A. RUPERT HALL

# LA REVOLUCIÓN CIENTÍFICA 1500-1750

Traducción castellana de
JORDI BELTRAN

EDITORIAL CRÍTICA
Grupo editorial Grijalbo
BARCELONA

*de modo que me he limitado a dar entrada a la literatura reciente en las notas correspondientes a cada capítulo.*

*Agradezco a la editorial Longman la sugerencia de preparar una nueva versión de* The scientific revolution *y doy las gracias a la señorita Fiona Cooper y a la señora Julie Hounslow por mecanografiar el resultado. Saludo a todos los colegas y amigos de quienes he aprendido o tomado algo en préstamo, especialmente a aquellos cuya amabilidad no se ha visto menoscabada por algunas discrepancias. Entre todos ellos vuelvo a citar a Joseph Needham, único superviviente de la era heroica de los decenios de 1920 y 1930, cuya inmensa erudición superará largamente la prueba del tiempo.*

A. R. H.

## NOTA BIBLIOGRÁFICA

En la versión original del presente libro, *The scientific revolution, 1500-1800* (1954), así como en la segunda edición publicada en 1962, había una selección de obras de lectura recomendada. La mayoría de ellas siguen siendo útiles. Dos publicaciones recientes contienen numerosas remisiones a fuentes y literatura secundaria; se trata de Magda Whitrow, ed., *Isis Cumulative Bibliography* (5 vols.), y C. C. Gillispie (jefe de redacción), *Dictionary of Scientific Biography* (16 vols.). La revista *Isis* publica extensas bibliografías actuales.

## INTRODUCCIÓN

La «revolución científica» del presente libro se refiere a las ciencias naturales, esto es, al conocimiento del mundo externo que actualmente suponemos que existe con independencia del hombre —aunque en el pasado reciente existía la creencia universal de que una de las mejores razones para estudiar la naturaleza era la íntima relación entre ésta y el hombre—, incluyendo el cuerpo humano, que puede investigarse objetivamente y que desde hace mucho tiempo se ha comparado con el cuerpo de los animales. No me ocuparé aquí de las ciencias de la mente y de la personalidad, ni de las sociales, como, por ejemplo, la antropología y la economía. Considerar la ciencia como conocimiento significa seguir las actividades y los escritos de hombres doctos: filósofos y matemáticos en los primeros siglos, astrónomos, naturalistas y químicos, como empezó a llamárseles en siglos posteriores. En general, no analizaré las creencias populares (pese a que muchas de ellas también hallaban aceptación entre algunos hombres doctos: la astrología y la brujería, por ejemplo), ni trataré de verificar hasta qué punto el dominio de las cosas vivas y los materiales naturales por parte del artesano expresaba un conocimiento de la naturaleza. Estos temas han sido investigados y vale la pena que así se haga, pero se apartan del nivel académico y culto a que quiero ceñirme en este libro. Tampoco es una muestra de esnobismo ocuparse de lo académico y descuidar lo popular. No es ninguna aberración moderna el que la imagen que el ciudadano corriente tiene del mundo en el que habita sea una popularización de la imagen de las lumbreras académicas; la mayor parte de la ciencia que se cita en las obras de Shakespeare se remonta a antecedentes clásicos y medievales perfectamente válidos. No es coincidencia que en tiempos de Shakespeare el conocimiento popular de la sexualidad y la reproducción procediera

de una obra titulada *La obra maestra de Aristóteles*, ni que la astrología popular del siglo XVIII llevase aún las señales de sus orígenes entre los matemáticos babilonios. Algunos ejemplos de conocimiento científico han brotado del suelo hacia arriba —el descubrimiento de la vacunación por Jenner es quizás el más famoso de ellos—, pero es incomparablemente mayor el número de creencias populares que se han sedimentado desde arriba. Asimismo, es en las obras eruditas donde el historiador encuentra la presentación más clara y lógica de la visión que una sociedad tiene de la naturaleza, incluyendo sus errores y supersticiones. A decir verdad, del mismo modo que los samoanos de hoy no podrían decirnos qué significaba crecer en Samoa hace cincuenta años, por lo que tenemos que recurrir a los estudios antropológicos de Margaret Mead, también la única manera de descubrir qué pensaban las personas corrientes del pasado consiste en recurrir a la constancia que de ello dejaron, tal vez sin darse cuenta, sus contemporáneos más cultos: escribanos, jueces, eruditos.

De modo parecido, al escribir sobre la revolución científica, hablaré poco de la visión total o parcialmente mágica de la naturaleza y no me explayaré en «seudociencias» como la astrología y la alquimia que la revolución científica tendió a desplazar o devaluar (todavía tienen partidarios). Esto no se debe a que las ideas mágicas, o las ideas herméticas, o los principios de la astrología y la alquimia no fueran estudiadas y explicadas por hombres de cultura impecable. Muy al contrario: algunas de las grandes figuras de la revolución científica, incluyendo a Kepler y Newton, se tomaban estas cosas en serio.[1] De hecho, algunos historiadores afirman que el interés que estos «modernos», como por lo demás podríamos considerarlos, mostraban por la alquimia o la astrología, por no hablar de los conceptos cristianos de la divinidad del origen y la gobernación del universo, afectaron profundamente su labor científica-técnica. Por ponerlo en el nivel más bajo, la forma en que el progreso del pensamiento va acompañado de una especie de atavismo, tal vez sin que el pensador progresista sea consciente de ello, ciertamente forma parte de la historia. Casi todos los pensadores revolucionarios —Newton, Robespierre, Florence Nightingale, Einstein— muestran algún tipo de apego profundo a algún orden de pensamiento más antiguo que parece casi

1. Véase B. J. T. Dobbs, *The foundations of Newton's alchemy*, Cambridge U. P., Cambridge, 1975.



inexplicable a las épocas posteriores. Habiendo rechazado tantos juguetes de la infancia intelectual, ¿por qué se aferraron a *ese*?

A este respecto, confieso sin vergüenza alguna que sigo una línea positivista e incluso *whig*, ya que en la misma oración no puede escribirse acerca de la visión que de la batalla tienen los vencedores y los vencidos. No creo que Copérnico sea una figura histórica importante porque nombrara una vez a Hermes, que el tratado de astrología de Kepler sea su obra más importante, que el nombre de Newton sea inmortal porque leyera a los alquimistas, ni que el hecho de que la señorita Nightingale rechazase los «gérmenes» fuera un error fatal para sus enseñanzas. He procurado analizar, poner en contexto, comprender la obra creativa de hombres y mujeres; si nos interesa la creatividad, debemos seguir en gran medida a los victoriosos y no a los derrotados. Hay que aceptar el atavismo, pero no suponerlo más interesante y significativo que la creatividad conducente al abandono de ideas tradicionales.

