIENCIA Y LA TÉCNICA RENACENTISTAS

- (a) Horadación del cañón empleando energía hidráulica y fuerza manual. (De la *Pirotechnia* de Birninguocio.)
- (b) Trayectorias de balas de cañón. La teoría del impulso es causa del primer segmento rectilíneo de la trayectoria. (De Cespedes, *Instrumentos Nuevos de Geometria*, 1606.)

fecha muy reciente como el método científico básico, que todas las ciencias deberían adoptar.

El renacimiento de la matemática

Los éxitos de Galileo y Kepler fueron posibles porque dominaron la nueva *matemática* que había florecido con el Renacimiento. Vieta (1540-1603) había dado el paso decisivo al convertir en *simbólica* toda la argumentación matemática utilizando letras tanto para las cantidades conocidas como para las desconocidas y no solamente en el álgebra sino también en trigonometría. Este artificio de carácter puramente técnico aumentó enormemente la rapidez de los cálculos, eliminando la confusión que producen inevitablemente las palabras. Gracias a su obra, así como a la de Cardan (1501-76) y Tartaglia, pudieron emplearse los métodos algebraicos para tratar todo problema en el que las cantidades fueran reducibles a números. La antigua geometría griega siguió conservando su prestigio, especialmente a partir de la recuperación de las obras de Arquimides, editadas primero por Tartaglia en 1543; pero los cálculos numéricos se podían realizar mucho más fácilmente por medio de los métodos algebraicos. Se dio otro gran paso hacia delante cuando Simon Stevin (1548-1620) introdujo los decimales en 1585, y Napier (1550-1617) los logaritmos en 1614. Al abreviarse los cálculos se multiplicó el número de astrónomos y físicos activos.

Para completar la cadena de sus argumentos, Galileo tuvo que llegar las matemáticas con la mecánica. Esta es su mayor preocupación a lo largo de toda su obra científica. Leonardó taneó el terreno mediante un enfoque cuantitativo de la mecánica; Galileo, con la ventaja de mejores experimentos y unas matemáticas más aplicables, lo dominó plenamente. Llegó a ser uno de los fundadores de la ingeniería científica. Otro fue el propio Simon Stevin, de Brujas, el primer gran ingeniero de la nueva Holanda, que desempeñó un papel muy importante en la guerra de liberación. A él se deben las leyes sobre la composición de fuerzas y los fundamentos de la hidráulica cuantitativa.

Estática y dinámica: cantidades primarias y secundarias

La comprensión plena del movimiento de los cuerpos exige la consideración de las fuerzas, en equilibrio primero, como en la *estática*, y a continuación en desequilibrio, como en la *dinámica*. Estas fueron las «Dos nuevas ciencias»⁴⁰ con que Galileo puso los fundamentos no solamente de las leyes del movimiento sino también de la teoría matemática de la resistencia de los

materiales, basada en sus discusiones con los constructores de barcos.

Galileo señaló con más claridad que todos sus antecesores que las propiedades necesarias e intrínsecas de la materia—las únicas de hecho que pueden tratarse matemáticamente y por tanto con alguna seguridad—son la extensión, la posición y la densidad. Todas las demás, «sabores, olores, colores, no son más que meros nombres en relación con el objeto en el que parecen residir. Existen únicamente en el cuerpo sensible...» Los abogados de la nueva ciencia no entendieron esto como una limitación, sino como un programa de reducción de todos los experimentos a las cualidades primarias de «dimensión, forma, cantidad y movimiento».

La destrucción de la antigua cosmología

Para que su nueva ciencia mecánico-matemática obtuviera el reconocimiento general, Galileo había destruido primero el sistema tolemaico de las esferas celestes y con él, como advirtió claramente, toda la filosofía aristotélica que durante casi dos mil años había sido el fundamento no sólo de las ciencias naturales sino también de las sociales. Estaba especialmente calificado para esta tarea, pues había conocido en Padua lo mejor de la filosofía aristotélica. No era un extraño, sino alguien capaz de refutar al maestro con su propia lógica de un modo que los estudiosos no podían ignorar aunque estuvieran en desacuerdo. Toda su obra fue implícitamente una protesta contra los aristotélicos, pero su primera exposición explícita tuvo lugar en 1632 en su libro polémico *Diálogo acerca de los dos principales sistemas del mundo, el tolemaico y el copernicano*, dedicado al papa. Utilizando no ya el latín culto, sino el italiano accesible a todos, criticó y ridiculizó sin piedad las ideas oficialmente aceptadas sobre cualquier tema de importancia. Este fue el primer gran manifiesto de la nueva ciencia.⁹⁶⁵

El proceso de Galileo

El desafío de Galileo no pudo ser ignorado y condujo directamente al famoso proceso. Galileo tenía en la ciencia tantos enemigos como en la Iglesia, y con la publicación del *Diálogo* se redoblaron las denuncias contra él. Hoy resulta difícil averiguar por qué cuestiones tan académicas como el movimiento de la Tierra y de los planetas pudo causar tan violenta lucha, pero en aquellos tiempos se veían cosas peores. El compromiso cristiano-aristotélico había llegado a forjarse después de siglos de violentas disputas y a costa de un gran esfuerzo intelectual. Ni

siguiera las disputas doctrinales de la Reforma habían conseguido conmoverlo. Si no se hacía caso del desafío en un aspecto esencial, la constitución celeste, ¿hasta dónde llegarían los ataques? Ya con anterioridad, ardientes copernicanos como Bruno y Campanella (1568-1639) habían inferido del nuevo saber algunas conclusiones que amenazaban la estabilidad de la Iglesia, del gobierno, de la moral pública y de la misma propiedad. Bruno había sido quemado vivo; Campanella, encarcelado durante años. Con Galileo, sin embargo, la cosa fue diferente: tenía un sólido prestigio científico y poderosos amigos; no podía dudarse de su catolicismo y, fuera de la ciencia, no era un revolucionario.^{966, 967}

El proceso se desarrolló forzosamente de acuerdo con los términos y el modo de razonar de la Iglesia, y no ya de Galileo, de modo que se llegó a la conclusión prevista. Lo interesante es, sin embargo, que las actas del proceso fueron mantenidas en secreto, debido muy probablemente al peligro de que su publicación revelara, no ya la severidad de los jueces, sino su relativa benignidad.⁹⁶⁸ Al Papa y a la Curia les preocupaban más las posibles reacciones de los fanáticos reaccionarios de la Iglesia que las de los científicos. Galileo fue condenado y obligado a formular su famosa retractación, pero sufrió solamente un encarcamiento nominal en el palacio de uno de sus amigos. En su retiro pudo completar su obra sobre la estática y la dinámica y publicarla en los últimos años de su vida.

Pese a todo, el proceso hizo época, pues dramatizó el conflicto entre la ciencia y el dogma religioso. Su fracaso real—pues el veredicto fue mal recibido por todas las personas cultas, incluso en los países católicos—dio un enorme prestigio a la nueva ciencia experimental revolucionaria, especialmente en los países que habían roto con la autoridad de Roma. La obra de Galileo aparece como la culminación del ataque a la vieja cosmología. A partir de entonces ésta se eliminó silenciosamente y los astrónomos prácticos utilizaron el modelo copernicano-kepleriano del sistema solar. Cuarenta años más tarde las leyes de observación de Kepler se combinarían con la dinámica de Galileo en la teoría de la gravitación universal de Newton.

Magnetismo: Norman y Gilbert

Otra aportación física clave para la mencionada síntesis fue el estudio experimental del magnetismo, conocido en el mundo por la publicación en 1600 del *De Magnete* de William Gilbert, médico de la reina Isabel. El descubrimiento experimental en que se basaba, la declinación de la aguja imantada, había sido advertido ya por Hartmann (1489-1564) en 1544 y estudiada en detalle por Robert Norman (ap. 1590), marino y constructor de brújulas, y uno de los primeros científicos que no tuvo noble

cuna ni cultura. Tenía plena conciencia de sus derechos y los formuló en el prefacio de su obra *The Newe Attractive* (1581):

«...me propongo, Dios mediante, sin menospreciar a los demás ni ensalzarme a mí mismo, establecer una última verdad experimental, encontrada en esta piedra, contraria a las opiniones de cuantos hasta ahora han escrito sobre ello. Para hacerlo, no pienso emplear las conjeturas o la fantasía: pasaré brevemente sobre ello para establecer mis argumentos solamente a partir de la experiencia, la razón y la demostración, que son los cimientos del arte. Y aunque, como podría decir y en realidad ha dicho ya alguien versado en matemáticas, ésta no es materia o asunto propio de mecánico o marinero, como tampoco lo es la determinación de la longitud, para lo que se requieren exquisitos cálculos matemáticos y demostraciones geométricas, artes de las que tendrían que ser ignorantes todos los hombres del mar y mecánicos, o al menos insuficientemente enterados para realizarlos, alegando en contra el proverbio de Apéles *Ne sutor ultra crepidam*. Pero pienso que a pesar de lo que se sabe en dichas ciencias, tanto por sus estudiosos como en los libros, es posible imaginar grandes materias y formular los más insospechados conceptos de modo claro y con palabras plausibles, de modo que todos los mecánicos, que lo necesitan expresar, se vean obligados a deliberar sobre sus conocimientos y sus conceptos, de modo que puedan florecer entre ellos y aplicarlos a sus placentes. Así, los mecánicos, en diversos países y en sus varias culturas y profesiones, tendrán esas artes al alcance de la mano de un modo más efectivo y más fácil que muchos de los que las condenan.»

He citado el fragmento extensamente por tratarse de un manifiesto del desafío de los nuevos artesanos a los viejos sabios. Estas palabras encontraron eco en las polémicas de Gabriel Harvey (1545-1630), hijo de un cordelero y amigo de Spenser, que reclamó los mismos derechos que pronto serían reivindicados en literatura por el hijo del guantero William Shakespeare. Harvey escribió: 451

«Quien recuerde a Humphrey Cole, un mecánico matemático, a Matthew Baker, constructor de barcos, al arquitecto John Shute, al navegante Robert Norman, al artillero William Bourne, al químico John Hester, o a cualquier sagaz y sutil empirista (Cole, Baker, Shute, Norman, Bourne y Hester serán recordados cuando se haya olvidado al gran Clarks), será un pobre hombre si condena a los artesanos expertos o a cualquier industrioso práctico porque no haya asistido a la escuela o desconozca los libros... ¿Qué matemático profundo, como Digges, Harriot o Dee, no aprecia al mecánico profundo? Porque cada hombre, en

su grado, goza de lo que le es debido, y así el atrevido ingeniero, el refinado Dedalista, el hábil Neptunista, el maravilloso Vulcanista y cualquier Mercurial que sea Maestro de su corporación, como cualquier Doctor en su misterio, es respetado conforme a la mayor extensión de su servicio público o de industria privada.»

Pese a todo, una importante tarea aguardaba aún a los sabios. Tenían que transmitir el saber del pasado a los nuevos científicos artesanos hasta que éstos pudieran mantenerse por su propio esfuerzo, así como, mediante sus relaciones con los ricos y poderosos, obtener reconocimiento y apoyo para las nuevas ciencias. Gilbert desempeñó ambas tareas admirablemente. Su *De Magnete*, aunque plagado de tan duras invectivas en latín como las formuladas en inglés por Norman y Harvey contra la ceguera de los viejos filósofos, estaba tan lleno de saber que produjo el asombro de todo el mundo culto. El libro de Norman, en cambio, debe de haber sido más bien de utilidad para los marinos y fabricantes de brújulas.

De Magnete es por sí mismo un gran libro y una exposición de la nueva actitud científica. Gilbert no se limitó a los experimentos: esbozó, a partir de ellos, nuevas ideas generales. La que sorprendió más a la imaginación de su época fue la de que los planetas se mantenían en sus órbitas gracias a la virtud magnética de *atracción*. Se trataba de la primera explicación plausible físicamente y completamente no mítica de la ordenación de los cielos. Y facilitó a Newton su argumentación contra los científicos de mentalidad mecanicista que sólo podían concebir la fuerza como impulso de cuerpos materiales en contacto.

La mecánica del cuerpo humano

No sólo en los cielos y en las piedras las viejas concepciones eran sustituidas por las nuevas: al mismo tiempo tenía lugar un ataque igualmente efectivo en el universo interior, en la naturaleza del cuerpo humano. La imagen cosmogónica de Aristóteles se centraba esencialmente en la Tierra y el hombre. Al hombre, situado en el centro del universo, se le suponía en contacto directo con todas las partes de éste por medio de influencias y espíritus que le relacionaban con las esferas planetarias. El mismo hombre era un mundo en pequeño, un microcosmos. Los médicos griegos habían explicado detalladamente su funcionamiento, y la descripción de los órganos del cuerpo humano realizada por Galeno se había convertido en cosa tan sagrada como la descripción celeste de Tolomeo. La nueva anatomía del Renacimiento, especialmente la obra de Vesalio, mostró que la imagen de Galeno era errónea; la explicación alternativa, sin

embargo, sólo podía llegar a encontrarse mediante un enfoque del problema completamente distinto, que combinara la anatomía con el nuevo interés renacentista por la maquinaria—fuentes, bombas y válvulas—, obteniéndose a partir de él la nueva fisiología experimental.

Harvey y la circulación de la sangre

La fisiología experimental fue obra de William Harvey (1578-1657), un inglés de buena familia educado en Padua y capaz por lo tanto de combinar la tradición anatómica italiana con el nuevo interés por la ciencia experimental que empezaba a manifestarse en Inglaterra.⁹⁴ Harvey buscaba la explicación mecánica de los movimientos de la sangre en el cuerpo. Su *Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus*, en 1628, señala la aparición de un nuevo tipo de fisiología y de anatomía. No se trata ya de mera disección y descripción, sino de una investigación efectiva, de una obra maestra de investigación en ingeniería hidráulica realizada por medio de experimentos prácticos. Harvey tenía que demostrar algo bastante difícil: tenía que superar la desventaja de ser, como lo fue, un Copérnico forzado a deducir su nuevo sistema sin un Galileo que lo confirmara por medio de pruebas visibles. Pudo probar lógicamente que tiene que existir la circulación, porque la sangre sale de un lado del corazón y llega a otro, y esto en cantidad muy superior a la que el cuerpo es susceptible de contener. Pero no pudo ver cómo va de un lado a otro. Los finos vasos capilares por los que circula fueron descubiertos mucho más tarde por Malpighi (1628-94), utilizando otra nueva lente, el *microscopio*.

Lo que descubrió Harvey por su razonamiento estrechamente ligado a la experiencia tuvo el mismo efecto revolucionario sobre la fisiología antigua, procedente de Galeno, que los descubrimientos de Galileo y Kepler sobre la astronomía platónica y aristotélica. Mostró que el cuerpo puede ser considerado como una máquina hidráulica y que los misteriosos espíritus supuestamente contenidos en él no tienen lugar donde aposentarse. En sus ideas, sin embargo, siguió siendo más copernicano y kepleriano que galileano, defendiendo vigorosamente el paralelismo del mundo y el cuerpo humano; ⁹⁵ así, por ejemplo, escribier:

«Pues el corazón es el principio de la vida, el Sol del Microcosmos, de la misma manera que puede llamarse al Sol corazón del mundo, por cuya virtud y pulsación se mueve la sangre, se perfecciona, se vuelve vegetal y es defendida de la corrupción y de la solidificación; y este Dios familiar y doméstico cumple con su deber para con el cuerpo todo, alimentándolo, nutriendolo,

y vivificándolo, siendo el fundamento de la vida y el autor de todo.»⁹⁵

Así, el corazón ocupa en el cuerpo el mismo lugar central y regio que el Sol en el universo. La hermosa demostración de Harvey acerca de la mecánica de la circulación dio gran impulso a la idea de que el organismo era una máquina, aunque más tarde quedara claro que se trataba de una mucho más complicada que la que los hombres de los siglos XVI y XVII habían imaginado.

Sin embargo, el descubrimiento de Harvey tuvo muy pocos efectos inmediatos en la medicina, aparte de justificar los métodos utilizados para evitar la muerte por pérdida de sangre empleados ya por algunos cirujanos como Paré. Pero se trataba de algo absolutamente necesario para una fisiología racional. La imagen del organismo que se infiere de la obra de Harvey consiste en un conjunto de órganos, que pueden llamarse «campos irrigados», provistos de una circulación que pone a cada uno en comunicación con el resto de un modo químico y nutritivo.

La química

La comprensión de esto último se retrasó forzadamente, pues el progreso químico del siglo que va de 1540 a 1640 no se había iniciado todavía. La única mente de primera fila que se ocupó de ello fue van Helmont (1577-1644), un noble conocedor de la medicina y seguidor de Paracelso, cuyas opiniones místicas aprobaba, aunque no tenía su presunción. Sus ideas químicas procedían de los jonios y creía que los únicos elementos eran el aire y el agua. Pero no se trataba tanto de una hipótesis filosófica como de una conclusión experimental, pues había hecho crecer un sauce en una maceta en la que sólo se había introducido agua. También fue el primero en dar nombre y estudiar el gas—O₂. Por lo demás, la química prosiguió su lento y uniforme curso de ampliación de su base empírica, mejorando la exactitud de sus mediciones y ampliando la magnitud de sus operaciones, especialmente en la destilación de espíritus.