Que el historiador deje a sus colegas filosóficos la tarea de comentar lo que entraña realmente la consecución de la victoria gracias a un sistema científico o teoría en vez de otros: observará que a veces depende de la presentación de datos nuevos basados en hechos, o de la consideración de equivalencias y su plausibilidad (¿es más fácil creer que la Tierra se mueve que creer que se mueve el Sol?), otras veces de la preferencia por un concepto nuevo (como en el caso del «átomo» en el siglo XVII, no siempre «nuevo» en el sentido histórico más sencillo) o de la aceptación de argumentos matemáticos originales. Algunos historiadores dirían que los cambios de preferencia —cambios, a lo largo de un período de tiempo, en aquellas proposiciones que la gente está dispuesta a calificar de «evidentes», «plausibles», «racionales» o de otra forma parecida— están muy condicionados por experiencias o pensamientos sin ninguna relación directa con la ciencia y sus problemas. Lo que resultaba obvio para un cristiano medieval tal vez parecía sumamente discutible para un filósofo griego, por ejemplo; o cabría argüir que el conocimiento de las máquinas podría alterar las ideas sobre la física o incluso la biología; o, quizá de la forma más general de todas, algunos historiadores consideran una perogrullada que, del mismo modo que el estudio humano de la sociedad, sus costumbres y sus instituciones se ve hasta cierto punto influido cuando menos por los conocimientos científicos de los investigadores, también, a la inversa, las ideas que las personas ten-

gan de la sociedad pueden afectar sus ideas de la naturaleza. En el ejemplo más sencillo, el concepto de Dios como creador del universo ha sido generalizado partiendo de la experiencia humana de lo que representa hacer cosas: de manera que se decía (por analogía) que Dios tenía un propósito, que seguía un plan como podría seguirlo un constructor de barcos, etcétera, y que observaba del modo más elegante los principios geométricos. Prescindiendo de la verdad que haya en la opinión de que las creencias científicas de una sociedad son condicionadas por el contexto de esta sociedad misma —y la finalidad de este libro no es discutir este punto en uno u otro sentido—, es innegable que, en términos generales, todos los grandes grupos de personas que estudiemos tienen su «propia idea de la naturaleza» [2] dentro de la cual hay una serie de creencias concretas, más o menos consecuentes, relativas a la materia y la creación, las estrellas y las cosas vivas. Así, muchos de los griegos, especialmente los dos gigantes, Aristóteles y Galeno, consideraban que todo el universo era orgánico, un conjunto que había crecido y se había desarrollado de modo muy parecido a como lo hace una cosa viva, que poseía un impulso interno, predominante, de propia conservación como cosa viva, por lo que ninguno de sus acontecimientos podía ser arbitrario, estocástico o suicida. Para los cristianos medievales el universo era sencillamente el teatro donde se representaba el drama de la caída y la redención del hombre: de aquí, por ejemplo, la creencia, que duró hasta el principio de los tiempos modernos, de que todas las especies vivas fueron creadas para que el hombre las usase de una forma u otra. Los últimos dos siglos y medio han sido testigos del predominio de una idea de la naturaleza que se aparta mucho de las que acabamos de citar, puesto que se ve a la naturaleza como el producto —quizás un producto fortuito en zonas locales como nuestro planeta— de cadenas fortuitas nacidas de la primera constitución de la existencia. Así, pues, a un nivel la revolución científica es el fenómeno del desplazamiento —todavía parcial, es decir, incompleto— de una idea de la naturaleza por otra idea; de una «visión del mundo» por otra. La teleología —la creencia de que la naturaleza de una cosa hay que explicarla por su excelencia en ser lo que es— se ve debilitada; la significación de los fenómenos que surge de la lógica de la estructura del universo y las «leyes de la naturaleza» se ve reforzada.

2. R. J. Collingwood, *The idea of nature*, Clarendon Press, Oxford, 1945.



Pero la revolución científica es más que esto: no es sencillamente análoga a la sustitución de la estética barroca por la romántica: el observador no puede limitarse a decir «cada una de ellas es perfectamente válida en sus propios términos». La ciencia de 1750 era aún rudimentaria, pero también podrá describir y explicar racionalmente muchos más acontecimientos naturales que la ciencia de 1500. Se sabía mucho más acerca del universo —por citar un solo ejemplo: que algunas estrellas muestran cuando menos ciclos de cambio observables, y alteración de su posición y, por ende, no son eternamente constantes como siempre se había creído— y el conjunto encajó en una pauta de pensamiento más satisfactorio. Por supuesto, si pueden hacerse estas comparaciones, es sólo porque la naturaleza de lo que se estudiaba era la misma y porque lo que contaba como explicación todavía era (hasta cierto punto) lo mismo: donde no es posible el diálogo entre dos filósofos o, como diríamos ahora, entre dos científicos, tampoco se puede afirmar que uno ha avanzado intelectualmente más que el otro. Como es obvio, en sentido absoluto no se puede decir nunca que en la sucesión de teorías científicas a través del tiempo —supongamos, para concretar, las teorías relativas a la influencia de los progenitores masculinos y femeninos en la morfología y el comportamiento de sus vástagos— cada «modelo» se haya acercado sucesivamente más a la realidad, aunque sólo sea porque no sabemos qué es la «realidad» ni confiemos en llegar a saberlo alguna vez. Pero podemos estar seguros de que tanto si nuestro conocimiento actual (o, de hecho, el de 1750) es o no más «real», ciertamente su contenido basado en datos es mucho más rico que el del 1500, de que las teorías están estructuradas de una manera mucho más sutil, de que su integración con otros campos del saber (la química, la física, etc.) es incomparablemente mayor y, finalmente, de que permite predecir con mayor exactitud acontecimientos futuros partiendo de determinados antecedentes. A esto podemos llamarlo progreso y también podemos creer confiadamente que en los sistemas de conocimiento científico el progreso puede medirse en términos totalmente independientes de los juicios de valor. No es sencillamente un juicio de valor mantener que la teoría newtoniana del universo es superior a la aristotélica, un tipo más avanzado de teoría; porque la teoría newtoniana es más grande, más exacta, puede comprobarse con mayor precisión y, sobre todo, más matemática que su predecesora.

Aunque no forma menos parte de una visión del mundo que los

sistemas científicos del pasado, la ciencia moderna se diferencia notablemente de todos ellos. Exige criterios rigurosos en la observación y los experimentos. Excluye los agentes espirituales de su esfera y acepta un materialismo puro, pero estas características de la ciencia no se establecieron definitivamente hasta finales del siglo XIX. Distingue entre teorías confirmadas, hipótesis plausibles y especulaciones tentativas: tres grados de confianza y tal vez, a la inversa, tres grados distintos de estímulo intelectual. Es sumamente matemática en su estructura y argumentos. En la ciencia moderna una buena teoría es general, pero también ha de ser precisa, pues probablemente la mayoría de los científicos estarían de acuerdo en que la mejor prueba de una teoría es la verificación de las conclusiones (predicciones) extraídas de ella. Además, las teorías incitan a la investigación y los frutos de ésta imponen la formulación de teorías; hay campos «inactivos» de la ciencia donde todo es fijo con la rigidez de los libros de texto, pero en los campos activos donde la investigación es más animada el cambio ha tendido a ser cada vez más rápido. Estas características se adquirieron mediante el estudio de la naturaleza durante el período de transición que desde finales del siglo XVII se denomina por conveniencia la «revolución científica» y se retuvieron mediante el desarrollo detallado tanto del conocimiento basado en datos como de su ordenamiento teórico.

Es pertinente tratar de definir, en términos generales, la fuerza y el carácter de esta revolución. Al concluir la Edad Media el hombre tenía firmemente establecida su visión del mundo externo y confiaba en ella; expresada en numerosos libros doctos y en varios libros populares, algunos de los cuales (de ambas clases) ya se habían publicado antes de finalizar el siglo XV, esta visión, según la suposición general, estaba autentificada por el hecho de proceder del mundo grecorromano, en el cual habían florecido los mejores intelectos de la humanidad y los hombres se habían acercado a la verdad más que en cualquier otro momento anterior o posterior. Pero esto no era todo, pues la era clásica había presenciado también las mayores hazañas de la habilidad y el ingenio humanos de que se tiene constancia. Sin embargo, las gentes de la Edad Media reconocían, como antes hicieran sus predecesores de la antigüedad, que la fabricación de herramientas y las artes útiles habían partido de unos comienzos invisibles en el alba de la humanidad, mientras que, al parecer, la consideración filosófica y matemática de la naturaleza no había empezado hasta los griegos



del siglo V, alcanzando una rápida madurez en los escritos de Aristóteles (384-322 a. C.) y Euclides (*c.* 300 a. C.). En virtud de una de las coincidencias más extraordinarias de la historia, en el siglo VI antes de Jesucristo «estamos entrando en el mayor período de florecimiento intelectual de la antigua China. Las "cien escuelas" de filósofos alcanzaron su apogeo entre — 500 y — 250» (Joseph Needham).[3] Pero de la historia intelectual china el Occidente medieval, a pesar de Marco Polo, no sabía nada. De modo parecido, el conocimiento de la filosofía, la medicina y la ciencia pregriegas estaba limitado a rumores de sabios fenicios y egipcios, el más célebre de los cuales era un tal Moschus, al que a veces se identifica con Moisés. A estos sabios misteriosos no se les consideraba médicos ni astrónomos —pues los comienzos sólidos de estas ciencias en Egipto y Babilonia no se redescubrirían hasta el siglo XIX—, sino como magos, por su habilidad esotérica para leer las estrellas y controlar los agentes naturales.

Resumiendo, la visión del mundo tenía, en la baja Edad Media, cuatro componentes, todos los cuales se remontaban supuestamente (y en realidad) al mundo antiguo: el *técnico*, dominio de fuerzas y materiales, del viento, el agua, los metales, la madera y la piedra, en todo lo cual se habían hecho recientemente progresos muy rápidos y efectivos; el *filosófico*, del que cabe considerar la medicina como parte, que abordaba los problemas más generales sobre la naturaleza del mundo en que vivimos y se basaba firmemente en los libros de texto de autores griegos, latinos e islámicos que se leían en las escuelas y universidades; el *matemático* (incluyendo la astronomía), menos prestigioso que la filosofía (pero sirviéndola del mismo modo que, a través de la astrología, servía también a la medicina) y limitado en sus ramas más avanzadas a reducidos grupos de expertos; y finalmente las *artes herméticas* o *mágicas*, temidas por casi todos, conocidas (al menos según se dice) por muchos, profesadas abiertamente por unos pocos. Había vínculos, por supuesto, entre estas formas diferentes del conocimiento: tanto astrónomos como filósofos hablaban de los cielos y los primeros aconsejaban a los navegantes y exploradores sobre qué debían hacer para recorrer y explorar la superficie del globo; las matemáticas estaban estrechamente aliadas a la

3. Joseph Needham, *Science and civilization in China*, Cambridge U. P., Cambridge, 1954, p. 95.

magia (a la gente exageradamente supersticiosa todas las cifras y símbolos matemáticos le parecían cabalísticos), del mismo modo que la filosofía, por considerar el cambio cualitativo, era aliada de la alquimia. Arquitectos y artistas, pese a ser artesanos en la jerarquía social de la baja Edad Media y del Renacimiento, podían convertirse en hombres doctos, como hicieron Alberti y Leonardo da Vinci por medio de sus estudios; lo mismo cabe decir de los impresores. Esto contribuía a la fertilidad y a la riqueza de ideas, pero también a la confusión: lo que parecía ser un argumento decisivo acerca de la naturaleza de las cosas lo mismo podía depender de una cita de alguna autoridad antigua que de una supuesta muestra de experiencia común, del testimonio de viajeros o de supuestos experimentadores cuyos relatos no podían verificarse fácilmente, o, en raras ocasiones, de una demostración geométrica. Debido a que los argumentos tan pronto daban importancia a un tipo de datos como a otro, era difícil llegar a conclusiones sólidas, a lo que contribuía en no poca medida el hecho de que la autoridad escrita, cuando se recurría a ella, distaba mucho de ser unánime, y al hecho de que la experiencia temporal del mundo real no cuadraba exactamente con los informes de los antiguos.