76 LA NUEVA FILOSOFÍA

Los dos grandes y difíciles descubrimientos de la rotación de los planetas y la circulación de la sangre estaban ya firmemente establecidos en 1642, año de la muerte de Galileo y del nacimiento de Newton. Se había conseguido el primer objetivo

intelectual de la revolución científica: destruir la imagen clásica del mundo; pero en cambio, apenas si se habían esbozado las líneas generales de la que tomaría su lugar. Con ello se habían encontrado nuevos medios para comprender y dominar a la Naturaleza, pero muy pocos de ellos podían pretender ser de empleo práctico general. El telescopio mismo era un invento más bien técnico que científico. Antes de que pudieran dejarse sentir en la práctica los efectos de la revolución, era necesario que las posibilidades ofrecidas por la nueva ciencia estuvieran al alcance no sólo de los entendidos sino también de la nueva clase de hombres emprendedores—comerciantes, navegantes, manufactureros, hombres de estado y primeros y progresivos capitalistas—que estaban llevando a cabo su propia revolución. Galileo había comenzado a hacer tal cosa, pero vivía en un país que había perdido su empuje y que se estaba congelando rápidamente en la reacción de la Contrarreforma.

Los profetas: Bacon y Descartes

Dos hombres de los países del norte, menos cultos pero más activos, tomaron a su cargo esa tarea: Bacon y Descartes. Estas dos grandes figuras se sitúan en el punto de inflexión entre la ciencia medieval y la moderna. Los dos fueron fundamentalmente profetas y publicistas, hombres que comprendieron las posibilidades del nuevo saber y que convirtieron en asunto propio mostrarlas al mundo. Ambos se propusieron un objeto universal, aunque sus respectivas concepciones del saber eran muy diferentes. Temperamentalmente sería también muy difícil encontrar dos personas más distintas que el sagaz, egoísta y a veces vanidoso juriscónsul, siempre en el centro de los asuntos públicos, y el solitario tremendamente introvertido, ex soldado de fortuna. Ambos caracterizan también la naturaleza de la revolución científica en sus respectivos países.

Bacon destacaba los aspectos esencialmente prácticos del nuevo movimiento, sus aplicaciones en el mejoramiento de las artes, su utilidad para lograr una idea del mundo que nos rodea más próxima al sentido común. Su vida en las cortes de la Inglaterra isabelina y jacobea le hizo advertir que las dificultades no se suscitan tanto por la existencia de rígidos sistemas de pensamiento como de la necesidad de poner sólidas bases institucionales para una filosofía nueva, susceptible de ser generalmente aceptada. Tal cosa debía realizarse no sólo sustituyendo las antiguas ideas sino también ordenando el caos de especulaciones que la Reforma había producido en Inglaterra. Descartes, por su parte, tuvo que luchar contra el sistema de pensamiento medieval atincherado en las universidades oficiales de Francia, tarea en la que solamente podía tener éxito empleando una

lógica más clara e intelectualmente compulsiva que la de sus adversarios.

El *Novum Organum* y el *Discours de la Méthode*

Los dos pensadores se ocuparon del método, si bien sus ideas acerca del método científico eran muy diferentes. Para Bacon se trataba de un método esencialmente *inductivo*, consistente en reunir material, experimentar con él a gran escala y encontrar los resultados partiendo de una gran masa de hechos. Descartes, por otra parte, creía en el rápido pinchazo de la intuición pura. Opinaba que con claridad de pensamiento sería posible descubrir cualquier cosa cognoscible racionalmente, considerando que el experimento era esencialmente un auxiliar del pensamiento *deductivo*. La principal diferencia entre ambos, con todo, estaba en que mientras Descartes empleaba la ciencia para construir un *sistema* del mundo, sistema que—aunque hoy se haya olvidado casi enteramente—en su época fue capaz de superar completamente el de la escolástica medieval, Bacon no estableció por sí mismo sistema alguno sino que se limitó a proponer una *organización* que actuara como un constructor colectivo de nuevos sistemas. Su función, tal como él la concibió, se limitaba a dotar a los constructores del nuevo instrumento necesario para ello: la lógica del *Novum Organum*.

En este sentido, ambos fueron estrictamente complementarios. El concepto de organización de Bacon condujo directamente a la formación de la primera sociedad científica efectiva, la *Royal Society*. El sistema de Descartes, al romper definitivamente con el pasado, estableció una serie de conceptos que serían la base de la argumentación sobre el mundo material realizada de manera estrictamente cuantitativa y geométrica.

Las ideas de ambos filósofos, sin embargo, se tuvieron inevitablemente de ideas medievales, si bien de modo distinto en cada uno de ellos. Francis Bacon se adscribió a la tradición de los enciclopedistas, como su homónimo Roger Bacon y Vincent de Beauvais, o, yendo más lejos, como Plinio y el propio Aristóteles. Sus intereses fueron primera y principalmente los de un naturalista, sin conocer la nueva filosofía matemática ni simpatizar con ella. Su método era en gran parte negativo y se basaba en evitar los «ídolos» o ideas falsas que habían extraviado a los antiguos filósofos. Su imaginario Palacio de Salomón, en su *New Atlantis*⁴⁹ era una especie de laboratorio universal, idealización del observatorio real de Tycho Brahe en Uraniborg. Sería a su vez la inspiración de los institutos científicos posteriores. Pese a creer en los experimentos, Bacon no era un científico experimental, y nunca llegó a comprender plenamente el proceso de abstracción y reducción necesario para obtener verdades en

situaciones complejas, que Galileo había empleado ya tan magníficamente. Creía que la experiencia sistemática corriente, purgada de las perniciosas opiniones de los antiguos, era suficiente para el saber. Sus ideas científicas no fueron originales, sino extraladas de la lectura, especialmente de Telesio, al que criticaba pero llamaba «el primero de los modernos».

Telesio (1509-88), sabio italiano, fue el primero en romper absolutamente con Aristóteles, estableciendo un sistema rival. Su principal aportación consistió en el abandono de las aristotélicas causas formal y final conservando tan sólo las causas material y eficiente. En esto le siguió toda la ciencia posterior. Sus propias ideas hacen pensar en las de Anaximenes; su universo funcionaba por la acción de las fuerzas internas del frío y del calor. Se trataba de una anticipación de la doctrina de la energía e incluía alguna idea de conservación, sin embargo, no más cuantitativa que las del Yin y el Yang de la filosofía china.

Desde el principio de su carrera, Bacon expresó la doctrina de que «El verdadero y legítimo fin de las ciencias es el enriquecimiento de la vida humana por nuevos descubrimientos y nuevas fuerzas». Hablaba menos como científico e inventor que como inspirador de la ciencia y de la invención: «Yo sólo he tocado la campana para que otros se junten para aprender». En su admirable estudio sobre Francis Bacon, el profesor Farrington cita: 437

*Entre los beneficios que puede obtener el género humano, no encuentro ninguno tan grande como el descubrimiento de nuevas artes, artículos y productos para el mejoramiento de la vida del hombre. Pues advierto que los rudos hombres de los tiempos primitivos consagraron y llamaron dioses a los autores de invenciones y descubrimientos. Está claro que los beneficios por los fundadores de las ciudades, legisladores, padres de la patria, derrocadores de tiranos y héroes de esta índole se extienden por un territorio más bien pequeño y durante corto tiempo, mientras que el trabajo del inventor, pese a ser cosa de menos pompa y ostentación, se aprecia en todas partes y perdura para siempre.

»Pero sobre todo, si alguien logra tener éxito, no en algún invento particular, por útil que sea, sino en iluminar la Naturaleza—luz que alumbrase desde el principio todas las regiones fronterizas que limitan el círculo de nuestros actuales conocimientos, que se propagara más y más y que sirviera para descubrir lo más escondido y secreto que haya en el mundo—ese hombre (creo) sería en realidad el benefactor de la especie humana, el propagador del imperio del hombre sobre el universo, el campeón de la libertad, el conquistador y sejuzgador de las necesidades.»

Bacon fue considerado con justicia como el primer gran

hombre que dio una nueva orientación a la ciencia relacionándola de nuevo de un modo definido con el progreso de la industria material.⁴⁴⁰

Con su inclinación empírica, Bacon fue inevitablemente opuesto a todos los sistemas predeterminados de la naturaleza; creía que, con un cuerpo de investigadores bien organizado y equipado, el peso mismo de los hechos llevaría finalmente a la verdad. El método cartesiano, por su parte, era el más directo sucesor del de los escolásticos, con la sola diferencia de que no era *su* sistema el que trataba de establecer, sino el *suyo propio*. Mostró tema el que trataba de establecer, sino el *suyo propio*. Mostró con ello la arrogancia individual que fue una de las grandes características liberadoras del Renacimiento, la misma que se manifestaba en los grandes navegantes, en los conquistadores, en todos los desafíos a la autoridad que caracterizaron el fin del período feudal y el principio de otro de empresa individual.⁴⁴

El sistema de Descartes conservó inconscientemente buena parte del sistema que intentaba destruir. Se advierte la misma insistencia en la lógica deductiva y en las proposiciones evidentes, pero también empleó las *matemáticas*, en las que era maestro, para llegar a conclusiones que habían estado muy lejos del alcance de sus predecesores clásicos y medievales. Su principal aportación matemática consistió en la geometría de las coordenadas, con la cual se puede representar completamente una curva por medio de una ecuación que relacione los valores de las coordenadas de sus puntos respecto de unos ejes fijos. Se trataba de algo muy superior a los dibujos geométricos y rompió la vieja distinción entre la ciencia griega de lo continuo—la *geometría*—y el cálculo numérico babilonio-indio-arábigo—el *álgebra*—. Con ambos fue posible, en lo sucesivo, abordar problemas que hasta entonces nunca se habían planteado.

En su ataque a la vieja filosofía, Descartes fue tan prudente como valeroso. No deseaba entrar en conflicto con la religión organizada, conflicto que había producido la condena y muerte en la hoguera de Bruno en la católica Roma y de Servet en la calvinista Ginebra. Estaba preparado para camuflar sus ideas, y descubrió para ello un ingenioso método que hizo posible la ciencia durante varios siglos a un costo que solamente ahora empezamos a advertir.

Cualidades primarias y secundarias

Descartes formuló con más precisión que nadie lo había hecho antes la división del universo observable en una parte física y una parte moral. Otros filósofos, desde los árabes y escolásticos medievales hasta Roger Bacon y el propio Francis Bacon, habían abstraído de su consideración el saber que se puede adquirir por la fe o por la Revelación, pero esta piadosa reserva era clara-

mente un argumento *ad hoc* y quedaba abierto a la objeción de que implicaba que Dios era irracional. Con Descartes esta separación se convirtió en parte integral y racional de la filosofía. Era una consecuencia lógica de su reducción de la experiencia sensible primero a la mecánica y después a la geometría. Con Galileo, extensión y movimiento eran las únicas realidades físicas que Descartes admitía como «primarias»; otros aspectos de la existencia, como los colores, los sabores y los olores, se consideraban cualidades «secundarias». Más allá acotó una región inaccesible para la física: la región de las pasiones, de la voluntad, del amor y de la fe. La ciencia, según Descartes, se ocupa principalmente del primer conjunto, el de los mensurables, base de la física, y en menor grado del segundo. Pero no del tercero, que pertenece al reino de la Revelación.⁴³¹ Para Descartes, los animales, incluido el hombre, eran en sí mismos meras máquinas. Obviamente, debía existir alguna relación entre el hombre puramente mecánico, cuyos miembros funcionaban según los principios de la física, y el espíritu racional y la voluntad contenidos en él. Descartes formuló la ingenua pero aparentemente muy seria sugerencia de que la relación debía residir en la glándula pineal, situada en la parte superior del cráneo, reliquia de un par de ojos de nuestros antepasados reptiles, pues al no tener ésta función aparente alguna, podía ser muy razonablemente, si no el lugar, al menos el punto de entrada del alma racional.

La separación de la religión y la ciencia

Consecuencia de la división de Descartes fue que a partir de entonces los científicos pudieron desarrollar su obra libres de interferencias religiosas si evitaban entrar en la esfera de la religión. Tal cosa fue, naturalmente, muy difícil de evitar o reprimir, pero a pesar de todo produjo el tipo de científico puro que elude intervenir en polémicas de carácter religioso o político. En cierta medida, el propio Descartes tuvo que hacerlo, pues cuando terminó su *Sistema del Mundo* le llegó la noticia del proceso de Galileo y se dio cuenta de que no podía publicarlo. La Iglesia estaba completamente convencida de que el sistema aristotélico-tomista era necesario para garantizar las verdades de la fe y no estaba dispuesta a tolerar ningún otro sistema que pudiera ponerlo en cuestión. Descartes, consiguientemente, se impuso la tarea de mostrar que sus sistemas podían probar la existencia de Dios tanto o más que los de los filósofos más antiguos. De su famosa deducción primera, *Je pense, donc je suis*, sacó la conclusión de que si todos los hombres pueden concebir algo más perfecto que ellos mismos, debe existir un ser perfecto. El sistema cartesiano estaba tan cuidadosamente

defendido contra el ataque teológico que, pese a las protestas de las Universidades, llegó a ser aceptado en Francia, el más católico de los países, en vida de Descartes y durante un siglo a partir de su muerte.

Pese a su riqueza de contenido matemático y de observación el sistema cartesiano fue esencialmente un gran poema o mito acerca de lo que la ciencia podía ser. Este era al mismo tiempo su atractivo y su peligrosidad. Mezclaba conclusiones basadas firmemente en experimentos con otras deducidas de primeros principios elegidos, según el celebrado *Método* cartesiano, solamente por su *claridad*. La búsqueda de esa claridad ha sido desde entonces el ornato y la limitación de la ciencia francesa. Donde el estado del saber lo hacía admisible, como en la dinámica y la química del siglo XVIII o en la bacteriología del siglo XIX, el principio podía utilizarse para ordenar campos caóticos de saber auténtico; en otros, tendió a degenerar en áridos lugares comunes y en falsas simplificaciones.

En cierta medida, el propio Descartes reconoció la limitación de la empresa individual en filosofía, comprobando que el establecimiento del sistema del mundo tal vez necesitara de cooperación de muchas mentes. En su *Discours de la Méthode*, hablando de la experimentación, dice:

«Veo que (las experiencias) son tantas que ni mis manos ni mi riqueza, aunque tuviera mil veces más de la que tengo, bastarían para este fin... Lo que quería demostrar con mi tratado era la utilidad que el público puede obtener por ellas, de modo que obligaría a cuantos desean el bien de la humanidad, es decir, a los que son realmente virtuosos y no solamente pretenden serlo, a comunicarme sus resultados y a ayudarme en las investigaciones que todavía tuviera que hacer.»

En otro lugar, para justificar la publicación de sus propias conclusiones, dice:

«Estas ideas me han mostrado que es posible alcanzar conocimientos muy útiles para la vida, y que en vez de esa filosofía especulativa que se enseña en las escuelas es preciso encontrar una filosofía práctica por la que, *conociendo la fuerza y la acción del fuego, el agua, las estrellas, los cielos y los demás cuerpos que nos rodean tan claramente como conocemos los diferentes oficios de nuestros artesanos, podemos emplearlos igualmente en todas las cosas para las que son adecuados y convertirnos así en señores y poseedores de la Naturaleza*. Y esto no sólo es deseable para la invención de una infinidad de artificios que nos permitirían gozar sin molestias de los frutos de la tierra, sino principalmente para la conservación de la salud.»

Así, en su objetivo último Descartes no difería excesivamente de Bacon, por quien, en todo caso, sentía la mayor admiración. Entre Bacon y Descartes consiguieron elevar el estatuto de la ciencia experimental en los círculos cultos hasta un nivel comparable al de la literatura. Desde entonces la nueva filosofía natural, y no ya la escolástica, se convirtió en el centro del interés y de la discusión. Pero en realidad todavía debían transcurrir doscientos años para que encontrara un lugar en las universidades inglesas.

Sin embargo, la época no estaba aún madura para la gran expansión de la ciencia natural y sus primeros frutos. En el período siguiente, de 1650 a 1690, el de la «Gran Instauración» —o tal vez pudiera decirse de la Restauración— empezaron a realizarse los sueños de Bacon.

«Confío en que los hombres comprenderán que no se trata de aceptar una opinión sino de realizar un trabajo. Y estoy seguro de que no trabajo para la fundamentación de una secta o una doctrina, sino para la utilidad y el poder humano.»