Por encima y más allá de todas las formas de autoridad estaba la verdad religiosa, que también se expresaba en diversas fuentes, en el Antiguo Testamento y en el Nuevo, en los escritos de los Padres de la Iglesia, en las proclamas de los pontífices y los concilios, y que, ciertamente, distaba de ser clara como el cristal. La salvación al final de su vida era el único objetivo importante que debía fijarse un hombre racional; la destrucción antes de que los hombres fueran juzgados sería el destino del universo material. Toda la autoridad estaba de acuerdo en que el mundo había existido durante mucho tiempo en términos de vidas humanas —varios miles de años— pero que probablemente tenía poco futuro, toda vez que Dios pronto cumpliría su propósito en relación con el género humano. El sentido de una existencia de las cosas en el tiempo, exceptuando este reducido tiempo humano de cien generaciones y pico, estaba absolutamente ausente, como, a decir verdad, también lo había estado en la antigüedad; hasta parecía que el mundo hubiese sido creado perfecto y que luego se hubiera deteriorado poco a poco, en parte a causa del desgaste de los años, en parte debido a la terquedad y a la codicia del hombre. Hubiera sido absurdo concebir el universo sin el hombre, para el



que fue creado, y, por ende, impío concebirlo sin Dios. Incluso el intento de distinguir un acontecimiento natural de una intervención divina llevaba aparejadas consideraciones teológicas: y no podía haber nada de *ciencia* hasta que se hubiese establecido esta distinción. El árabe dice: «Imshallah: es la voluntad de Dios»: ¿dónde iba a decir apropiadamente el cristiano: «así es el mundo»? En cierto sentido, ésta era la pregunta en torno a la cual giraba todo: podría decirse que el presente libro trata de la victoria de la racionalidad sobre la religiosidad. Pero en verdad la situación en el siglo XV no era ni con mucho tan desesperada como semejante antítesis podía inducir a pensar, aunque había sido realmente desesperada en la alta Edad Media, poco después de la caída del imperio romano. Los escasos vestigios de la cultura antigua que a la sazón existían, y su tremendo y rápido renacer en los siglos XII y XIII, habían devuelto a Europa una racionalidad y una pericia intelectual precristianas —junto con mucha información objetiva sobre la naturaleza— que se injertaron en la teología cristiana y formaron una incómoda amalgama. Si fuera posible comentar los sacramentos en términos de la filosofía cualitativa aristotélica, ni siquiera santo Tomás de Aquino conseguiría que Aristóteles declarase que el universo no era eterno. Se habían producido fuertes reacciones contra la cultura greco-árabe: las doctrinas de Aristóteles fueron condenadas muchas veces en el siglo XIII, mientras que Averroes, un musulmán español que había llevado las posturas aristotélicas hasta el extremo, nunca llegaría a ser verdaderamente respetable en el Occidente cristiano. Debido a que la inmensa mayoría de los hombres doctos eran clérigos, que los torpes textos aristotélicos podían expurgarse o enterrarse debajo de una invocación de autoridad espiritual y que podía alcanzarse una síntesis armoniosa y, al parecer, inmensamente provechosa, estas tensiones eran más latentes que apremiantes: pero seguía siendo verdad que las epistemologías griega y cristiana eran, y son, irreconciliables; cuando las tensiones volvieron a aparecer con el resurgir del platonismo a mediados del siglo XV, el resultado fue en parte creativo, en parte obstructor.

Finalmente, podríamos preguntar *para* qué la Europa de la baja Edad Media quería el tipo de conocimiento que calificamos de científico. Lo cierto es que, en general, no lo quería por su utilidad práctica. De todas las ramas del saber sólo la medicina reconocía la distinción entre *episteme* y *techné*, la distinción entre el conocimiento

teórico y la habilidad práctica que nos es tan conocida: y las universidades, como es natural, daban mayor importancia a la primera. Fuera de los estudios académicos los que cultivaban las artes esotéricas también invocaban la idea de que el conocimiento da poder; el mago que entendía la naturaleza de las misteriosas fuerzas ocultas también podía dominarlas. Las matemáticas también aparecían como poseedoras de algunas aplicaciones útiles —la relación de la aritmética con las cuentas mercantiles y la de la geometría con la arquitectura es muy clara, por ejemplo, en los escritos de la baja Edad Media—, pero esta idea no se hizo del todo evidente hasta el siglo XV, como rasgo de la mentalidad renacentista, sobre todo después del «redescubrimiento» en 1414 del libro de Vitrubio sobre arquitectura (el más antiguo de los manuscritos existentes había sido transcrito en el monasterio de Beda en Jarrow en el siglo IX). Vitrubio había catalogado las ramas útiles de las matemáticas de un modo que resultó muy popular entre los eruditos renacentistas como John Dee (en su prefacio a *The English Euclid*, de Billingsley, 1570). La astronomía, como ya he señalado, fue padrina de la astrología y, por consiguiente, revestía importancia profesional para los médicos, entre otros. Pero las matemáticas propiamente dichas eran una ciencia que no tenía aplicación, mientras que el saber superior de la filosofía, que se extendía hasta lejos a través de los escritos de Aristóteles y de todos sus comentaristas, condujo a la teología.

Los hombres cultivaban la filosofía —y sabemos que en las universidades medievales la filosofía se estudiaba ávidamente— porque allí donde haya libros siempre habrá lectores, porque (en algunas de sus ramas) prometía técnicas intelectuales de aplicación universal que podían ayudar a clarificar los misterios del cristianismo, porque (en otras ramas) ofrecía una visión clara de los problemas eternos de la existencia y la finalidad, de la continuidad y el cambio, y del orden o armonía que seguramente hay debajo del caos y la casualidad aparentes del mundo de la experiencia, y porque (en otras ramas) ofrecía consejos para comprender las vicisitudes de la vida social y política. La filosofía era sabiduría secular, la sabiduría de este mundo temporal (motivo por el cual los puntos de vista de los autores paganos podían tratarse con respeto) del mismo modo que la teología era la sabiduría del mundo eterno. Los estudios de ambas cosas se encontraban inevitablemente; la Biblia relataba ciertas cosas que había que creer acerca de este mundo temporal —como, por ejemplo, que nuestra Tierra está fijada por su centro, aunque, como ya comentó Oresme alrededor de 1370, la razón a solas podía llevarnos a la conclusión de que se mueve como un planeta, si la Autoridad no nos salvara de este error— y, por supuesto, la religión también tenía mucho que decir acerca de la moralidad y la conducta humana. De un modo muy crudo, cabría decir que la filosofía llegó a ser la más importante de las disciplinas que se estudiaban en las universidades medievales, lo cual era debido a san Pablo y los Padres, que habían hecho del cristianismo una religión intelectual, en vez de ser sencillamente una cuestión de fe y esperanza en el mensaje de Jesús; después de todo, lo que había causado la trascendental división de las iglesias occidental y oriental era una cuestión de filosofía más que algo relacionado con la historia de Jesús y su mensaje. No obstante, si la justificación más obvia del estudio de los filósofos paganos se encontraba en la naturaleza de la religión, por paradójico que esto pueda parecer (y de vez en cuando surgían reformadores vehementes y simplistas que lo denunciaban), es más razonable suponer que era la fascinación intrínseca, aclaratoria del conocimiento natural lo que atraía a algunos hombres, aunque fueran relativamente pocos, a este aspecto de la filosofía. Algunos (quizás entre ellos podamos incluir al emperador Federico II) se sentían atraídos por la enorme variedad y la extraña curiosidad de la naturaleza y la belleza estética de las cosas vivas; otros, por medio de la mecánica de la definición y la lógica, buscaban la máxima precisión de las ideas y el rigor para deducir conclusiones relacionadas con problemas de movimiento y cambio; otros, edificando sobre la obra de un gran autor iraquí, Ibn al-Haytam, al que llamaban Alhazen (*c.* 965-1040), se zambulleron en los misterios de la luz, íntimamente relacionados con las manifestaciones de Dios ante el hombre. A la mayoría les interesaba, al menos hasta cierto punto, la cuestión más profunda de todas: ¿cómo pueden los hombres formarse una imagen coherente, racional del mundo externo siendo éste tan enorme y en parte inaccesible, y hallándose en constante proceso de cambio?

Es cierto que era una investigación libresca y literaria que llevaban a cabo los académicos con fines didácticos. El cálculo tenía su lugar en ella —de hecho, Richard Swineshead, el filósofo inglés del siglo XIV, pasó a la posteridad con el nombre de «Calculador» porque «las funciones y consideraciones matemáticas impregnan [su] obra



-7-

principal» (Murdoch)—,[4] pero esta filosofía siempre se distinguió de las matemáticas. El punto de partida de la mayoría de las investigaciones se encontraba en algún autor griego o árabe, aunque, a decir verdad, el filósofo latino podía dejar esto muy atrás; todos los hechos, argumentos y principios de explicación eran de prestado y todo el saber era en esencia un comentario y una elucidación de lo que habían escrito anteriormente los hombres doctos de mayor talento. Por medio de grandes tratados se seguían los análisis refinados y el delicado trazado de distinciones sin ver el mundo real desde una perspectiva nueva; de hecho, gran parte de la «filosofía natural» de la Edad Media (incluyendo la del «Calculador») se ocupa de experimentos relacionados con el pensamiento. Puede que sea mentira que santo Tomás de Aquino reflexionase sobre cuántos ángeles cabían en la punta de un alfiler, pero no hay duda de que se hizo la siguiente pregunta: ¿qué le sucedería a una piedra que cayese en el hueco entre las dos mitades de la Tierra, si ésta pudiera dividirse y las dos partes quedasen separadas por un pie? Hay pruebas de que se llevaban a cabo observaciones muy pequeñas, de primera mano, de animales y plantas en medio de la falta casi total de interés por las cosas vivas; y es indudable que se realizaban experimentos en la tradición óptica. Otro gran momento del empirismo fue *Epístola sobre el imán* de Petrus Peregrinus, de 1269. Ciertamente, los lógicos medievales aceptaban la observación directa como prueba de la veracidad de una proposición y reconocían que podía formularse una generalización por inducción partiendo de observaciones repetidas; pero la aplicación de semejante metodología a más de uno o dos casos excepcionales tuvo que esperar hasta la revolución científica.[5] La investigación de fenómenos era un ejercicio intelectual que debía hacerse sobre el papel y no un ejercicio experimental que tenía que llevarse a cabo buscando información nueva. Durante la Edad Media hubo tres grandes innovaciones técnicas que podríamos calificar de «científicas»: la utilización de la pólvora, de la brújula y de las gafas. Las dos primeras se introdujeron en Europa desde, en última instancia, China; la última nació del interés que los filósofos latinos sentían por la luz y la visión, que les hizo reparar en que Alhazen había utilizado lentes

4. *Dictionary of scientific biography*, XIII, p. 208, col. 2.

5. A. C. Crombie, *Robert Grosseteste and the origins of experimental science*, Clarendon Press, Oxford, 1953.



de aumento primitivos. Con todo, parece ser que la invención de las gafas se la debemos a algún hombre sensato y astuto y, ciertamente, no a una de las grandes autoridades de la óptica, Roger Bacon por ejemplo.[6]

¿En qué cambió el carácter del saber, especialmente en los siglos XV y XVI? Algunos de los cambios de perspectiva son muy sutiles: sería ciertamente una equivocación suponer que los filósofos de la naturaleza en 1600 eran cristianos menos devotos que los de tres siglos antes, pero en aquel período el cristianismo occidental y sus relaciones con la filosofía habían experimentado cambios profundos. Por otra parte, simplificaríamos demasiado si presentáramos la revolución científica como una revuelta contra Aristóteles, pues, por el contrario, las ideas y el ejemplo aristotélicos todavía podían estimular la innovación creativa, como en el caso de William Harvey. Sin embargo, algunos aspectos son bastante obvios y de gran alcance. Tal vez lo más importante de todo fuera el cambio habido en la base cultural. La mayor parte de la herencia intelectual de la Edad Media la habían formado los traductores del siglo XII que trabajaban en Toledo y otros centros de habilidad multilingüe: traducciones posteriores, y mejores (como las que Guillermo de Moerbeke hizo directamente del griego al latín para santo Tomás de Aquino), tendían a tener poca circulación, y lo que no se tradujo al principio, como las obras de Arquímedes y la preponderancia de Galeno, no formó parte de la citada herencia. De este modo se perdió gran parte de la mejor ciencia técnica de los griegos, aunque los comentarios árabes sobre ella estaban mucho mejor representados. Del Doctor en Medicina que aparece en los *Cuentos de Canterbury* Chaucer escribió:

> Bien conocían al viejo Esculapius,
> y a Deyscorides, y a Rufus,
> al viejo Ypocras, Haly y Galyen,
> Serapion, Razis y Avicen,
> Averrois, Damascien y Constantyn,
> Bernard y Gatesden y Gilbertyn.

Quince autoridades, sus nombres más o menos corrompidos: cinco griegos (uno de ellos mítico, por supuesto), siete árabes, un fran-

6. Edward Rosen, «The invention of eyeglasses», en *Jour. Hist. Medicine and Allied Sciences*, XI, 1956, pp. 13-46, 183-218.

cés y dos ingleses. El contingente árabe era el más numeroso y con mucho el más voluminoso. El Renacimiento hizo que saliera a la luz una inmensa cantidad de literatura clásica olvidada —gran parte de ella transcrita en los siglos inmediatamente posteriores a la invasión de los bárbaros— en los griegos Arquímedes, Galeno, Ptolomeo, Platón, en los latinos Celso y Lucrecio, por ejemplo. La lengua griega, casi olvidada en la Europa occidental, resucitó y dio a los estudiosos una sensación de contacto inmediato y vívido con la más filosófica de las sociedades antiguas.