7.7 TERCERA FASE: MAYORÍA DE EDAD DE LA CIENCIA (1650-90)

La tercera y definitiva fase del establecimiento de la ciencia moderna se alcanzó en la segunda mitad del siglo XVII. Como hemos visto, el derrumbamiento de las teorías feudales y clásicas había ido preparando su modelo intelectual durante los cien años anteriores. Aunque esto hizo posible el ulterior progreso y consolidación de la ciencia, no fue, sin embargo, la única causa —ni mucho menos la principal— del estallido de actividad que en menos de cincuenta años creó virtualmente la ciencia moderna en la mayoría de sus campos. Ese crecimiento tuvo una intensidad y una concentración muy superiores a las de cualquier época anterior o posterior. Sus focos principales fueron París y Londres, pues los científicos activos de Italia y Holanda no pudieron encontrar centros de expresión en sus respectivos países, y los de la Europa central y oriental todavía no habían entrado en acción.

Lo que hizo posible ese rápido desarrollo y favoreció su concentración fue primera y principalmente la implantación en Inglaterra y Francia de gobiernos estables, en los que la alta burguesía desempeñaba un papel dominante o al menos muy importante. La Guerra Civil inglesa había dado paso a una auténtica revolución en la que los comerciantes ricos, con el apoyo de los habitantes de las ciudades y de los pequeños propietarios, habían logrado vencer al poder real y de la aristocracia

terratiente. Estos grupos, después de su triunfo, no tardaron en pelear entre sí. Los pequeños propietarios tenían una inequívoca tendencia a la democracia y la igualdad económica,^{6,108} de modo que, tan pronto como se logró eliminar a Cromwell, los intereses comerciales llegaron a un acuerdo con la nobleza por el cual Carlos II se convirtió en el primer monarca constitucional. Los comerciantes todavía dominaban la economía, pero al mismo tiempo aparecía por primera vez la nueva clase de los manufactureros, procedentes en parte de las filas de los comerciantes y en parte de los artesanos de más prestigio. El enorme incremento de la manufactura y el comercio que se produjo al final de la Guerra Civil y las nuevas posibilidades de la navegación dieron un estímulo al invento mecánico. El tiempo y el lugar eran muy propios en todos los sentidos para el desarrollo de la ciencia.

Holanda, aunque inmensamente rica, debió ceder su primacía a mediados de siglo. Habían transcurrido sesenta años desde la revolución que había acabado con el dominio de España. El apoyo popular que garantizaba la independencia del país había desaparecido en gran parte, y el gobierno estaba en manos de una combinación de mercaderes ricos y terratenientes nobles. Holanda mostró muy pronto ser demasiado débil para mantener su primacía. Ya a finales de siglo, algunos de sus súbditos más capaces trabajaban fuera del país, especialmente en el desarrollo británico durante el reinado de Guillermo de Orange, mientras que el más importante científico de Holanda, Christian Huygens, realizaba en París la mayor parte de su obra como miembro de la Academia Francesa.

En Francia, por otra parte, la Revolución seguía perteneciendo al futuro. El feudalismo y la Iglesia habían mostrado su fuerza en el aplastamiento de los hugonotes; sin embargo, se trataba de un proceso lento que sólo se realizaría plenamente con la revocación del Edicto de Nantes en 1685. Este país vigoroso y en expansión, en aquella época el mayor y más rico de Europa, no podía permanecer apartado del desarrollo económico general. Se llegó a un compromiso por el cual los nobles cedieron parte de su poder a cambio de exenciones fiscales, pensiones y especulaciones en Versalles. El poder ejecutivo se centró en el rey pero la maquinaria estatal era enteramente burguesa. En gran parte la dirigían inteligentes juristas, la *Noblesse de Robe*, de la que formaban parte muchos científicos. En realidad, el compromiso sólo funcionó medianamente bien durante la primera parte del reinado personal de Luis XIV (1661-83), bajo la dirección del sistemático Colbert, coincidiendo exactamente con el gran período de la ciencia.

Los demás países europeos tuvieron un papel de menor importancia en la etapa científica. Alemania y Austria estaban empezando a recuperarse después de la Guerra de los Treinta

Años (1618-48); la Inquisición neutralizaba casi por completo a España y Portugal; en Italia, los herederos de Galileo libraban una valiosa acción de retaguardia contra las fuerzas del clericalismo.^{4,99,4,102} Suecia, Polonia y Rusia eran en gran parte proveedoras de materia prima en las angustias de una servidumbre impuesta de nuevo y, a pesar de su poderío militar, apenas si en este estadio empezaban a contribuir a la ciencia.

«Le Grand Siècle»

Tras los grandes disturbios políticos y religiosos de los cien años anteriores, la segunda mitad del siglo XVII fue un período de relativa calma y creciente prosperidad. Constantemente hubo plagas y guerras, pero sorprendentemente, produjeron escaso efecto en el trabajo de los científicos. Las rivalidades nacionales no lo dificultaron seriamente, como tampoco impidieron su libertad de movimientos y de comunicación. Se trataba de una época de edificación consciente de la civilización.—*Le Grand Siècle*— y los científicos fueron honrados y reconocidos como parte de una común república de las letras. Los gobiernos y las clases dominantes de los países avanzados tenían algunos intereses comunes en el comercio y la navegación, así como en las mejoras en la agricultura y las manufacturas. Ese interés constituyó la fuerza motriz para las conquistas culminantes de la tercera fase de la Revolución Científica, la primera en la que se hizo un esfuerzo organizado y consciente por emplear la ciencia para fines prácticos.

Este era el *fruto* que Bacon había incitado a cultivar treinta años antes; y fueron los métodos de Bacon, tanto los de organización de investigación como los de la investigación misma, los empleados para conseguirlo. Los hombres que colaboraron en ello fueron característicos de su época y de sus países. En vez de los cortesanos y profesores universitarios, que dependían del favor de los príncipes para vivir, de las dos primeras fases, los *virtuosi* de mediados del siglo XVII fueron hombres independientes, principalmente comerciantes, propietarios y personas que practicaban con éxito las profesiones liberales: médicos, abogados y algunos clérigos. Podían conseguir el patrocinio real, pero en cambio contaban con escaso dinero regio para la ciencia. El rey Carlos II no dio siquiera un penique para su *Royal Society* y nunca encontró un momento para visitarla. Los *virtuosi* tenían que financiar a la ciencia con sus propios bolsillos. Pero éstos eran amplios y se llenaban rápidamente con el gran aumento del comercio, cuyos beneficios llegaban ahora a los mismos países en que florecía la ciencia. Algunos incluso podían dar empleo a otros científicos: así, el honorable Robert Boyle empleó a Hooke, hijo de un cura pobre, y Christian Huygens,

señor de Zullichem, en Holanda, dio empleo a Denis Papin, de Blois.

Se trataba de hombres lo bastante competentes e interesados para realizar por sí mismos la investigación científica; a medida que se hacían más numerosos tendían naturalmente a reunirse para discutir e intercambiar sus conocimientos, cosa facilitada por las tendencias comerciales e igualitarias de la época. Pero fueron aún más lejos: inspirados por la propaganda de Bacon empezaron a pensar en una organización positiva encaminada deliberadamente al descubrimiento de los secretos de la Naturaleza por medio de un esfuerzo de cooperación.

La fundación de sociedades científicas

Esta tercera fase, por consiguiente, fue el período de formación de las primeras sociedades científicas sólidamente establecidas: la *Royal Society* de Londres y la Academia Real Francesa, que se impusieron la tarea de dedicarse a los problemas técnicos más importantes de la época, los de las bombas y la hidráulica, la artillería y la navegación, evitando casi ostensiblemente la discusión sobre problemas filosóficos generales. Los problemas de la navegación, en particular, dieron un fuerte estímulo al progreso científico pues al afrontarlos se combinaron los dos elementos de la ciencia anterior—mecánica y astronomía— en la gran síntesis de Newton. En la segunda mitad de este capítulo intentaré señalar las características de la experimentación y la argumentación que condujeron a esta síntesis. Sin embargo, los resultados prácticos más importantes proceden del estudio de las bombas aspirantes, que llevaron primero al descubrimiento del vacío y después al de las leyes de los gases, de lo cual surgieron la máquina de vapor y la revolución neumática en la química en el siglo siguiente.

La implantación de la ciencia como elemento de la cultura reconocido en todos sus derechos fue cosa definitiva a partir de la formación de las sociedades científicas. La idea de sociedad científica era, como hemos visto, muy antigua. Encontró expresión originalmente en la Academia, en el Liceo y en el Museo de Alejandría. En sus primeros tiempos las universidades musulmanas y cristianas fueron algo parecido, pero en el siglo XVII estaba claro que no podían satisfacer las nuevas necesidades. Se buscó algo diferente, que apareció a su debido tiempo, en parte respondiendo a la inspiración de profetas: de la nueva era como Francisco Bacon, pero todavía más como un reconocimiento formal a las reuniones espontáneas de los hombres interesados por la ciencia.

Entre los profetas, una figura sobresaliente fue Juan Amos Comenius (1592-1670), el último obispo de la Iglesia de Mora-

va.⁴⁷ Considerando a la ciencia como parte de la educación universal, a la que dedicó la mayor parte de su vida, esbozó el proyecto de un «Colegio Pansófico» donde fuera posible pensar y practicar la nueva filosofía experimental. Expulsado de Bohemia por la Guerra de los Treinta Años llevó una vida errante, siendo llamado más tarde por los gobiernos progresivos, gracias al éxito de sus métodos de educación. Los estadistas de los nuevos Estados nacionales empezaban entonces a reconocer que para el funcionamiento de la administración era imprescindible contar con personas laicas cultas. En 1641 Comenius llegó a Inglaterra invitado por el Parlamento para fundar allí su colegio. Pese a fracasar en ello, debido a las dificultades de la época, su influencia tuvo algún papel en la fundación de la *Royal Society*.⁴⁸

En realidad las primeras sociedades científicas fueron la Academia *dei Lincei*, en Roma (1609-30) y la *dei Cimento* en Florencia (1651-67)⁴⁸; aunque sirvieron de modelo para las de otros países, llegaron al escenario italiano demasiado tarde para contrarrestar de un modo efectivo los factores contrarios: a la ciencia que pronto condujeron a la extinción de dichas sociedades científicas. La *Royal Society* de Londres (1662) y la *Académie Royale des Sciences* (1666) en Francia, fueron más afortunadas. Todas ellas se desarrollaron a partir de reuniones informales de unos cuantos amigos interesados en las nuevas ciencias.

Los científicos franceses, entre ellos Gassendi, que reintrodujeron la teoría atomista, se habían ido reuniendo en el domicilio de un rico abogado, Piuresc, en Aix-en-Provence, desde 1620.⁴⁸ Sin embargo, el verdadero centro de la ciencia francesa fue la celda del franciscano Marsena, si bien éste no fue exactamente un científico, hasta su muerte en 1648. Marsena era un corresponsal infatigable, actuando como centro del correo de todos los científicos de Europa, de Galileo a Hobbes.⁴⁸ Más tarde las reuniones se celebraron en la casa de otro abogado, Montmor, y de ahí llegó a formarse la Real Academia.

Un promotor de tipo diferente fue Renaudot (m. en 1679), médico vivaz y combativo que, horrorizado enormemente a la falcatú de París, estableció una clínica en la que se daba tratamiento gratuito a los pobres. Junto a ella fundó una sala de lectura para las reuniones científicas, una editorial y una agencia de colocaciones que le compensaron ampliamente de los gastos de la clínica. A la muerte del cardenal Mazarino en 1661, que fue su protector, sus enemigos consiguieron hundirlo, acabando con la ciencia popular en Francia al menos durante cien años.

En Inglaterra la terminación de la Guerra Civil en 1645 fue la señal para la agrupación de los nuevos científicos experimentales. Unos eran partidarios del Parlamento y otros puritanos, pero casi ninguno participaba en la lucha política activa. El

dirigente del grupo fue John Wilkins, clérigo flexible políticamente, casado con una hermana de Cromwell y finalmente obispo de Chester, pero al mismo tiempo decidido protector de la nueva filosofía. Junto a él estaban el matemático Dr. Wallis, el Dr. Theodore Haak, un refugiado alemán que fue quien sugirió se celebraran reuniones semanales, y cierto número de médicos. Tras algunas reuniones preliminares en Londres se establecieron en Oxford en 1646. Esta universidad acababa de ser reformada por una Comisión Parlamentaria, de modo que las cátedras vacantes y la dirección de los centros fueron confiadas a los nuevos miembros de aquel «Colegio» invisible. Hasta la Restauración de 1660 Oxford se convirtió, de modo anónimo e involuntariamente, en el centro del ataque a Aristóteles, a quien tanto se respetaba antes y a quien se volvía a venerar después. En Oxford aumentó el grupo al sumarse a él tres prometedores jóvenes que más tarde llegarían a ser el honorable Robert Boyle, sir William Petty y el doctor Christopher Wren, así como, menos ostensiblemente, Robert Hooke, el hombre que más adelante aseguraría el éxito de la *Royal Society*. Thomas Sprat, miembro del grupo, historiador de la sociedad y futuro obispo de Rochester, la describe del modo siguiente:

«Su propósito principal no era otro que el de respirar aire fresco y conversar tranquilamente unos con otros sin verse envueltos en las pasiones y locuras de la época. Con la Institución de la *Academia* se obtuvo, si no otra cosa, al menos la gran ventaja de que por este medio se formó una generación de jóvenes cuyas mentes recibieron, a diferencia de la época siguiente, las primeras impresiones de un *conocimiento sobre y generoso* que les protegía de modo invencible contra los encantos del *entusiasmo*...»

«Para esa apacible y desapasionada compañía, y para una época tan melancólica, ¿podía encontrarse mejor tema que el de la *Filosofía Natural*?»

«...este tema nunca nos dividió en mortales Facciones; nos permitía mantener sin animosidad las diferencias de opinión, y nos permitía plantear imaginaciones contrarias sin peligro alguno de Guerra Civil.»

«Las reuniones eran tan frecuentes como lo permitían los asuntos; las ponencias se realizaban más por medio de acciones que de discursos; se ocupaban principalmente de hacer algunos experimentos especiales en la Química o en la Mecánica. No había reglas ni método fijo: se trataba, ante todo, de comunicar los descubrimientos propios a los demás, realizándolos del modo que cada uno escogía, y sin un método unificado ni regular.»

Al principio estos científicos aficionados se limitaban simplemente a reunirse, discutir, mostrarse mutuamente los experimen-

tos y escribir cartas a los amigos ausentes o a sus colegas de otros países. La práctica de la comunicación y la publicación científica tuvo su origen en esas cartas, que eran al principio informales pero que se convirtieron luego en algo más regular. Posteriormente, los científicos experimentaron la necesidad de establecer definitivamente esa costumbre, en Inglaterra y en Francia, pues, a medida que proseguían su trabajo, advertían fácilmente su importancia práctica y que para proseguirlo necesitaban más dinero o mayor reconocimiento social.

Los procedimientos difirieron según el carácter de la economía en cada uno de los países. En Francia, con su gobierno rigidamente centralizado, era natural que el establecimiento no solamente fuera una institución real, sino incluso que estuviera subvencionada por el rey. Colbert había fundado en Francia industrias nacionales y, por tanto, no fue difícil persuadirle de que fundara la Academia de Ciencias para contrapesar las Academias de Literatura y Bellas Artes de Mazarino. Tales ornatos eran tan necesarios como el comercio para la gloria del *Ray Sol*. Las industrias favorecidas por Colbert fueron las sederías de Lyon, la cerámica de Sèvres y la fábrica de tapices de los Gobelinos de París, consideradas todas de importancia comparable a la construcción de barcos para la Armada francesa.⁴⁷

En la Inglaterra de la Restauración, en cambio, con sus reliquias de independencia republicana y donde la verdadera riqueza del país estaba en manos de la aristocracia terrateniente y de los comerciantes, todo lo que se necesitó fue el patrocinio de la corona. Los *fellows* de la *Royal Society* pagaban por realizar sus propias investigaciones. La cuota era de un chelín mensual. Resultaba extraordinariamente difícil realizar la recaudación, y ésta era escasamente suficiente para pagar al secretario y al celador; éste «debía estar bien versado en el saber filosófico y matemático, al igual que en Observaciones, Investigaciones y Experimentos acerca de la Naturaleza y el Arte», quedando obligado «a ofrecer a la Sociedad en cada reunión tres o cuatro experimentos de importancia sin esperar recompensa hasta que la Sociedad tuviera fondos suficientes para dársela.»^{48; 49; 50; 51; 52}

Consecuencia necesaria del reconocimiento oficial de estas sociedades fue el conformismo general de las ideas y que se evitaran los temas polémicos en política y religión. En Francia la Iglesia abandonó renuementemente su insistencia en el aristotelismo y aceptó el compromiso propuesto por Descartes. En Inglaterra la división de los campos de interés se efectuó de distinto modo: surgió de los disturbios de la Gran Rebelión de mediado el siglo XVII y del deseo de los primeros científicos de evitar las interminables discusiones político-teológicas que preocupaban a la mayor parte de los intelectuales de la época. En el proyecto de preámbulo a los Estatutos de la Sociedad, escritos por Hooke en 1663, se decía que:

«El objetivo de la *Royal Society* es: mejorar el conocimiento de los objetos naturales, de todas las Artes útiles, las Manufacturas, las Prácticas mecánicas, las Máquinas y los Inventos por medio de la Experimentación (sin tratar de Teología, Metafísica, Moral, Política, Gramática, Retórica y Lógica).»⁴¹¹

*Promesas y realizaciones:
primeros fracasos y posteriores éxitos*

Es interesante señalar que tanto en Inglaterra como en Francia la actividad de las sociedades, como tales, se limitó a un periodo relativamente corto; hacia 1690 ambas se encontraban en un estado de seria decadencia y su revitalización en el siglo XVIII fue prácticamente una nueva fundación. Que llegaron a existir, y el interés que despertaron en la sociedad en su conjunto, indican que la ciencia parecía entonces estimulante, que despertaba la curiosidad y que podía ser provechosa. Este último punto suscitó serias dificultades. Francis Bacon, al igual que Roger Bacon cuatro siglos antes, había esbozado con claridad la idea de que la comprensión de la Naturaleza era solamente un medio para dominarla en beneficio del hombre. Pero existe una gran diferencia entre una idea y su realización. De hecho, fue solamente en un terreno —aunque de capital importancia—, el de la astronomía y la navegación, donde la nueva ciencia, limitada prácticamente a la matemática y a la física, pudo llegar a ser de utilidad real. Sir Anthony Deane, en 1666, consiguió determinar el calado de un barco antes de su construcción, pero esto no afectó gran cosa a la práctica de la industria naval. La *Royal Society* primitiva prometía mucho más de lo que podía realizar, de modo que existía alguna justificación, sobre todo a corto plazo, para el ridículo de que fue objeto por parte de la *Intelligentsia* no científica, cuyo más famoso ejemplo es la sátira de Swift en *Los viajes de Gulliver*.

A la larga, sin embargo, los efectos fueron muy diferentes. El estímulo dado a «la comprensión de los oficios por parte del naturalista» obligó a poner los fundamentos de la valoración racional y de la reconstrucción de los oficios y manufacturas tradicionales, cosa que llegaría a convertirse en la Revolución Industrial del siglo siguiente. Su obra condujo en realidad al principal invento de aquella revolución: la máquina de vapor, que justamente puede ser calificada de *máquina filosófica*. La máquina de vapor no fue fruto de algún investigador aislado, sino de diversos grupos de científicos en la *Accademia del Ciomento*, en la *Royal Society* y en la Academia Francesa.

La ciencia se convierte en institución

La fundación de las primeras sociedades científicas tuvo otra consecuencia, más importante y duradera: convirtió a la ciencia en una institución, y en una institución con los distintivos, la solemnidad y, degradadamente, con cierta dosis de la pompa y la pedantería de otras instituciones más antiguas, como el derecho y la medicina. Las sociedades se convirtieron en una especie de tribunal de la ciencia, y en un tribunal con autoridad suficiente para excluir de ella a muchos y locos charlatanes difíciles de distinguir de los verdaderos científicos para el público en general, pero también, desafortunadamente, tenía autoridad para excluir, al menos durante algún tiempo, muchas ideas revolucionarias de la propia ciencia oficial. El ámbito del interés de los científicos asociados en grupos a finales del siglo XVII, como muestran sus *Philosophical Transactions*, cubría casi todos los aspectos de la Naturaleza y de la vida práctica, desde las distancias de las estrellas hasta los seres vivientes de las aguas estancadas; desde los colorantes a la tasa de mortalidad.⁴⁹

El primer manifiesto de la ciencia recién organizada fue la *Historia de la Royal Society*, escrita en 1667, cuando ésta tenía sólo cinco años, por el obispo Sprat. Inevitablemente, más que una historia es un programa en defensa de la filosofía experimental. Tras denunciar diversas variedades de filósofos dogmáticos, señala:

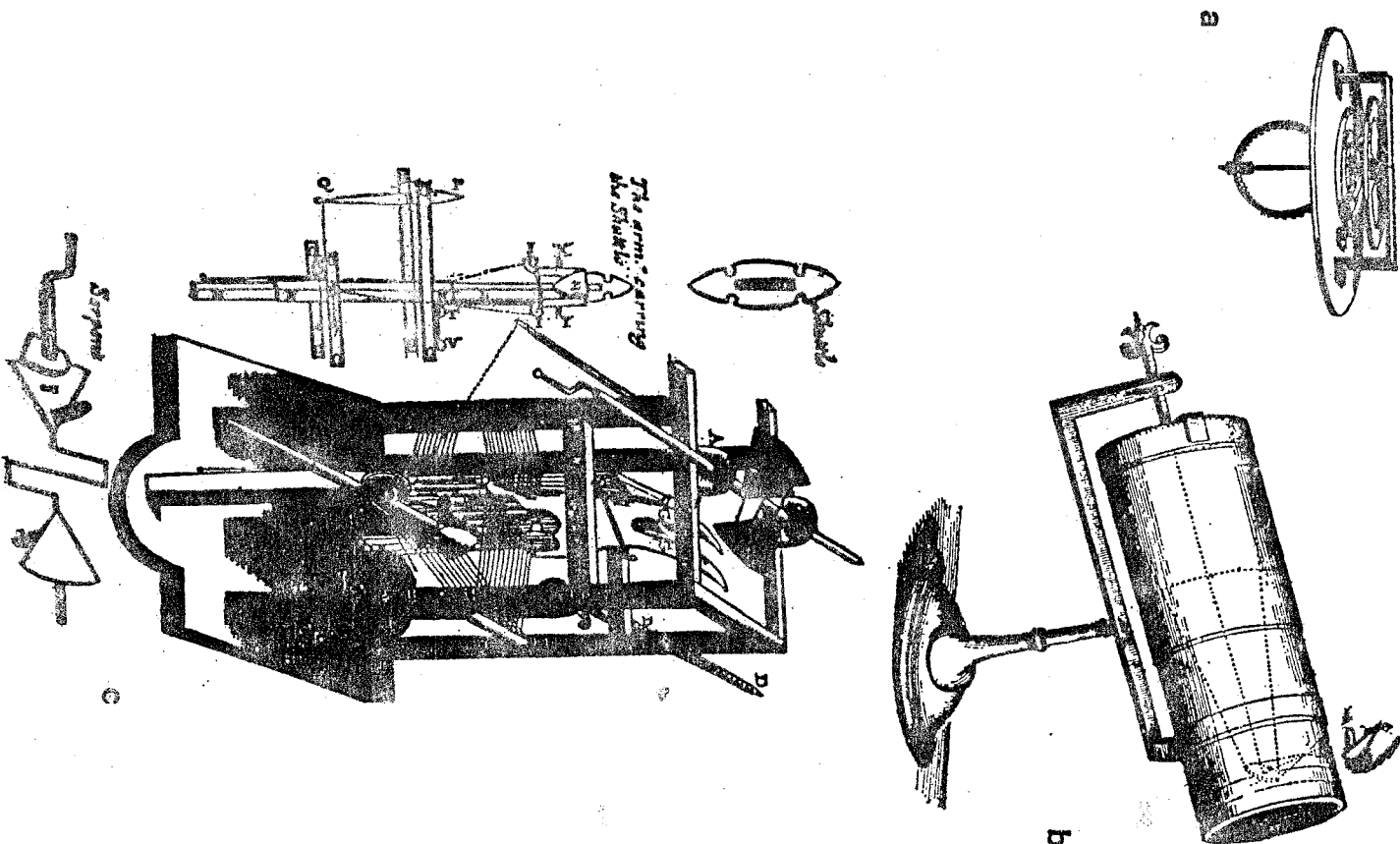
«La *Tercera* especie de los nuevos filósofos es la de aquellos que no sólo están en desacuerdo con los *Antiguos* sino que también se proponen a sí mismos el recto curso de la lenta y segura *Experimentación*: y lo llevan tan lejos como permite la brevedad de sus propias vidas, o la multiplicación de otras ocupaciones, o la estrechez de sus fortunas.»

Defiende la afiliación a la Sociedad de hombres de todas

11. DIBUJOS DE INSTRUMENTOS Y MÁQUINAS

De los primeros números de «The Philosophical Transactions of the Royal Society of London».

- (a) Un nuevo invento de monsieur Christian Huygens, de Zúrichen, de un reloj muy exacto y portátil (1675).
- (b) Un nuevo telescopio catadíptrico inventado por Mr. Newton, Miembro de la «Royal Society» y Profesor de Matemáticas de la Universidad de Cambridge (1672).
- (c) Una nueva máquina para hacer telas de jino sin necesidad de aríftices, presentado a la Real Academia por monsieur de Genes, Oficial de la Marina. (Extraído del *Journal des Savants*, 1678.)



las clases y ocupaciones, y de todos los países, hablando luego de su razón de ser esencial, que es:

«...el temple de la época en que vivimos. Porque ahora el Genio de la *Experimentación* se encuentra tan disperso que incluso en esta *Nación* apenas si existen una o dos a lo sumo de tales *Asambleas*; sin que puedan contar con suficientes hombres capacitados para realizar sus tareas. En todas partes se encuentra gente que se ocupa con entusiasmo de este Trabajo: y advertimos que muchas Nobles Rarezas no sólo son ejecutadas por manos de Filósofos ilustres y doctos, sino también en los Talleres de los *Mecánicos*, en los viajes de los *Comerciantes*, en los Arados de los *Agricultores*; en los Deportes, en las Pesquerías, en los Parques, en los Jardines de los *Caballeros*; por lo tanto, las dudas se refieren sólo a las *épocas futuras*. Pero incluso para ellas podemos prometer que por mucho tiempo no tropezarán con la barrera de una Raza de mentes inquisidoras, pues el camino se allana de tal modo ante ellas que cuando hayan probado los primeros Frutos se sentirán excitados por este Ejemplo.»

Concluye su discusión sobre los experimentos e instrumentos de la Sociedad comentando su «manera de arguir» y la necesidad de eliminar «el lujo y la redundancia en el hablar». Por ello, de un modo rígoroso, los miembros de la Sociedad

«...rechazan todas las ampliaciones, digresiones y amplitudes de estilo; para volver a la pureza primitiva y a la brevedad de la época en que los hombres expresaban muchas cosas casi con igual número de *palabras*. Exigen a sus miembros un modo de hablar estricto, directo y desnudo, con expresiones positivas y sentidos claros, con facilidad natural. Es preciso reducirlo todo a la sencillez matemática, prefiriéndose el lenguaje de los Artesanos, Agricultores y Comerciantes al de los Sabios o Eruditos.»

Lo cierto es que el estilo de la literatura en lengua inglesa se simplificó drásticamente a finales del siglo XVII.^{461, 462} A este respecto resulta curioso el comentario sobre la obra de Sprat formulado por Samuel Johnson cien años más tarde:

«Se trata de uno de los pocos libros que han conservado su sentido y elegancia expresiva a pesar de tratar sobre un tema fluente y transitorio. Hoy se lee la *Historia de la Royal Society* no para conocer lo que entonces se hacía en ella sino para ver cómo expresaba Sprat su modo de proceder.»^{463, 9, 149}

Al principio todo parecía susceptible de mejorarse mediante la investigación filosófica; sin embargo, algunos campos del interés merecieron especial atención por parte de los *virtuosos*: se trataba de aquellos en los que los temas de la nueva filosofía se relacionaban más claramente con las necesidades crecientes del comercio y la manufactura. De todos ellos, el principal fue el mejoramiento de la astronomía como necesidad esencial para la navegación, realizada especialmente con la solución al problema de la determinación de la longitud. El tema estaba indisolublemente ligado al problema de la constitución y funcionamiento reales del sistema solar, entonces aceptado ya pero todavía no explicado en términos físicos. Además, la astronomía proporcionaba el mejor campo para la nueva explicación *matemática* del universo. La solución alcanzada por Newton fue considerada, justamente, como el mayor triunfo de la nueva ciencia.

Pero ese interés contemporáneo no debe hacernos olvidar otros progresos que a largo plazo mostraron ser igualmente importantes. Uno de ellos fue la *óptica* y la *teoría de la luz*, íntimamente vinculadas por el telescopio a la nueva astronomía, y, por el microscopio, a la biología. Otro aspecto fue la *neurmatía*, cuyas técnicas se desarrollaron en relación con el vacío y que finalmente serían de tan enorme importancia para la industria. La cuestión del *vacío* fue igualmente el centro de una controversia filosófica procedente de los griegos. Las nuevas pruebas experimentales de su existencia contribuyeron a reavivar la hipótesis *atómica* de Demócrito. La revivida teoría atómica o corpuscular proporcionó en seguida una clave para las explicaciones racionales y cuantitativas en el terreno de la química, hasta entonces lleno de recetas técnicas y explicaciones míticas. La química, a su vez, se relacionaba con los comienzos de la *fisiología*. Questions como la naturaleza de la sangre, la función de los pulmones, la acción de nervios y músculos y el proceso de la digestión fueron todas ellas discutidas y convertidas en objeto de experiencia según el espíritu de la nueva filosofía materialista. Estas cuestiones no excedían los alcances de los hombres de la época, como ilustran muy bien sus vidas y sus obras. Entre los más destacados figuran Robert Boyle y el que durante algún tiempo fuera su ayudante, Robert Hooke.

Robert Boyle

El honorable Robert Boyle nació en Lismore en 1627, siendo el decimotercer hijo —séptimo varón— de Richard Boyle, primer conde de Cork, feroz y afortunado acaparador de tierras de

la época isabelina.^{47, 916, 912} Pasó los años más impresionables de su vida en la puritana atmósfera de Ginebra, donde realizó una conversión religiosa como sus contemporáneos Pascal* y Steno. A diferencia de Pascal, sin embargo, este hecho no le apartó de la ciencia sino que le incitó a emplearla en apoyo de la revelación. En parte por esta razón y en parte debido a que fue un inválido durante mucho tiempo, llevó una vida ascética, sin tomar partido en la Guerra Civil, entregándose el mismo y dedicando su considerable fortuna a la elaboración de la nueva filosofía experimental. Trabajó en Oxford y fue uno de los primeros promotores de la *Royal Society*, cuya presidencia le fue ofrecida en 1680, aunque no la aceptó por tener algún escrúpulo sobre el juramento que debía prestar. En realidad, Boyle fue la figura central de los primeros tiempos de la *Royal Society*, como Newton lo sería en su florecimiento. Escribió profusamente sobre temas religiosos y científicos. Sus obras más famosas, aparte de *Spring of Air*, fueron *Seraphick Lover*, *The Skeptical Chymist* y *Unsuccessfulness of Experiment*. Su temprano interés por la teoría atómica le condujo hasta su obra sobre el vacío y las leyes de los gases, que haría época. Más tarde no tuvo tanto éxito en su trabajo, en parte por faltarle la preparación matemática y experimental necesaria, pero principalmente porque intentó explicar problemas de la química mediante teorías mecánicas que no podían ser aplicadas a ella antes de que se hubieran acumulado suficientes datos para resolverlos por otros medios. Sus intereses le llevaron más tarde a la fisiología y a la medicina, donde existían escasas esperanzas de éxitos sólidos. No obstante, su interés y su entusiasmo alentaron a otros a proseguir el trabajo, y muy bien puede decirse que muchos de los éxitos de la ciencia en el siglo siguiente se deben a su inspiración. En Boyle se advierten los aspectos pietistas y filantrópicos de la nueva ciencia. Combinaba el deseo de mostrar la gloria de Dios revelada en Sus obras con el de servir de ayuda para los demás hombres, llegando a presentarse en las oficinas de las Compañías de las Bermudas y de la *East India* para llevar adelante sus proyectos de conversión de los paganos. Sin embargo, para alcanzar estos fines mostró ser, a diferencia de los pietistas medievales, tremendamente práctico. En su opusculo *That the Goods of Mankind May be Increased by the Naturalist's Insight into Trades*,⁴⁸ escribe:

«...concluíré haciendo notar, si como espero estáis satisfechos, que no sólo se puede hacer progresar a la filosofía experimental observando los oficios, sino que también estos mismos oficios pueden progresar bastante; de modo que la feliz influencia que aquélla puede tener sobre éstos no es uno de los modos menos importantes en que el naturalista puede ser útil para promover el imperio del hombre. Puesto que la buena administración de

los diversos oficios concierne manifestamente al público, deben figurar en nuestras leyes inglesas en vigor normas acerca de los oficios de los curtidores, de los alfareros y de muchas otras profesiones mecánicas a las que los legisladores no se han dignado descender para establecer reglas e instrucciones particulares.»