Los árabes se vieron injustamente arrinconados y tachados de simples chapuceros. El médico y teólogo radical Miguel Servet escribe (1537) acerca de la brillantez de Galeno, quien, «otrora vergonzosamente incomprendido, ha renacido y se acredita de nuevo para brillar con su esplendor de antaño» y quien «ha liberado la ciudadela que había estado en poder de las fuerzas de los árabes y purificado las cosas mancilladas por las sórdidas corrupciones de los bárbaros».[7] Los filósofos renacentistas coincidían plenamente con los medievales en que el hombre moderno debía buscar una base firme en las enseñanzas de la antigüedad, pero debía buscarla directamente, haciendo caso omiso de todo lo escrito entre medias, y de una manera menos restringida. El héroe del Renacimiento fue Platón, más que Aristóteles, especialmente en Toscana; de manera análoga, pero más adelante, otros tomaron el atomismo de Epicuro y Lucrecio con preferencia a la teoría cualitativa de Aristóteles. Dioscórides fue otro de los grandes héroes: la botánica del siglo XVI se fundó en el estudio de sus obras. Se leía y citaba a los filósofos presocráticos, así como a los pitagóricos. Copérnico encontró en Plutarco —otro descubrimiento renacentista— y citó en griego la información de que el pitagórico Filolao suponía que la Tierra se movía, como hicieran también Heráclides y Ecfanto; también hace alusión a Aristarco de Samos, Anaxágoras, Empédocles y Leucipo, demostrando con ello su conocimiento de una gran tradición que la Edad Media virtualmente nunca había tenido en cuenta. Nuevos horizontes trajeron nuevas variedades de pensamiento y nuevos problemas que desenmarañar.

La más poderosa influencia filosófica que se hizo sentir en el siglo XV, la de Platón, empujó a la gente hacia las matemáticas; no

7. «The Syrups», en C. D. O'Malley, *Michael Servetus*, American Philosophical Society, Filadelfia, 1953, pp. 60-61.



saber geometría era una vergüenza. El redescubrimiento de las antiguas matemáticas puras y aplicadas empujaba en la misma dirección. En los mil años o más transcurridos desde el final de las matemáticas griegas, un marciano que quisiera encontrar un genio matemático hubiese tenido que buscar en la India (especialmente), en China o en el islam, pero no en Europa. Todo esto iba a cambiar: las matemáticas propiamente dichas y su pariente próximo, la astronomía, florecerían con una rapidez insólita en Europa. El álgebra por un lado y la trigonometría por el otro hicieron grandes progresos al mismo tiempo que las matemáticas eran aplaudidas por doquier como la clave de la navegación y la exploración, de la ciencia militar, de la geografía (que se estaba librando rápidamente del legado de los cuentos de los viajeros) e incluso de la estética. Niccolò Tartaglia (1500-1557) ilustra todas las nuevas tendencias en sus escritos: fue el primero en brindar la solución de las ecuaciones cúbicas, estudió la trayectoria de los proyectiles y produjo la primera edición de Arquímedes. Sin embargo, el mayor interés general lo tiene la idea de que las matemáticas ofrecen una clave sin igual para comprender la naturaleza de las cosas; con todo, ésta no era una idea *única*, toda vez que poseía dos ramas principales y distintas: en primer lugar, el convencimiento de que la naturaleza es inherentemente matemática, porque Dios geometriza eternamente o, como dice Leonardo da Vinci, «la proporción no sólo se encuentra en los números y las medidas, sino también en los sonidos, los pesos, los tiempos, las posiciones y en cualquier facultad que fuere». Esto quiere decir que no sólo podemos esperar que la naturaleza esté ordenada racionalmente de algún modo porque, de no estarlo, sería inútil tratar de entenderla y porque (como recalcó Descartes), de no estarlo, Dios estaría engañando a los hombres, lo cual es imposibe, sino que también podemos esperar que esta racionalidad esté realizada matemáticamente. Y, en segundo lugar, existe el convencimiento puramente lógico de que el razonamiento matemático es el más seguro de los que disponemos; citando de nuevo a Leonardo: «No hay ninguna certeza allí donde uno no puede aplicar ninguna de las ciencias matemáticas ni ninguna de aquellas que se basan en las ciencias matemáticas».[8] Galileo, entre muchos otros, también puso de relieve estas dos características de las mate-

8. Edward MacCurdy, *The notebooks of Leonardo da Vinci*, Cape, Londres, 1948, I, pp. 634, 636.

máticas: él creía que el Libro de la Naturaleza está escrito en la lengua de la geometría y también opinaba que la prueba matemática de una proposición es, lógicamente, la mejor que podemos tener. Ninguna de estas tesis se tenían en cuenta en la antigüedad; no es que la fuerza de, por ejemplo, una demostración geométrica se considerase más dudosa en la antigüedad que en los tiempos modernos, sino que se trata más bien de que los antiguos suponían que el razonamiento de tipo matemático era inapropiado fuera de los contextos estrictamente matemáticos (uno puede comparar esto con el moderno bulo según el cual hay mentiras, mentiras redomadas y estadísticas). Había buenos motivos para este punto de vista aparentemente perverso: la conclusión física de un argumento formulado matemáticamente es sólo tan buena como las premisas físicas en que se basa; no es lícito argüir que una conclusión física tiene que ser cierta porque el argumento matemático es bueno. Los filósofos griegos afirmaban que los axiomas físicos postulados por los matemáticos —como, por ejemplo, que los planetas se mueven de manera uniforme en órbitas perfectamente circulares— eran tan inciertos o, para ser más exactos, ofrecían una variedad tan grande de interpretaciones, que no era posible creer confiadamente en nada que se basara en ellos. Comprendían (correctamente) que pueden construirse modelos matemáticos diferentes en correspondencia con los mismos principios físicos, y que estos modelos diferentes pueden —de hecho, para ser comparables, deben— generar numerosas conclusiones o predicciones idénticas. (En principio, cabe que pueda descubrirse una infinidad de tales modelos matemáticos equivalentes.) En consecuencia, siendo incapaces de decidir si en el cielo existen realmente (pongamos por caso) círculos excéntricos o epiciclos, los antiguos rechazaban las matemáticas como guía para llegar a la verdad, excepto, tal vez, heurísticamente. Al parecer, un análisis literario superaba a un análisis numérico en probabilidades de dar una respuesta en la que se pudiera confiar: es decir, las imágenes verbales parecían más definibles y, por lo tanto, más realistas que los modelos matemáticos. El matemático de la antigüedad, además, sólo podía tratar aspectos más bien simples y estrechos de un tema: círculos en astronomía, rayos de línea recta en óptica y perspectiva, proporciones en música; y la realidad parecía siempre más rica y sutil que estas abstracciones artificiales. En música, por ejemplo, las notas del ejecutante parecen fundirse armoniosamente unas con otras, aunque los matemáticos (aquí, una vez



más, Ptolomeo) enseñan que es imposible dividir la octava en ocho notas iguales. El griego, resumiendo, sabía muy bien que los elementos teóricos empleados en un modelo matemático pueden no existir y que el modelo ofrece únicamente una explicación *posible*, no *definitiva*, del fenómeno: como dice el comentarista aristotélico Simplicio, los astrónomos

> no han podido establecer en qué sentido, exactamente, las consecuencias que entrañan [sus] disposiciones [geométricas] son meramente imaginarias y en absoluto reales. De modo que se contentan con afirmar que es posible, por medio de movimientos circulares y uniformes, siempre en la misma dirección, salvar los movimientos aparentes de las estrellas errantes.[9]

Dicho de otro modo, la ciencia matemática no podía explicar las cosas revelando la estructura de la realidad y su lógica interior; sólo podía dar la posibilidad de predecir los resultados futuros partiendo de antecedentes establecidos.