Robert Hooke

Boyle contrasta en muchos aspectos con su primer ayudante y amigo de toda la vida Robert Hooke. Mientras uno era un noble condescendiente con la ciencia, el otro era un hombre pobre que tenía que vivir de otras cosas para proseguir la investigación científica. Hooke, hijo de un clérigo de la Isla de Wight, luchó para conseguir un puesto de criado en el *Oriel College* precisamente en la época en que Boyle llegaba a Oxford. Muy pronto se convirtió en ayudante de éste y, de hecho, es probable que construyera todos sus aparatos y realizara la mayor parte de sus experimentos sobre el vacío y los gases. Lo cierto es que Boyle no destacó como experimentador a partir del momento en que Hooke le abandonó. Cuando se fundó la *Royal Society* Hooke fue nombrado encargado de los experimentos, desempeñando muy bien esta tarea al tiempo que se ocupaba de otros trabajos para complementar su escaso e irregular salario; en gran parte estuvieron a su cargo los planos para la nueva ciudad de Londres tras el gran incendio de 1666.

Si hubiera estado en una posición social más segura y no hubiera sufrido tanto por su fealdad y su crónica mala salud, seguramente su carácter no hubiera sido tan difícil, suspicaz y pendenciero, y su decisivo papel en la historia de la ciencia se reconocería plenamente. Si Boyle fue el espíritu de la *Royal Society*, Hooke la dotó de ojos y manos. Fue el mayor físico experimental anterior a Faraday aunque, al igual que éste, le faltaba la pericia matemática de Newton y Maxwell. Su interés cubría los mundos de la mecánica, la física, la química y la biología. Estudió la elasticidad y descubrió lo que hoy se conoce como ley de Hooke, que es la más breve de la física: *ut tensio sic vis* (la extensión es proporcional a la fuerza); inventó también el volante de reloj, cuyo uso hizo posibles los relojes y cronómetros de precisión; escribió una *Micrographia*, el primer tratado sistemático del mundo microscópico, que incluía el descubrimiento de las células; introdujo el telescopio en la medición astronómica e inventó el micrómetro; finalmente, comparte con Papin el mérito de preparar el camino para la invención de la máquina de vapor.

Lo que probablemente fue su mayor contribución a la ciencia solamente ahora empieza a ser reconocido: se trata de su

pretensión de haber dado origen a la idea de la ley del inverso del cuadrado de la distancia y de la gravitación universal. Aquí, como veremos, fue superado por la magnífica hazaña matemática de Newton, pero ahora parece que las ideas físicas básicas eran de Hooke, a quien injustamente se le ha negado todo mérito. La vida de Hooke ilustra las facilidades y dificultades que un experimentador bien dotado podía encontrar en el siglo XVII. Y nos revela también la enorme reserva de inventiva y penetración científica que durante miles de años se había ido acumulando en el cerebro y las manos de los artesanos que manipulaban la Naturaleza.⁸²¹

7.8 LA ELABORACIÓN DE LA NUEVA IMAGEN DEL MUNDO

Características de este período fueron la investigación *extensa* de todos los dominios de la Naturaleza y las artes, y la formación de teorías *constructivas* en todos los campos a los que se podían aplicar los métodos matemáticos. No era ya necesario, a diferencia del período anterior, dedicarse a la crítica de la física de Aristóteles o de la fisiología de Galeno. Las teorías de Copérnico, Galileo y Harvey eran aceptadas de manera casi unánime por los nuevos *virtuosi*. Estos se diferenciaban de sus antecesores en que intentaban dar a sus teorías un amplio significado físico y filosófico. En este orden de cosas, la primera interpretación nueva fue el sistema de Descartes, con su énfasis en la mera extensión y su creencia de que el universo está completa y continuamente lleno de una materia sutil que actúa por impulsos de unas partes a otras. Se trataba de la doctrina del *plenum*.

La filosofía corpuscular: Gassendi

Pero también existía otra doctrina, mucho más antigua, que empezaba a destacarse. El ataque a Aristóteles abrió el camino a la teoría atómica de Demócrito. El mundo científico tuvo conocimiento de esta doctrina por Gassendi (1592-1655), penetrante matemático y filósofo que desempeñaba el oficio de sacerdote en Provenza. De no ser por su carácter modesto y retratado no hubiera sido superado tan fácilmente por su contemporáneo Descartes; su influencia sobre la ciencia, empero, fue muy grande. Fue un astrónomo notable—el primero en observar el tránsito de Mercurio—y uno de los fundadores de la meteorología, iniciando el estudio de la parhelia (reflejos del sol) y de la aurora boreal. Lo que hizo fue mucho más que resucitar las viejas teorías atomistas tal como las habían establecido

Epicuro y Lucrecio: logró convertirlas en una doctrina que incluía los progresos de la física renacentista. Los *átomos* de Gassendi eran partículas con masa dotadas de inercia y se movían en el *vacío* cuya existencia habían demostrado los sucesores de Galileo. Su definición de los átomos es igual casi palabra por palabra a la que diera Newton en su *Óptica* cincuenta años más tarde. Formuló sus opiniones tan persuasivamente que fueron aceptadas casi inconscientemente por los filósofos naturales que habían rechazado el *plenum* de Descartes, con su teoría de los vórtices (1).

La *hipótesis corpuscular* resultaba obviamente apta para la tendencia mecánico-matemática de la época. Siguiendo la dinámica de Galileo y Descartes, era más fácil trabajar con los movimientos de esas partículas que con un espacio homogéneo. Gracias a la piedad de Gassendi los átomos quedaron depurados de sus implicaciones ateas y subversivas. Gassendi hizo explícito que la nueva mecánica no exigía una continua actuación de Dios sobre el mundo material, sino solamente un impulso dado a la totalidad de los átomos al principio de los tiempos, que determinaría, de acuerdo con la divinidad providencia, todas sus combinaciones y movimientos futuros.

Instrumentos filosóficos: las lentes ópticas

La importancia dada por la nueva ciencia a la experimentación suponía el empleo de aparatos y en especial de instrumentos contruidos especialmente para este fin. Sin embargo, el equipo material de los nuevos científicos era de lo más simple. Únicamente los telescopios eran grandes y costosos. Casi en todas las casas podía instalarse un *laboratorio* (o sala de trabajo mifificada) con un horno, unas cuantas retortas y alambiques, una balanza, un microscopio y unos cuantos instrumentos de disección, así como una de las nuevas bombas de aire, un termómetro y un barómetro. Todo lo demás era improvisado. Con este equipo podía realizarse los mayores descubrimientos en todas las ramas de la ciencia. Parece conveniente considerar los de la óptica, la neumática, la química y la fisiología antes de pasar al tema de la mecánica celeste.

El descubrimiento práctico y accidental del telescopio, a principios del siglo, suscitó un interés nuevo por la óptica, pues una vez que ha llegado a existir un instrumento, la necesidad

1. Teoría con la que Descartes pretendía explicar el movimiento planetario: cada planeta está en el centro de un vórtice o torbellino, sumido en el *plenum* espacial (el vacío no es posible); la rotación del torbellino, más rápida en el centro que en la periferia, hace que los planetas se muevan más rápidamente que sus satélites, situados en la parte externa del vórtice. Los planetas están a su vez en la periferia de un torbellino mayor cuyo centro es el Sol. (Nota del Traductor.)

de mejorarlo conduce a la búsqueda de explicaciones para su funcionamiento y, al intentarlo, se descubren los principios científicos que permiten llegar a otros instrumentos. La Óptica del siglo XVII creció en gran parte gracias al intento de comprender la naturaleza de la refracción de la luz, en la que se basa el telescopio, y eliminar los defectos que se observaron en seguida en ese aparato.

Sobre el primer problema, relativo a la naturaleza de la refracción, fue necesario partir de los estudios realizados 400 años antes por Alhazen y sus seguidores medievales Diétrich de Friburgo y Witelo. Estos habían determinado que los rayos luminosos se desvían o quiebran—se refractan—al pasar de un medio menos duro a otro más denso. Sin embargo no habían podido llegar a las leyes de la refracción y, por tanto, tampoco podían calcular la acción de las lentes. El holandés Snell (1591-1626) halló la ley correcta, que Descartes se apropió y explicó en términos de partículas móviles de luz en movimiento que necesitan viajar con mayor rapidez en el cuerpo refractor que en el aire, conclusión desgraciada que posteriormente produjo mucha confusión. Con la ley de Snell la óptica parecía convertirse en una parte de la geometría, haciendo posible la construcción de telescopios perfectos. Los telescopios reales, con todo, seguían siendo irritablemente imperfectos. En particular, las imágenes de las estrellas aparecían rodeadas de halos colorados. Que la luz que atraviesa cuerpos transparentes aparece rodeada de los colores del arco iris era cosa sabida desde hacía ya mucho tiempo. Al objeto de elucidar la naturaleza del arco iris, los científicos medievales habían realizado gran número de experimentos con prismas, pero no pasaron de la comprobación del hecho de que la luz roja es la que menos se refracta y la azul la que más. En su estudio sobre el arco iris, Descartes tampoco pudo ampliar la idea. La solución al problema del color solamente la encontraría Newton, constituyendo su primer éxito en la física (sus trabajos serán examinados más adelante, en relación con su obra sobre la gravitación).

La «óptica» de Newton: la doctrina de los colores

Al principio Newton trató de eludir las dificultades de las imágenes coloreadas evitando la refracción que la causaba. Construyó el primer telescopio de reflexión (Fig. 11), prototipo de los gigantescos telescopios actuales y del reciente invento del microscopio de reflexión. No satisfecho con esto, atacó directamente el problema de los colores, prosiguiendo los experimentos de Descartes con el prisma en el punto en que éste los había abandonado. Mediante una brillantísima combinación de lógica y técnica experimental consiguió mostrar que los colores del

prisma, y los del arco iris por tanto, no son creados por ese objeto sino que son los componentes intrínsecos de la luz blanca ordinaria. Sus investigaciones, con todo, no le ayudaron a resolver su problema original; en realidad, para su propia insatisfacción, llegó a la conclusión de que era imposible corregir las propiedades dispersivas o generadoras de color de las lentes. En esto se equivocaba, pero su autoridad contribuyó al progreso práctico de los telescopios durante cerca de ochenta años. Un matemático sueco, Klingensjerna (1698-1765), parece haber sido el primero en repetir los experimentos de Newton con cuidado suficiente para que se hiciese ostensible su error. En 1758 Dollond, constructor de instrumentos, conociendo el trabajo de Klingensjerna utilizó la idea de equilibrar dos cristales distintos de refractividad y dispersión diferentes para producir las lentes acromáticas que están en la base de todos los instrumentos ópticos modernos.

La luz como partículas u ondas: Huygens

Newton, en sus estudios ópticos, examinó especies de color distintas a las del arco iris, en particular las producidas por reflexión sobre capas delgadas, como las de aceite en el agua. Así fue como encontró el primer indicio de la discontinuidad o «granulosidad» de la materia y de la luz. Esto reforzó su convicción, ya adquirida por sus creencias filosóficas y por convención matemática, de que la materia es atómica. Desgraciadamente la misma convicción le llevó a seguir a Descartes y a considerar la luz como atómica y sus rayos como las trayectorias de unas partículas que se reflejan igual que las pelotas en el frontón. Otros fenómenos de la producción de colores apuntaban en distinto sentido. Grimaldi (1618-63) había estudiado mucho antes que Newton los colores que se producen en los bordes de las sombras, especialmente en orificios diminutos como cabellos, comprobando que los rayos de luz no son rectilíneos, sino que se desvían—o difractan—al pasar cerca de los objetos. Grimaldi se concluyó que la luz es ondulatoria, como las olas del agua o las vibraciones del sonido, de modo que los diferentes colores tendrían distintas longitudes de onda, al igual que las notas musicales.

Huygens desarrolló la idea matemáticamente y mostró que la teoría ondulatoria de la luz podía dar cuenta de la difracción y de la producción de colores en capas delgadas. Además explicó mucho mejor que Newton la curiosa propiedad del espato de Islandia (la calcita) de duplicar el tamaño de la imagen de los objetos. También aquí la superior autoridad de Newton logró prevalecer y la teoría ondulatoria de la luz hubo de esperar más de un siglo para su rehabilitación.

El microscopio: el nuevo universo de los objetos pequeños

De la misma manera que el telescopio sirvió en manos de Galileo para revelar los secretos de las estrellas, el microscopio, en manos de muchos investigadores del siglo XVII, como Malpighi, Hooke, Swammerdam (1637-80) y el incomparable comerciante holandés Leeuwenhoek (1632-1723), descubrió el nuevo universo de lo diminuto.⁴⁰ Los insectos, las partes de las plantas, los pequeños organismos que viven en el agua e incluso las minúsculas bacterias y los espermatozoos portadores del principio de la generación fueron observados y se convirtieron en objetos de asombro, de especulación y de discusión. También se refinó la anatomía de los animales superiores, confirmandose plenamente la teoría de Harvey sobre la circulación de la sangre. Pero mientras que el telescopio, naval o astronómico, tuvo desde el principio un uso real y práctico, el microscopio no demostró su valor hasta doscientos años más tarde, en manos de Koch y Pasteur, combatiendo las enfermedades bacterianas. Esta es en gran parte la razón de que los estudios microscópicos no condujeran de modo inmediato a ningún descubrimiento de importancia en microscopía o biología; el microscopio parecía ser más bien algo divertido o instructivo —en sentido filosófico— que un objeto de valor práctico.

El vacío y el barómetro

El desarrollo de la *neumática* por encima del nivel alcanzado por los griegos fue el primer paso importante dado en el terreno de la física y destinado a tener consecuencias de tipo industrial y no ya simplemente en la astronomía y en la navegación. El descubrimiento decisivo que lo produjo, la consecución del *vacío*, se derivaba directamente de la hidráulica práctica. Hasta entonces la existencia del vacío había sido una cuestión filosófica que se abordaba por medio de razonamientos; a partir de 1643, en cambio, se convirtió en cosa susceptible de demostración práctica. Galileo, en sus últimos años, se había ocupado de investigar la razón por la cual es imposible elevar agua mediante bombas de succión ordinarias a más de 10,33 metros de altura. Este hecho, ya conocido por los mineros y perforadores de pozos, no había atraído hasta entonces la atención de los sabios. Galileo atribuyó la imposibilidad a la incapacidad de la columna de agua para soportar su propio peso, pero no encontró ninguna interpretación satisfactoria para el hecho de que aún interrumpiéndola no cayera, atribuyendo esto a un limitado *horror al vacío*.

Un año después de la muerte de Galileo su discípulo Torricelli (1608-47) tuvo la ingeniosa idea de emplear mercurio en vez de agua, con lo que pudo trabajar con una columna de

altura manejable, pues en el tubo invertido la altura del mercurio no supera los 76 cm.; quedó demostrado así que la columna de mercurio y la columna de agua ejercen la misma presión por centímetro cuadrado. Torricelli tuvo la osadía intelectual de advertir que la explicación real consiste en que la presión del aire empuja hacia arriba a la columna de mercurio, invirtiendo de este modo el *barómetro*, un instrumento para medir la presión atmosférica. El espacio que queda por encima de la columna de mercurio en el interior del tubo es el *vacío real*, supuestamente aborrecido por la Naturaleza. En realidad, como hemos visto, Aristóteles había probado la imposibilidad del vacío porque necesitaba el aire, al que se dejaba vía libre por delante y se cerraba el camino por detrás, para explicar el movimiento violento. El descubrimiento de Torricelli asestó el último y definitivo golpe a la mecánica aristotélica, pese a que se hicieron esfuerzos para negarlo o interpretarlo de otro modo. Sin embargo, la explicación de Torricelli fue confirmada en seguida por el experimento de Pascal (1623-62), consistente en llevar un barómetro a la cima de una montaña y ver la caída de presión.

La máquina neumática de von Guericke

Las investigaciones prosiguieron por obra de un hombre de notable carácter, prototipo de los científicos altamente dotados de nuestra época, Otto von Guericke (1602-86), alcalde de Magdeburgo y anteriormente intendente de Gustavo Adolfo. Von Guericke, persona de considerables recursos económicos y de una gran iniciativa, hacía las cosas en grande, gastándose unas 4.000 libras esterlinas, suma considerable en aquella época, en sus experimentos. Al principio intentó producir el vacío directamente, extrayendo agua de un tonel cerrado, mediante una bomba aspirante. El tonel reventó, de modo que construyó otro más resistente, de latón. Luego inventó una bomba de aire y consiguió producir el vacío en recipientes mayores. Utilizó una de estas bombas en el famoso experimento consistente en demostrar que para separar dos semiesferas en las que se hubiera hecho el vacío era necesaria la fuerza de dieciséis caballos tirando para cada lado, experimento que realizó en presencia del Emperador y de su corte. Los hemisferios de Magdeburgo proporcionaron una demostración impresionante de la verdad material de la nueva ciencia. Pero el experimento iba mucho más lejos que esto: mostró que el vacío de la presión del aire es una fuerza muy poderosa y que sólo se necesita destreza e ingenio para utilizarla para fines prácticos. El propio von Guericke pensó en transferir esa fuerza por medio de tubos vaciados, idea desarrollada más tarde en los frenos de aire de los ferrocarriles. Las bombas de von Guericke fueron muy perfeccionadas por

Boyle, o tal vez más seguramente por Hooke, que estaba entonces al servicio de éste. Mediante esas bombas, Boyle mostró nuevos y extraños fenómenos, como por ejemplo que el sonido no puede transmitirse sin aire pero que la luz y el magnetismo no se ven afectados por su ausencia. Mostró también lo que ya se esperaba —sin que ello afecte la perfección de la demostración—, es decir, que la vida y la combustión son imposibles en el vacío, proporcionando así las primeras claves para la gran revolución en la química y la fisiología que tendría lugar el siglo siguiente.