Desde entonces se han seguido debatiendo los modelos matemáticos y su acceso a la realidad. Durante el Renacimiento, no obstante, muchos matemáticos como Copérnico y Kepler y algunos filósofos como Galileo sancionaron un punto de vista que era tal vez más ingenuo que el de los griegos, pero que también era mucho más creativo, como hemos visto en Leonardo. Afirmar que ninguna teoría sobre la realidad puede existir en forma matemática es una restricción paralizante; el Renacimiento rechazó esta restricción, afirmando que era una empresa útil buscar teorías matemáticas a las que también —en virtud de criterios metafísicos— pudiera suponerse «reales». El principal ejemplo de esto es Copérnico, que explicó que había abandonado todas las teorías matemáticas que existían sobre el movimiento planetario no porque fueran incapaces de «salvar los fenómenos», sino porque (siendo a la vez incompletas y contradictorias) no ofrecían una descripción real de los cielos; sin embargo, la teoría matemática basada en la hipótesis de movimiento de la Tierra es no menos válida matemáticamente para «salvar los fenómenos», es congruente y tiene otras ventajas tales como la de situar definitivamente todos los planetas en un orden espacial; puede, por consiguiente, tomarse como

9. P. Duhem, *To save the phenomena* (trad. de E. Doland y C. Maschler), University of Chicago Press, Chicago, 1969, p. 23.

«real» a los ojos de Copérnico. Kepler se mostró aún más explícito al argüir que el acertado modelo matemático de la realidad, lejos de ser arbitrario, es el único capaz de explicar ciertos rasgos del universo, tales como el número seis para los planetas (incluyendo la Tierra).

Esta característica de la ciencia renacentista —fundirse insensiblemente con la «física matemática» (la expresión sigue siendo anacrónica, por supuesto) del siglo XVII— se ha calificado de diversas maneras: calificarla de «platonismo redivivo» pone de relieve el concepto más estático del orden matemático o la arquitectura en la naturaleza y encuentra su éxito más obvio en la cristalografía; calificarla de «pitagorismo redivivo» acentúa el concepto más dinámico de la teoría articulada matemáticamente con un matiz más esotérico (pues los pitagóricos, como recordó Copérnico, mantenían sus descubrimientos en secreto), mayor interés por cómo se producen los fenómenos, que por la composición del mundo, o, de manera más sencilla, cabe hablar con Alexandre Koyré de la «matematización» de la naturaleza. La defensa más elocuente y completa de este proceso la hizo Galileo, cuya «matematización» de la ciencia del movimiento de los cuerpos reales proporcionó un modelo para la ciencia física en general durante el siglo siguiente.

Aunque este abandono de la forma de explicación verbal por la matemática sea el principal cambio epistemológico del Renacimiento, no es, desde luego, el único, ni el único cambio intelectual que haya afectado a la ciencia. La tendencia introspectiva, respetuosa consigo misma, del pensamiento medieval se debilitó: si al hombre se le seguía viendo como el microcosmos, esto hacía que el macrocosmos, el universo, fuera más en vez de menos interesante. Si la naturaleza era aún el teatro de Dios donde se representaba el drama humano, esta sabiduría, esta bondad y esta providencia donde mejor se descubrían era en la comprensión científica y la veneración más profundas de esta maravillosa creación. Como dice Francis Bacon:

> ... todo el conocimiento y especialmente el de la filosofía natural tiende en gran medida a magnificar la gloria de Dios en su poder, su providencia y sus beneficios; aparece y está grabado en sus obras, las cuales sin este conocimiento se contemplan sólo como a través de un velo.[10]

10. F. Bacon, en J. M. Robertson, ed., *Philosophical works*, Routledge, Londres, 1905, p. 209.



Y el Renacimiento, en especial Bacon, tendió de forma creciente a recalcar un aspecto anteriormente olvidado de esta idea: todo lo que hay en la naturaleza lo había creado Dios para el uso o la instrucción del hombre, estos «mensajes» sólo debían descifrarlos, por así decirlo, aquellos que entendieran la naturaleza, y, por ende, la ciencia puede y debería mejorar la utilidad de la naturaleza para el hombre, cumpliendo así la intención providencial de Dios. ¿Acaso no había incontables secretos en la mecánica o en el tratamiento de los metales, por ejemplo, que, una vez descubiertos por los hombres, podían facilitar y enriquecer grandemente sus vidas? El campo más obvio para semejante mejora, sin que fuera previsible ningún demérito en compensación, era la medicina; el Nuevo Mundo en especial debía de estar provisto de incontables plantas de valor medicinal, pocas de ellas descubiertas ya por los indios nativos, que Dios seguramente había creado para que fueran valiosas para los europeos a quienes Él había permitido descubrir y ocupar aquellas tierras hasta entonces ocultas.