El empleo de las bombas aspirantes, y especialmente el esfuerzo realizado al bombear, condujeron a Boyle a un estudio acerca del comportamiento del aire en compresión y en expansión. De este modo llegó a descubrir la primera ley científica extraña a la simple mecánica, a la que llamó ley de «elasticidad del aire», hoy conocida como ley de Boyle: el resultado de la multiplicación de la presión de una determinada cantidad de aire por su volumen es una cantidad constante —o, como se determinaría posteriormente, es directamente proporcional a la temperatura.

La idea de utilizar las nuevas fuerzas naturales para satisfacer las necesidades humanas jamás se había extinguido por completo y resurgió nuevamente en un periodo de progreso científico como era el siglo XVII, cuando existía una enorme necesidad de fuerza bruta para el bombeo de las minas y para mover los engranajes de una floreciente industria. El fuego era una de las fuerzas de empleo obvio, especialmente a partir del momento en que su energía se había puesto de manifiesto en el cañón. Así, una de las primeras ideas aparecidas fue la de construir una especie de motor de combustión interna que utilizaría pólvora de la misma manera que hoy utilizamos gasolina. Posteriormente los inventores dedicaron su atención a la fuerza expansiva del vapor. Los métodos directos estaban condenados al fracaso, no porque fueran intrínsecamente malos, sino porque la técnica de la época no disponía de recipientes lo bastante fuertes para resistir presiones de tal magnitud. Denis Papin (1647-1712), ayudante de Huygens que posteriormente trabajó con Boyle durante algún tiempo, consiguió construir un *digestor* con el que convertía los huesos en sopa, pero su *marmitta a presión* sólo ha llegado a utilizarse en nuestros días. También dio los primeros pasos para la construcción de una máquina de vapor. El modo de empleo del vapor consistía en hacerlo pasar a través del vacío, como veremos en el capítulo siguiente.

La salida en falso de la química racional

El descubrimiento del vacío suministró la primera clave que podía conducir al desarrollo de la química racional en el

siglo XVII, y no ya cien años más tarde. La bomba de vacío mostró que el aire es tan necesario para la combustión como para la respiración, centrándose el interés en los problemas Paracelsos de la llama y de la vida. Boyle, Hooke y Mayow, siguiendo una idea de Paracelso, casi llegaron a probar que el aire contiene algo esencial para la combustión y que convierte en roja la sangre arterial. Boyle hablaba de una «pequeña quintaesencia vital (si así puede llamarse) que sirve para refrescar y restaurar a nuestros espíritus vitales». Mayow lo llamó «espíritu aéreo nítro», relacionando de este modo con la pólvora lo que a partir de Lavoisier se llamaría *oxígeno*. Pero no fueron mucho más lejos fundamentalmente por dos razones: falta de una teoría científica apropiada e inadecuación de técnicas y materiales.

La química nunca había formado parte del canon clásico, y los elementos aristotélicos —tierra, agua, aire y fuego— habían tenido siempre un aspecto más físico y meteorológico que químico. La química arábica y medieval, o mejor, la alquimia, estaba sin embargo, completamente mezclada con una astrología que relacionaba los metales con los planetas. La caída de la imagen platónico-aristotélica del mundo, mostró que la química, privada de sus aires y de sus influencias planetarias, no tenía ninguna base intelectual, como señaló Boyle en *El químico escéptico*. La química «espagírica», con raíces en los árabes y en Paracelso y con sus tres principios —el mercurio, el azufre y la sal— tampoco pudo ir mucho más lejos. Esos principios eran demasiado vagos y cambiantes para poder ser incorporados a una filosofía corpuscular concebida específicamente para excluir las *cualidades ocultas*. El propio Boyle llegó a dar una definición precisa de *elemento*, sólo que en forma negativa:

«Ningún cuerpo es un verdadero principio o elemento... si en vez de ser perfectamente homogéneo es divisible en cualquier número de sustancias distintas, por pequeñas que éstas sean.»

Desgraciadamente, la técnica química no podía deterrinar, aparte de unos pocos metales, cuáles eran las sustancias elementales, de modo que el criterio de Boyle siguió siendo inaplicable durante unos cien años. Así lo admitió el propio Boyle en su ensayo *On the Unsuccessfulness of Experiments*.

Newton, que trabajó en la química mucho más que en la física, no fue mucho más lejos en la práctica; en la teoría logró perfeccionar, como ha mostrado Vavilov^{4,85,4,108} una imagen del átomo consistente en una sucesión de capas concéntricas unidas cada vez más sólidamente con el interior. Se trata de una notable y perfectamente lógica anticipación del átomo moderno, con sus electrones y su núcleo, olvidada durante casi tres siglos. En el siglo XVII la química se hallaba en un estado en el que

no era posible aplicar el análisis corpuscular. Para ello era precisa una continua acumulación de hechos experimentales que no se iniciaría hasta el siglo siguiente. La química, a diferencia de la física, requiere una gran multiplicidad de experimentos y no puede contener principios evidentes. Tuvo que continuar siendo una ciencia «oculta», dependiente de misterios reales pero inexplicables.

En la medida en que la química hubo de limitarse a los materiales conocidos ya por los antiguos tendió a convertirse en algo estereotipado. Pero a partir del siglo xv el campo de la química creció con rapidez. Se produjeron accidentalmente nuevas sustancias de notables propiedades, como el fósforo, descubriéndose también nuevos metales como el bismuto y el platino en el Nuevo Mundo y en el Viejo. Para explicar esas propiedades se necesitaban nuevas teorías continuamente verificadas por la nueva práctica. Esas teorías fueron al principio necesariamente cualitativas y oscuras, pero constituían el fundamento esencial para otras más exactas. Para satisfacer las demandas cada vez más especializadas del comercio y de la industria fueron necesarios constantemente nuevos productos químicos —salitre, alumbre, caparrosa (sulfato de hierro), aceite de vitriolo (ácido sulfúrico) y sosa— que hicieron nacer la industria química, a partir de cuyos problemas y experiencias se llegaría a la química racional del período siguiente.

La biología del siglo XVII

El mundo de los seres vivos, enormemente complicado, por fuerza tenía que ser más difícil de explicar que el de la transformación química. Por consiguiente, no debe sorprender que una nueva filosofía corpuscular y mecánica, a pesar de sus pretensiones, fuera en la práctica de escasa ayuda. Sanctorius (1561-1636) se pesó mientras comía y mientras dormía, pero no pudo explicar los cambios observados. La idea de Descartes del animal-máquina y del hombre-máquina que diferían tan sólo por el alma racional que gobernaba a éste último desde la glándula pineal, poco hizo progresar a la fisiología. Borelli (1608-78) llevó más lejos la analogía y llegó a explicar, a partir de principios mecánicos, el movimiento de las extremidades del hombre y de los animales. La hidráulica fue útil para explicar el funcionamiento del corazón y de la sangre, pero fue incapaz, en cambio, para la explicación del cerebro y del fluido nervioso.

El siglo xvii consiguió un progreso de capital importancia en la observación, especialmente por medio de la utilización del microscopio, que reveló por vez primera la existencia de los espermatozoides, responsables de la generación. De importancia

más inmediata fue la obra de Nehemiah Grew (1641-1712), que puso las bases de la fisiología de las plantas, y de John Ray (1627-1705), hijo de un herrero, que dio los primeros pasos para la clasificación científica de las plantas y —si bien con menor éxito— de los animales.

Las investigaciones biológicas de finales del siglo xvii fueron en la práctica de escaso empleo inmediato en la agricultura. Los cambios tuvieron lugar, con alguna importancia, en la horticultura, y se debieron más bien a los mayores cuidados y al lento perfeccionamiento de la práctica tradicional en condiciones económicas excepcionalmente favorables. En Flandes y en Holanda fue posible encontrar hombres suficientemente ricos y voluntariosos para invertir su *capital* en forma de mejoras, utensilios y abonos para sus granjas, teniendo asegurado al propio tiempo un amplio y creciente mercado para sus mejorados productos. Holanda fue el criadero de los nuevos métodos, que llegaron a Inglaterra gracias al trabajo de aficionados entusiastas como John Evelyn (1620-1706).

El método de observación y experimentación directa tenía que ser más inmediatamente fructífero en medicina, aunque el progreso fue decepcionantemente lento. La idea de que la medicina era una ciencia que debía descubrirse a partir del estudio de los enfermos y no ya una doctrina que debía practicarse sobre ellos, pese a ser tan antigua como Hipócrates, había sido completamente olvidada. Pero en esta época volvió a revivir por obra de algunos médicos como Sydenham (1624-89) que, además de ser un gran clínico, estaba en contacto con toda la ciencia de su tiempo.

79 LA MECANICA CELESTE: LA SINTESIS DE NEWTON

Mientras que las anteriores conquistas testimonian el gran florecimiento de la actividad científica en muchos terrenos, el interés central y el gran éxito científico del siglo xvii fue sin duda la consecución de un sistema general de mecánica capaz de dar cuenta del movimiento de las estrellas en términos de la conducta observable de la materia en la tierra. Aquí los modernos dieron cuenta de una vez por todas con los antiguos griegos. Antiguos y modernos estaban de acuerdo en la importancia del estudio de los cielos, pero, puesto que los intereses de estos últimos eran más prácticos que filosóficos, necesitaban una respuesta de índole muy diferente. Encontrar esa respuesta de una forma completa y satisfactoria fue obra de una serie de matemáticos y astrónomos que incluye casi a todos los grandes nombres de la ciencia de ese período: Galileo, Kepler, Descartes, Borelli, Hooke, Huygens, Halley, Wren..., que contri-

buyeron a una clara unificación de la mecánica en la *De Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de Newton, en la que éste formuló y demostró su teoría de la gravitación universal. El interés intrínseco del problema de los movimientos del sistema solar era muy grande aunque, de hecho, su importancia filosófica y teológica se había desvanecido ya con la destrucción de la cosmología de los antiguos. El proceso de Galileo fue, en realidad, una inútil condenación por parte del aristotelismo clerical. Pero el nuevo edificio que ocupaba su lugar no llegaría a estar completo a menos que pudiera encontrarse una explicación física aceptable del sistema de Copérnico y Kepler. Ésta era la razón de que casi todos los filósofos de la naturaleza especularan, experimentarían y calcularían con el propósito de hallarla. Algunos lograron aproximarse bastante —especialmente Hooke⁸²¹— antes de que Newton terminara con éxito la búsqueda.

La determinación de la longitud

Los astrónomos tenían otra razón, todavía más urgente, para intentar descubrir las leyes del movimiento del sistema solar. Se trataba de la necesidad de tablas astronómicas mucho más precisas que las que bastaban en la época en que la astronomía sólo se utilizaba para la predicción astrológica. Las necesidades de la navegación eran mucho más estrictas. La determinación de la posición de un barco en alta mar, y en especial la parte más difícil de la determinación de esa posición, la longitud geográfica, constituían un problema urgente. Y lo era todavía más a medida que se empleaban en aventuras marítimas fracciones cada vez mayores del esfuerzo económico y militar, particularmente en aquellos países que al mismo tiempo eran los centros del progreso científico: Inglaterra, Francia y Holanda. La determinación de la longitud era una cuestión que preocupó tanto a los astrónomos cultos como a los marinos prácticos durante muchos decenios e incluso siglos. Para participar en la solución de este problema práctico se establecieron las primeras instituciones científicas financiadas nacionalmente: el Observatorio Real de París, en 1672, y el Real Observatorio de Greenwich en 1675.

Determinar la longitud es fundamentalmente determinar la hora absoluta —o, como diríamos ahora, la hora de Greenwich— en cualquier lugar. Esta, comparada con la hora local, da un intervalo de tiempo que es directamente convertible en longitud. Para determinar la hora de Greenwich, antes de la invención de la radio, existían solamente dos métodos: uno consistía en observar el movimiento de la luna en relación a las estrellas —la luna es como un reloj colocado en el cielo—, y el otro en llevar

consigo un reloj exacto, puesto en hora de acuerdo con el meridiano de origen. El primer método exigía tablas extraordinariamente precisas para la predicción de la situación de los cuerpos celestes, y el segundo, un mecanismo de la relojería de absoluta confianza. A lo largo del siglo XVII y parte del XVIII se hicieron enormes esfuerzos en ambas líneas de ataque sin que en ninguna de ellas se lograran progresos significativos. Esto servía de estímulo para pensar, observar y experimentar en ambos sentidos; en parte, este estímulo estaba constituido por motivos meramente mercenarios, pero también, en parte, por motivos de prestigio nacional e individual.

El cronómetro

Al principio los dos métodos eran completamente diferentes: uno se ocupaba del movimiento de algunos mecanismos de control material; el otro, de las esferas de los espacios vacíos; sin embargo, a medida que se estudiaban se advertió que tenían una base común en la *dinámica*. Fue el propio Galileo quien descubrió que el controlador ideal, por su oscilación constante, es el *péndulo*. Hooke hizo la esencial contribución práctica de sustituir el péndulo por el volante de equilibrio controlado, no afectado por los movimientos del barco. En todo caso, la construcción de un instrumento preciso de medición del tiempo dependía del conocimiento de las leyes del movimiento de los cuerpos en oscilación; fue Huygens quien resolvió el problema y puso las bases del primer cronómetro en su libro *De Horologium Oscillatorium* (1673). Sin embargo, debía transcurrir largo tiempo antes de que esos principios pudieran aplicarse en la práctica, a través del mejoramiento de las técnicas de los constructores. Finalmente, el cronómetro de Harrison consiguió, en 1765, el premio ofrecido por el Almirantazgo para la determinación de la longitud.*

Los movimientos planetarios: la doctrina de la atracción

El enfoque puramente astronómico, sin embargo, aunque fracasó en el intento de hallar la solución práctica, fue el que se estimuló más valioso para la ciencia del futuro. Así fue por el estímulo que dio a la búsqueda de la solución matemática y dinámica del problema del movimiento de los planetas. Muchas personas se preguntaban por qué los planetas giran en torno al Sol siguiendo órbitas que según había mostrado por primera vez Kepler son elípticas, sospechando que ello se debía a alguna fuerza de atracción. De hecho, la idea de atracción era muy corriente desde el estudio de Gilbert sobre el magnetismo, e

Incluso antes. El imán mostraba que la atracción era posible a distancia, y el propio Gilbert había sugerido que lo que mantenía a los planetas en su posición y les empujaba a recorrer sus órbitas debía ser precisamente el magnetismo.

En 1666 Borelli introdujo la importante idea de que el movimiento de los planetas implica la necesidad de contrarrestar la fuerza centrífuga, tal como la que ejerce la honda sobre la piedra, por medio de alguna otra fuerza que caracterizó como la fuerza de la gravedad, que se extiende en la vecindad de la Tierra, llegando hasta la Luna, y desde el Sol a los planetas. Para dar cuenta de una órbita elíptica, en la que el planeta se mueve más velozmente a medida que se aproxima al Sol, la fuerza de la gravedad debe aumentar para equilibrar el aumento de fuerza centrífuga. Consiguientemente, la fuerza de gravedad tiene que estar en función de la distancia. Pero la cuestión es: ¿cuál es su función? Hooke, que ya había sospechado que la gravedad disminuye con la distancia, intentó en vano confirmar este extremo determinando la variación en el peso de un cuerpo colocado a distintos niveles: en la superficie terrestre, en el fondo de una mina y en lo alto de un campanario.

Siguió prevaleciendo la teoría de la gravedad de Descartes, que afirmaba que los cuerpos celestes son absorbidos hacia sus centros de atracción por «algún secreto principio de insociabilidad de los éteres de sus vórtices», por citar a Newton, quien en 1679 se adhería aún a esta teoría.⁴⁷⁹

No era posible ir mucho más lejos mientras estas ideas generales no se redujeran a una forma matemática y fueran comprobadas mediante observaciones. El primer paso fue dado por Huygens en 1673, cuando en relación con su obra sobre los relojes de péndulo enunció la ley de la fuerza centrífuga, mostrando que varía proporcionalmente al radio del péndulo y es inversamente proporcional al cuadrado del período. Pero el cuadrado del período, según la tercera ley de Kepler, es proporcional al cubo del radio, de lo que se sigue que la atracción gravitatoria o fuerza centrífuga que equilibra la fuerza centrífuga tiene que depender del radio dividido por el cubo del mismo, o sea, que es inversa al cuadrado del radio. Hooke, Helley y Wren dedujeron esto último hacia 1679. Quedaban aún dos problemas: el de la explicación de las órbitas elípticas y el del modo de atracción de los grandes cuerpos. Hooke escribió a Newton planteándose los pero no recibió contestación, y en 1684 Halley ofreció un premio por su solución. Estaba claro que ésta se hallaba ya muy próxima; sin embargo, aunque fueron muchos los hombres que se empeñaron en la tarea, sólo uno tenía la suficiente capacidad matemática para encontrar esa solución y extraer de ella sus consecuencias revolucionarias.

Ese hombre fue Isaac Newton, perteneciente a la joven generación de *Fellows* de la *Royal Society*—nacido en 1642, el año de la muerte de Galileo—, pero ya conocido por sus investigaciones matemáticas y ópticas. Newton procedía de la nueva clase media rural que ya había dado como fruto a Cromwell y a los funcionarios parlamentarios. Fue el último hijo de un pequeño granjero de Lincolnshire con relaciones lo bastante buenas para enviarle a Cambridge, donde estudió sin distinguirse particularmente. En 1663 entró en contacto con el sabio e infatigable viajero Isaac Barrow (1630-77), nuevo profesor de matemáticas, que en seguida apreció su capacidad y le cedió su cátedra en 1669, cuando Newton tenía 26 años, pese a que todavía no había publicado nada ni había llamado la atención sobre su talento. Newton permaneció en Cambridge hasta 1696, cuando su enorme fama le hizo obtener la cátedra Warden. Más tarde fue nombrado director de la Casa de la Moneda, con un sueldo de 400 libras al año, trabajo que consideró muy honroso y cuyas obligaciones desempeñó siempre concienzudamente.⁴⁸⁰

En Cambridge, Newton trabajó en óptica, en muchas otras ramas de la física, en la química, en la cronología bíblica, y en la teología de la heresia ariana. Parece que tuvo escasa influencia en la Universidad y nunca llegó a fundar escuela. Allí fue influido por un amplio grupo religioso de platónicos encabezados por Henry More, y a través de él entraron elementos platónicos en su filosofía y por consiguiente en la ciencia moderna.⁴⁸¹ En general se acomodó a las ideas de su clase, representó a la Universidad de Cambridge en el Parlamento y apoyó el compromiso liberal —*Whig*— en política. Esto contribuyó a que sus ideas, que sólo más tarde mostraron su poder revolucionario, parecieran respetables al principio. Personalmente, Newton era de un carácter extraordinariamente raro, muy reservado y retraído, incluso introvertido. No se casó nunca y no aceptó la ordenación por sus dudas acerca de la Trinidad. Se conocía lo bastante para ser un buen crítico de sí mismo; por ello fue muy sensible a las críticas de los demás.

La aparición pública de Newton en las discusiones sobre la gravitación se produjo muy tardamente. Hoy sabemos, gracias a los manuscritos descubiertos recientemente, que ya en 1665, como proclamaría en su ancianidad, había descubierto el principio esencial de la ley de la gravitación del inverso del cuadrado de la distancia, que había derivado de Galileo. Incidentalmente descubrió también la ley de la fuerza centrífuga aproximadamente diez años antes que Huygens, a quien siempre se ha atribuido. Sigue siendo un misterio por qué no publicó su teoría de la gravitación hasta diez años más tarde. Newton fue siempre un amante de la perfección y tal vez le desalentaran las discrepancias

basadas en las malas mediciones de otros. No sabemos tampoco cuándo llegó a calcular el carácter elíptico de la órbita planetaria. Este puede haber sido el punto capital.

Cuando llegó a publicar sus resultados, terciando en la controversia de Hooke con su amigo Halley, la aportación de Newton fue decisiva. Esta aportación consistió en el hallazgo de un método matemático para convertir los principios físicos en resultados calculables cuantitativamente y confirmables por medio de la observación, y también, conversamente, de llegar a los principios físicos a partir de tales observaciones. Según sus propias palabras en el prefacio de los *Principia*:

«Presento esta obra como los principios matemáticos de la filosofía porque toda la tarea de ésta parece consistir en investigar, a partir de los fenómenos del movimiento, las fuerzas de la Naturaleza, y luego, a partir de estas fuerzas, demostrar los restantes fenómenos;... Espero que los demás fenómenos de la Naturaleza puedan derivarse, por la misma especie de razonamiento, a partir de los principios mecánicos, pues muchas razones me inducen a sospechar que todos ellos dependen de ciertas fuerzas que hacen que las partículas de los cuerpos, por algunas causas hasta ahora desconocidas, o se atraen recíprocamente y se unen formando figuras regulares, o se repelen y se alejan unos de otros. Siendo desconocidas estas fuerzas, hasta ahora los filósofos han intentado en vano explorar la Naturaleza; espero, sin embargo, que los principios aquí establecidos puedan arrojar alguna luz sobre esto o sobre un método más verdadero de la filosofía.»

El cálculo infinitesimal

El instrumento utilizado por Newton fue el cálculo infinitesimal o, como lo llamó él, el método de fluxiones (el flujo constante de una función continua). Este descubrimiento significó la culminación de la obra de muchas generaciones de matemáticos, a partir de los predecesores babilónicos e incluyendo a Eudoxo y Arquímedes. En el siglo XVII se desarrolló rápidamente con los trabajos de Fermat y Descartes. Su forma actual le fue dada por Leibniz (1646-1716). Desde el punto de vista de la ciencia no es de gran importancia saber si corresponde a Newton o a Leibniz el mérito de haberlo descubierto, cuestión en la época de gran discusión. Lo importante es que Newton empleó su cálculo para resolver cuestiones vitales de la física y enseñó a otros a que hicieran lo mismo.

Mediante el uso del cálculo infinitesimal es posible hallar la posición de un cuerpo en un momento determinado conociendo la relación entre su posición y su velocidad o el índice de cambio

de velocidad en cualquier otro instante. Aplicada inversamente, la ley de Newton de la fuerza gravitatoria se desprende directamente de la ley del movimiento de Kepler. Desde el punto de vista matemático se trata de dos modos distintos de decir lo mismo, pero mientras que las leyes del movimiento planetario parecen abstractas, la idea de un planeta que se mantiene en su curso por una poderosa fuerza de atracción constituye una imagen fácil de retener, incluso aunque la fuerza gravitatoria misma siga siendo un completo misterio.

El cálculo, tal como lo desarrolló Newton, podía ser usado y de hecho fue usado por él para resolver gran variedad de problemas mecánicos e hidrodinámicos. Se convirtió inmediatamente en el instrumento matemático para la comprensión de todas las variables y movimientos, y de ahí de toda la ingeniería mecánica, manteniéndose casi como instrumento exclusivo hasta el presente siglo. En un sentido muy real, puede decirse que el cálculo infinitesimal fue instrumento de la nueva ciencia tanto como el telescopio.

Los «Principia»

Fue necesario todo el poder persuasivo de Halley para conseguir que Newton incorporara en su *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* su solución a los movimientos planetarios, en los años 1685-86. La obra fue impresa por la Royal Society tras obtener la necesaria autorización de su presidente, que era entonces Samuel Pepys, pero la sociedad andaba escasa de fondos y Halley debió pagar los gastos de su propio bolsillo. La obra, por el modo en que se sostienen y desarrollan los argumentos físicos, no tiene paralelo en la historia de la ciencia. Desde el punto de vista matemático sólo puede compararse con los *Elementos* de Euclides, y por su penetración física y su influencia en las ideas posteriores, con el *Origen de las Especies* de Darwin. Se convirtió inmediatamente en la biblia de la nueva ciencia, no tanto en calidad de autoridad —pese a que existió cierto peligro de que ocurriera esto, especialmente en Inglaterra— como por las ulteriores aplicaciones de los métodos allí ejemplificados.

Newton, en sus *Principia*, no se limitó a establecer las leyes del movimiento de los planetas: su principal objetivo consistió ciertamente en demostrar que la gravitación universal podía mantener el sistema del mundo, pero no trató de hacerlo por los antiguos medios filosóficos sino por el nuevo método físico y cuantitativo. A este respecto tenía que realizar una doble tarea: en primer lugar, la de demoler las concepciones filosóficas previas, antiguas y modernas; y en segundo lugar, la de demostrar que la suya, no solamente era correcta, sino también el

modo más exacto de dar cuenta de los fenómenos en cuestión. Gran parte de los *Principia* está dedicada a una refutación cuidadosa y cuantitativa del sistema más aceptado y con el que el propio Newton había coqueteado anteriormente: el de Descartes, con su conjunto de torbellinos para cada planeta. Se trataba de una genial idea intuitiva pero absolutamente incapaz, como mostró Newton, de dar resultados cuantitativos exactos. Al discutirlo se vio obligado a fundar la ciencia de la *hidrodinámica*, a discutir y depurar las ideas de *viscosidad* y de resistencia del aire, y de hecho a poner las bases para una mecánica de los fluidos que sólo empezaría a caminar por sí misma en la época de la aviación.

Aunque Newton utilizó el cálculo para obtener sus resultados, en los *Principia* reformuló cuidadosamente toda su obra según la forma de la geometría clásica griega, comprensible para otros matemáticos y astrónomos. La inmediata consecuencia práctica de su publicación fue proporcionar un sistema de cálculo que obligaba a determinar más exactamente las posiciones de la Luna y de los planetas sobre la base de un mínimo de observaciones, cosa que sus predecesores sólo podían realizar mediante la extensión empírica de largas series. Así, por ejemplo, bastaban tres observaciones para determinar la posición de un objeto celeste durante un futuro indeterminado.

La prueba de esto último la dio muy poco después de Newton su amigo Halley con su famoso cometa, cuyo retorno predijo con éxito sobre la base de las teorías newtonianas. Resultado de ellas fue también que las tablas astronómicas fueron mucho más exactas. Desgraciadamente, el objeto celeste más fácil de observar para la determinación de la longitud es la Luna, y el movimiento de la Luna es seguramente el más complicado del sistema solar. Nunca se logró reducirlo a un orden lo suficientemente sencillo para que pudiera servir como un guía de confianza para los navegantes; por eso fueron finalmente los relojeros con mentalidad científica quienes consiguieron el premio —o la parte de éste que consiguieron cobrar al Almirantazgo—, y no ya los astrónomos con mentalidad mecánica.

Newton sustituye a Aristóteles: un universo establecido contra un universo afirmado

La teoría de la gravitación de Newton y su contribución a la astronomía señalan el estadio final de la transformación de la imagen del mundo aristotélica iniciada por Copérnico. A la visión de las esferas, gobernadas por un primer motor o por los ángeles según el mandato de Dios, Newton había opuesto efectivamente un mecanismo que funcionaba según una sencilla ley natural, sin exigir una aplicación continua de fuerza, y que

sólo necesitaba la intervención divina para su creación y puesta en movimiento.

El propio Newton no estaba muy seguro de todo esto, y dejó una puerta abierta para que la intervención divina mantuviera la estabilidad del sistema. Pero esta puerta fue cerrada por Laplace, ahorrándose la intervención divina. La solución de Newton, que contiene todas las magnitudes necesarias para la predicción práctica de las posiciones de la Luna y los planetas, se abstiene de plantearse la cuestión fundamental de la existencia de un plan divino. En realidad Newton era consciente de haber puesto de manifiesto ese plan y no deseaba plantear más cuestiones.

Newton dejó de lado la presuposición que había hecho acerca de la existencia de un movimiento absoluto diciendo, de acuerdo con sus amigos platónicos, que el espacio era el sensorio —la conciencia o la mente— de Dios, y que consiguientemente tenía que ser absoluto. De este modo evitó extraviarse en teorías relativistas. Su propia teoría no daba razón alguna de que los planetas se hallen más o menos en un mismo plano y se muevan en el mismo sentido —para lo que los torbellinos cartesianos habían suministrado una explicación fácil—. Newton disminuyó honestamente su ignorancia al respecto postulando que tal había sido la voluntad de Dios al principio de la creación.

Por entonces había concluido la fase destructiva del Renacimiento y la Reforma; se había llegado a un nuevo compromiso entre religión y ciencia, al igual que los que existían entre monarquía y república y entre la nobleza y la gran burguesía. El sistema del universo de Newton representaba una notable concesión por parte de la ortodoxia religiosa, pues en adelante ya no se veía tan claramente la mano de Dios en cualquier suceso celestial o terrenal, sino solamente en la creación y organización general del todo. Dios se convirtió de hecho, como sus ungidos en la tierra, en un monarca constitucional. Los científicos convinieron en no interferirse en el terreno propio de la religión, el mundo de la vida del hombre, con sus aspiraciones y responsabilidades. El compromiso, sablamente propugnado por el obispo Sprat, y predicado por el terrible doctor Bentley en sus sermones sobre Boyle de 1692, perduró hasta Darwin en el siglo XIX.*

Pese a que el sistema de la gravitación universal parecía en la época, al igual que ahora, la principal obra de Newton, su influencia en la ciencia y fuera de ella ha sido incluso más eficaz a través de los métodos que utilizó para conseguir sus resultados. Su cálculo suministró un modo general para pasar de los cambios de cantidad a las cantidades mismas y viceversa. Suministró una clave matemática adecuada para la solución de los problemas físicos durante doscientos años. Al establecer sus leyes del movimiento, que relacionaban la fuerza no con el movimiento mismo sino con el cambio en el movimiento, rom-

pió definitivamente con la vieja idea del sentido común según la cual para mantener el movimiento es necesaria la fuerza, relegando la fricción, presente en todos los mecanismos prácticos, a un papel secundario cuya eliminación era tarea de los buenos ingenieros. En una palabra: Newton estableció, de una vez por todas, la visión *dinámica* del universo en lugar de la imagen *estática* que había satisfecho a los antiguos. Esta transformación, combinada con su atomismo, mostraba que Newton estaba en inconsciente armonía con el mundo social y económico de su época, en el que la empresa individual, donde cada cual se abre su propio camino, sustitua al rígido orden jerárquico del período clásico tardío y de la época feudal, en el que cada hombre conoce su lugar.*

Independientemente de esos éxitos reales, la obra de Newton, refinamiento final de un siglo de experimentos y cálculos, mostró ser un método seguro para ser empleado por los científicos de las épocas posteriores. Al propio tiempo garantizaba a científicos y no científicos que el mundo está regulado por sencillas leyes matemáticas. De este modo se construyeron según el modelo newtoniano, como veremos, las leyes de la electricidad y el magnetismo, siendo la teoría atómica de los químicos consecuencia directa de las especulaciones atómicas newtonianas.

El prestigio y la influencia de Newton

* Los mismos éxitos de Newton llevaban aparejados las correspondientes desventajas. Su capacidad era tan grande y su sistema aparentemente tan perfecto que desalentó de un modo positivo el progreso científico durante un siglo, o lo permitió únicamente en terrenos que él no había explorado. En Inglaterra, esta restricción se mantuvo en las matemáticas hasta mediado el siglo XIX. La influencia de Newton perduró mucho más que su sistema, y el tono general que dio a la ciencia se tomó de tal modo como cosa cierta que las fuertes limitaciones en el inglés no fueron advertidas hasta la época de Einstein y tal vez ni siquiera plenamente.

Paradójicamente, puesto que su deseo era limitar la filosofía a su expresión matemática, el más inmediato efecto de las ideas de Newton se dio en los terrenos político y económico. Tal como fueron expuestas, llegaron a crear un escepticismo general en la autoridad y a fomentar la creencia en el *laissez faire*, que disminuyó el prestigio de la religión y el respeto a un orden de la sociedad impuesto por constitución divina; a través de Voltaire, que fue el primero en introducir las en Francia, contribuyeron directamente a la Ilustración y, por lo tanto, a las ideas

de la Revolución Francesa. Y siguen siendo en nuestros días la base filosófica del liberalismo burgués.

7.10 MIRADA RETROSPECTIVA: EL CAPITALISMO Y EL NACIMIENTO DE LA CIENCIA MODERNA

Volviendo nuestra mirada al épico movimiento de la ciencia en los siglos XV, XVI y XVII estaremos mejor situados para contemplar cuándo y dónde tuvo lugar su nacimiento. Podemos advertir cómo siguió de cerca la gran vuelta a la vida del comercio y de la industria que caracterizaron el advenimiento de la burguesía en los siglos XV y XVI, así como su triunfo político en Inglaterra y Holanda en el XVII. El nacimiento de la ciencia se produjo inmediatamente después que el del capitalismo. El mismo espíritu que rompió las formas fijas del feudalismo y de la Iglesia rompió también la antigua tradición conservadora y esclavista de un mundo clásico. En la ciencia, como en la política, la ruptura con la tradición significó una enorme liberación de ingenio humano en campos que antes estaban cerrados. No había parte del universo demasiado lejana ni ocupación demasiado humilde para el interés de los nuevos científicos.

La unidad de la ciencia del siglo XVII

Pese a la variedad de los campos de estudio, la ciencia del siglo XVII tenía una unidad subyacente con una triple base: la de las personas, la de las ideas y la de sus aplicaciones. En primer lugar, el científico del siglo XVII era capaz de abarcar y producir una obra original en todo el campo de la ciencia conocida. Newton no fue solamente matemático, astrónomo, óptico y mecánico, sino que también trabajó durante años en la química, donde, pese a que publicó muy pocas cosas, parece que llegó a conseguir una comprensión mayor que ningún otro hombre de su tiempo. Hooke, aunque no fue un gran matemático, trabajó, como hemos visto, en estos campos y en la fisiología, además de ser uno de los pioneros de la microscopía. Wren, al que conocemos como arquitecto, también estuvo en el centro del movimiento científico. Como consecuencia de esta universalidad, los científicos o *virtuosi* del siglo XVII pudieron dar una imagen más unitaria del ámbito de la ciencia que el que sería posible en épocas posteriores.⁹⁸

En segundo lugar, existía una unidad subyacente producida por una idea directriz y un método de trabajo que era esencialmente matemático y se basaba en una matemática derivada directamente de los griegos, pero que incluía también las aportaciones arábigas, hindúes y, posiblemente, chinas. No se trataba, sin embargo, de una ganancia real: a la preocupación por las matemáticas se debió una inconsciente limitación del ámbito de la ciencia del siglo XVII. Los aspectos de la experiencia que no podían ser reducidos a las matemáticas tendían a ser ignorados, e incluso se tendía a aplicar un tratamiento matemático a ciertos aspectos para los que este no era admisible, a veces con ridículos resultados. Un discípulo de Harvey, por ejemplo, intentó explicar la acción de las diferentes glándulas del cuerpo por el momento relativo de sus partículas, el cual dependía de los ángulos en que descargaban sus conductos excretorios. El caso extremo se dio en el terreno social, con el intento de Spinoza (1632-77), el más noble de los filósofos del siglo XVII, de reducir la ética a principios matemáticos. A causa de su insistencia en las matemáticas, los científicos del siglo XVII tuvieron éxito solamente en campos que, como la mecánica y la astronomía, habían sido trabajados ya por los griegos, mientras que hicieron progresos escasamente significativos en la química y en la biología.

La ciencia y los problemas técnicos

El tercero y más característico de los principios unificadores de la nueva ciencia fue su preocupación por los principales problemas técnicos de su época. Como hemos visto, el enorme progreso de la técnica, a partir del siglo XIV, o incluso antes, nació de la ruptura con la tradición en las favorables circunstancias de Europa, donde pocos hombres podían explotar enormes recursos, estimulando su ingenio. Las soluciones que se buscaban en la minería y en la metalurgia, en el transporte y en los textiles, eran soluciones técnicas; éstas, sin embargo, al romper con la tradición, planteaban nuevos problemas para cuya solución fue creada la ciencia moderna. Buen número de esos problemas, especialmente los de la navegación, la artillería y la mecánica, quedaban dentro del campo de cuestiones consi-deradas por la tradición griega como de solución práctica inmediata. Pero las demás constituyeron la inspiración de la ciencia del siglo XVIII.

Al principio los científicos afirmaban que eran capaces de conseguir resultados muy superiores a los que eran efectivamente posibles en la época. Hasta finales del siglo XVIII la ciencia debía a la industria mucho más de lo que podía darle. En la química o en la biología todavía debían pasar al menos otros cien años antes de que las propuestas de los científicos pudieran sustituir o mejorar los procedimientos tradicionales, y en medicina, por otra parte, fue necesario el transcurso de mucho más tiempo. Incluso en el terreno bien conocido de las ciencias físicas, como en la mecánica y en la artillería, el práctico seguía llevando ventaja sobre el teórico. La mejora de los molinos fue realizada en gran parte por los constructores, y la de los cañones, por los fundidores. Trabajando en madera o en metal fundido rudimentariamente era imposible emplear los refinamientos que podrían dar las nuevas matemáticas y la dinámica. Newton, por ejemplo, calculó la trayectoria de un proyectil teniendo en cuenta la resistencia del aire. Sus métodos todavía se aplicaban en la Segunda Guerra Mundial, pero casi eran completamente inaplicables en su propia época. Las cuñas de los cañones eran desiguales, los proyectiles no ajustaban perfectamente en ellas, la cantidad y la calidad de la pólvora variaban a cada disparo, y para apuntar se disponía tan sólo de cuerdas y cuñas movidas a mano. El artillero práctico, que conocía las limitaciones de su arte, podía pasarse sin la balística.¹⁵⁰ La única excepción era la del arte del relojero, en cuyos niveles superiores —la producción de cronómetros marinos— convenían conocimientos de dinámica. El único gran triunfo de la nueva ciencia fue el obtenido en el ámbito de la navegación. Y este fue muy grande, pues en aquella época el dominio de las rutas marítimas y el descubrimiento del nuevo mundo suministraron la clave del éxito nacional, político y económico. Al demostrar su valor, la ciencia se convirtió en parte integrante de la nueva civilización capitalista dominante, adquiriendo una continuidad y un estatus que ya nunca perdería. La importancia de la ciencia creció —en términos tanto absolutos como relativos— en la medida en que se comprendió que la superioridad militar y económica de la civilización europea sobre las más antiguas de la India, el Islam y la China se debía a sus conquistas técnicas, y el mejoramiento de la técnica exigía la aplicación y el desarrollo continuado de la ciencia.

Antiguos y modernos

En el terreno de las técnicas, los hombres del siglo XVII se creyeron superiores no solamente a sus predecesores del Renaci-

miento y a los bárbaros de la Edad Media, sino incluso a los casi legendarios de griegos y romanos. El hombre moderno, se decía, podía no ser más sabio o más bueno que el antiguo, pero era sin duda más ingenioso y podía llegar a hacer cosas que aquél nunca llegó a soñar, como disparar cañones y navegar hasta América. Más importante incluso que las conquistas mismas era la conciencia de que sólo se trataba de un comienzo, de que el avance por la misma línea no tenía límites. Ya en 1619 Johan Valentin Andrae, tutor de Comenius, declaraba que «es ignominioso desconiñar del Progreso»; esta idea de progreso, tan extraña a la mentalidad medieval, ya que no totalmente a la clásica, emprendió su triunfante carrera.⁴⁴⁶

En realidad fue a finales de este período cuando se entabló con mayor conciencia la batalla entre antiguos y modernos. Con variable éxito, el duelo se extendió a todo el ámbito del saber.⁴⁴⁷ Su expresión más famosa fue *La batalla de los libros* de Swift, en la que por cierto los modernos llevan la peor parte. Pero no hay que olvidar que, tanto aquí como en *Los viajes de Gulliver*, Swift iba contra la corriente. Con todo, pese a que todavía sirvieran de adorno en las bibliotecas de los nobles, los clásicos estaban muertos para toda finalidad práctica. Si podían seguir siendo autoridades en la composición de prosa sonora, no podían contribuir ya a la filosofía, tal como la entendía el siglo XVIII.

El progreso seguía siendo más un ideal que una realización. La gran transición de los siglos XV, XVI y XVII aún no producía cambio revolucionario alguno en el modo de vida material. Esto llegaría más tarde. Se hablan redistribuido la riqueza y la pobreza. En Inglaterra y los Países Bajos había más gente acomodada al final del período que al principio, y poco más o menos lo mismo ocurría en Italia. Pero lo que es importante es que el método de multiplicar la riqueza convirtiéndola en capital había roto ya las restricciones feudales, abriendo el camino a una extensión indefinida. Bajo el capitalismo de la primera fase el nuevo incentivo del beneficio constituía un premio al progreso técnico. La estructura financiera, sin embargo, fue desde el principio sustancialmente inestable y pesada. Los comerciantes y caballeros del siglo XVII, pese a toda su riqueza e interés circunstancial por la ciencia, no fueron hombres que hicieran uso de las nuevas posibilidades, pero abrieron el camino para que un conjunto de manufactureros más humildes utilizaran la ciencia y desarrollaran, de un modo que carecía de precedentes, las técnicas tradicionales de la civilización.

La revolución intelectual

Sería completamente erróneo, con todo, considerar que la fuerza impulsora de la ciencia era completamente utilitaria. La

ciencia todavía conservaba buena parte del prestigio político y ético de la filosofía del mundo antiguo, a lo cual el Renacimiento había contribuido en forma apreciable. La filosofía natural, como se la llamaba, era considerada como una profesión valiosa y hasta noble, y sus patrocinadores, al sufragarla, daban prestigio al Estado. Los hombres de la nueva ciencia experimental se sabían auténticos herederos de los antiguos, a diferencia de los escolásticos; de hecho, los únicos campos del mundo externo en que sus métodos tuvieron éxito fueron los ya cultivados por los griegos. Sin embargo, pese a que las matemáticas griegas eran un instrumento característico del moderno método científico, el movimiento científico general surgió de la lucha contra la filosofía de Grecia, tal como ésta había sido adaptada en la Edad Media para ponerla al servicio del sistema feudal, entonces ya pasado de moda. En sus primeras fases, la nueva ciencia experimental fue necesariamente crítica y destructiva; en las últimas, en cambio, intentaba dar una nueva base para una filosofía más a tono con las necesidades de los tiempos. La ruptura nunca fue total. La influencia de la religión, interna o impuesta por la sociedad, era demasiado grande para permitir excesivas desviaciones del esquema general de la creación y la salvación aceptado igualmente por católicos y protestantes. De un modo explícito con Bacon y Descartes, y de modo más cauto en la filosofía implícita en la obra de Galileo y Newton, se tomaron no obstante grandes libertades respecto del esquema según el cual Dios gobierna el mundo. Y éstas sirvieron de base, en el siglo siguiente, para la crítica de toda la estructura de la religión.

La paradoja de la Revolución Científica fue que quienes más contribuyeron a ella, esencialmente los innovadores científicos desde Copérnico a Newton, fueron también los más conservadores en sus ideas filosóficas y religiosas. Si no fueron estrictamente ortodoxos se debió a que pensaron que la ortodoxia les apartaría del camino de la razón. Aceptaron el programa de santo Tomás de Aquino de conciliación de la fe y la razón, pero se vieron obligados a rechazar sus conclusiones, porque el esquema del mundo con el que habían reconciliado su fe mostraba ser palpablemente absurdo. Sus propias formas de reconciliación se mostrarían todavía menos duraderas. Pero había finalizado la época del dominio teológico de la ciencia. El progreso científico todavía podía retrasarse y sufrir deformaciones, pero jamás podría detenerse. La religión quedaba confinada tácitamente a la esfera moral y espiritual. En la del mundo material, voluntaria o involuntariamente, la Revolución Científica había tenido lugar definitivamente.

Hacia 1690 la ciencia se había establecido de un modo definitivo. Había adquirido un prestigio enorme, al menos en las capas superiores de la sociedad de la época. Tenía su organización en la *Royal Society* y en la *Académie Royale des Sciences*, íntimamente unidas por lazos personales a los poderes dirigentes —el Parlamento y las grandes familias *Whig* en Inglaterra, y la corte en Francia. También se extendía por otros países. Había desarrollado una disciplina coherente de experimentación y cálculo, método que permitía resolver cualquier problema tarde o temprano. En adelante, los fundamentos de la ciencia podrían ser apuntalados o alterados, pero el edificio levantado sobre ellos era estable y —lo que es más importante— el método general de la construcción era ahora conocido y ya no sería olvidado nunca.

Sin embargo, el mismo éxito del método científico inicial contenía elementos peligrosos. El propio método contenía gran cantidad de ideas antiguas que habían influido inevitablemente en los descubrimientos de los primeros científicos, y se encastillaron, al igual que los nuevos conceptos derivados de la experimentación, en la nueva filosofía de la ciencia. Es esta inconsciente reliquia del pasado la que aparece en muchas de las teorías científicas idealistas actuales. Y puede muy bien ocurrir que la tarea de la ciencia del siglo XX sea derribar el sistema de Newton al igual que fue de la del XVII destruir el sistema de Aristóteles.

TABLA IV. *La revolución científica.* (Capítulo VII.)

Esta tabla intenta presentar algunas de las características principales del nacimiento de la ciencia moderna en relación con los procesos políticos, económicos y técnicos. La escala temporal de este período, 1400-1700, es uniforme, pero se indican las fases correspondientes a las secciones del Capítulo VII. Se advierte así la gran concentración de esfuerzos en la última de las citadas fases. Los principales descubrimientos y teorías, como la reivindicación de Copérnico del sistema solar, la teoría de Harvey sobre la circulación de la sangre y la teoría de la gravitación universal de Newton se señalan especialmente. El diseño de la tabla ha intentado recoger las relaciones más significativas. Debido a su complejidad, sin embargo, otras relaciones como la existente entre el descubrimiento de Harvey y el estudio de las bombas hidráulicas no se muestran aquí.

| HECHOS HISTÓRICOS | FILOSOFÍA | NAVEGACIÓN | MATEMÁTICAS Y ASTRONOMÍA | ÓPTICA | MECÁNICA E HIDRÁULICA | QUÍMICA | MEDICINA, FISIOLÓGICA E HISTORIA NATURAL |
|----------------------------------|-------------|------------|------------------------------------|---------|-----------------------|---------|--|
| <i>Autoridades restablecidas</i> | PLATÓN | GERSON | ARQUIMEDES ARISTARCO TOLOMEO | ALHACEN | PILOPONO | LIUUL | ARISTÓTELES GALENO |
| <i>desplazadas</i> | ARISTÓTELES | | | | ARISTÓTELES | | |

1.440 Renacimiento italiano. Académias Platónicas en Florencia. Gran desarrollo del comercio y de las artes.

Retorno humanista a los clásicos. Escuela de Sagres. Los portugueses circunnavegan África.

Portulanos. Recuperación de la matemática griega. *Purbach*: Revive la astronomía.

* *Colón* descubre América. *Vasco de Gama* llega a la India.

* *Miller*: almanaques de navegación.

1.500 *Francisco I*: Colige *France*. Reforma. *Lutero*. *Calvino*.

Moro: «Utopía». *Vives*, *Erasmio*. *Rabatas*: crítica del mundo medieval.

* *Magallanes* da la vuelta al mundo.

* *Copérnico*: SISTEMA SOLAR.

Tartaglia, *Cardano*: Revive el álgebra.

1.540 Gran inflación.

Contrarreforma. Guerras de religión en Francia.

Núñez: Mapas y navegación.

* Problema de la longitud.

Tycho: observaciones precisas.

1.550 *Revueita* en los Países Bajos.

Período isabelino. *Gresham College*.

Montaigne: excepcional. Mapas de *Mercurio*.

Norman: inclinación magnética.

Viete: álgebra simbólica.

Los fabricantes de lentes inventan el telescopio.

Stevin: estática e hidráulica.

1.600 El capitalismo llega al poder. Academia dei Lincei. Guerra de los Treinta Años. Guerras civiles inglesas. Reuniones informales de científicos.

* Filosofía experimental de *Bacon*. * Atomismo de *Gasendi*. * *Descartes*: filosofía mecánica. Materialismo de *Hobbes*.

* *Kepler*: órbitas planetarias. *Napier*: logaritmos.

* *Descartes*: geometría analítica. *Fermat*: teoría de los números.

1.630 *Royal Society*. Luis XIV de Francia. Académias Sciences. Expulsión de los Hugonotes.

Spiroza: moral racional. *Guericke*: electricidad por fricción.

* Cálculo de *Newton*. TEORÍA DE LA GRAVITACIÓN.

Leibnitz: cálculo diferencial.

1.690 *Leibnitz*: armonía preestablecida.

Electricidad

Física matemática.

Progresos en pintura y perspectiva.

* *Leonardo da Vinci*: Ingeniería, obras hidráulicas.

Dürero: perspectiva.

Desarrollo de la artillería.

* *Paracelso*: resurgir de la química. «De re metallica».

Leonardo da Vinci: Dibujos de anatomía e historia natural.

Estudio científico de las bombas hidráulicas. Barómetro de *Torricelli*. * *Guericke*: el vacío. * *Boyle*: ley de los gases. *Hooker*: física experimental.

Boyle: «El químico excepcional» de la combustión.

* *Harvey*: circulación de la sangre. Generación de los animales. *Leeuwenhoek*: microbiología. *Malpighi*: anatomía microscópica. *Mayow*: teoría de la respiración. *John Ray*. *Nehemiah Grew*: Clasificación de animales y plantas.

Huygens: teoría ondulatoria de la luz.

Instrumentos

Máquina de vapor.

Química racional.

Biología científica.