La exploración geográfica y la expansión territorial habían sido manifestaciones espectaculares, enérgicas de una Europa que de muchas maneras estaba abandonando su talante pasivo por otro activo. El temor al turco feroz duraría, en forma de legado anticuado, hasta el siglo XIX, pero la Europa cristiana se encontraba ahora en las postrimerías del XV y entrando en una fase de más de cuatro siglos de duración en la que no necesitaría temer a las presiones de grandes potencias exteriores. Carlo Cipolla ha explicado bien de qué modo Europa, gracias a su superioridad técnica en el arte de la guerra, obtuvo el dominio del comercio a escala mundial, así como el poder que permitió a un puñado de hombres someter al imperio azteca.[11] El agresivo europeo era a la vez escéptico y supersticioso, tolerante y de miras estrechas, bárbaro y culto. Una parte de él rechazaba el mundo no europeo por salvaje, absurdo o ineficaz, pero otra parte ansiaba admirar y tomar en préstamo: la porcelana primero, por ejemplo, luego la costumbre de beber té. De modo especial, al europeo le impresionaba la habilidad artística de los pueblos extraños: los trabajos con plumas de los aztecas (su oro, sin embargo, se limitaba a fundirlo en barras), las alfombras persas, las sedas y los algodones indios, pero no encontraba nada que pudiera competir con la industria sólida, práctica de su propio continente, o con su perspi-

11. Carlo Cipolla, *Guns and sails*, Collins, Londres, 1965.

cacia para los negocios, o con su ciencia. Antes de que transcurriese un siglo desde que se doblara el cabo de Buena Esperanza y desde el descubrimiento de América, el europeo empezó a verse a sí mismo como el gran inventor práctico que había adquirido poder y riqueza gracias a la combinación de sentido común, destreza manual y conocimiento natural. Filosóficamente, quien mejor presenta esta visión es Francis Bacon, escribiendo, por ejemplo, en el primer aforismo de su *Novum organum*: «El hombre, siendo el servidor e intérprete de la Naturaleza, puede hacer y comprender tanto y tanto sólo como haya observado de hecho o pensamiento del curso de la naturaleza; más allá de esto no sabe nada ni puede hacer nada». Pero, visual y simbólicamente, donde mejor se ve es en *Nova reperta* («Nuevos descubrimientos») de Jan Stradanus (*c.* 1590), serie de grabados que muestra la maestría europea en la fabricación de cañones, la imprenta, la fuerza eólica e hidráulica, la brújula y el magnetismo, la elaboración de papel, la fabricación de gafas, la pólvora, el arte de tejer seda y otros muchos oficios, ninguno conocido de los antiguos aunque gran número de ellos ya existían mucho antes del Renacimiento.[12] Aparte del interés de los griegos por el análisis matemático de las máquinas, los siglos XV y XVI fueron los primeros en los que hubo interés literario consciente por los oficios y la tecnología (arquitectura, máquinas, asuntos militares y navales, hidráulica, metalurgia y minería; de hecho, virtualmente toda la gama sin excluir la agricultura (que produjo multitud de libros impregnados por la creencia de que la innovación y el perfeccionamiento de las técnicas eran tan posibles como necesarios. De Agrícola a Zonca, los autores insistieron en que el aprovechamiento de la naturaleza por el hombre es casi tan maravilloso como la naturaleza misma.

En modo alguno todos estos expertos técnicos —a los que también podríamos llamar propagandistas— tenían fe en el saber abstracto o académico: algunos, como Bernard Palissy, el ceramista, y Paracelso, el médico y químico, se burlaban abiertamente del conocimiento basado en los libros y de su futilidad. De hecho, el incremento del progreso técnico y de la inversión de capital que llevó a Europa a las puertas de la revolución industrial en los siglos XVI y XVII lo mantuvieron hombres prácticos, ingenieros e industriales, más que los

12. Una reedición útil de estos grabados fue publicada por la Burndy Library, Norwalk, Connecticut, hacia 1950.



eruditos que (a veces) escribían los libros; los anónimos precursores de Thomas Newcomen y Abraham Darby. De aquí que los hechos reales del progreso técnico, así como la percepción contemporánea de los mismos como un ideal a que aspirar —cosas ambas que pueden exagerarse, pues todavía son invisibles en la literatura de imaginación, por ejemplo—, mantengan una relación enigmática con la ciencia. Durante el siglo XVII, siguiendo a Bacon, la utilidad de la ciencia para los aspectos prácticos de la vida humana se convertiría en un tópico propagandístico, pero los beneficios eran siempre futuros más que actuales. Antes de 1660, de todos modos, los beneficios directos que cabía enumerar como frutos del renacer científico eran escasos y dudosos; pues de los avances médicos, por poner un ejemplo favorito, innovaciones como las gafas, batir la catarata o abrir a causa de un cálculo parecen surgir tanto de la osadía y la destreza manuales como de la teoría, y otras, vistas desde nuestra perspectiva, parecen tal vez más poderosas por su acción sobre las excreciones naturales del cuerpo que por curar verdaderamente las enfermedades. Y allí donde el empuje del cambio científico parece más vigoroso quienes lo llevaron a cabo parecen (en la medida en que ahora podemos observarlo) no haberse preocupado mucho por las posibles aplicaciones a la artesanía o la industria. Se advierte más a menudo el deseo de resolver viejos problemas intelectuales que el deseo de resolver nuevos problemas técnicos. La mentalidad renacentista no creía necesario adquirir conocimientos *nuevos* para ejercer mayor control sobre la naturaleza; a decir verdad, en la magia, que tanto las gentes cultas como las sencillas consideraban todavía como la clave más obvia para alcanzar tal control, lo único que se pretendía era emular el poder conseguido por los magos de la antigüedad. De manera análoga, muchos matemáticos y filósofos naturales, sin excluir a Newton, creían estar recuperando una sabiduría que había permanecido extraviada durante mucho tiempo, más que descubriendo algo fundamentalmente nuevo. Hasta en un caso aparentemente tan sencillo como el de Francis Bacon es, por lo tanto, anacrónico (como ha señalado Paolo Rossi) [13] detectar un hilo del pensamiento tan ingenuo como éste: la investigación trae conocimientos nuevos, los conocimientos nuevos engendran nueva tecnología. Aún no se había expresado el concepto de que el aparato técnico de la sociedad era capaz

13. Paolo Rossi, *From magic to science*, Routledge, Londres, 1968.

de adquirir por sí solo una perfección cada vez mayor. Quizá sea más prometedor considerar la fertilidad latente en los campos «mixtos» del saber que el Renacimiento comenzó a promover, no sólo en varias formas de matemáticas aplicadas, sino también en las ciencias de la tierra y el mar, la mecánica, la «química» y la «fisiología», esta última a punto de dejar de ser un mero equivalente especulativo de la anatomía.

En estas nuevas disciplinas «mixtas» la estructura teórica era débil, a la vez que el contenido empírico era fuerte aunque incoherente. Aquellos que más criticaban el antiguo saber basado en los libros eran también los que tributaban alabanzas más encendidas al saber de los agricultores, los mineros, los alfareros (personas todas ellas que conocían los productos del suelo), o de los bañeros, los herbolarios y los alquimistas (personas que conocían las propiedades curativas de las aguas minerales y de otras clases, de las plantas y de los minerales), de los sopladores de vidrio, los carpinteros y los calafates, y los metalarios (personas que conocían las propiedades de los materiales). No les importaba que este saber estuviese desorganizado y que a menudo no fuera digno de confianza, pues al menos marchaba por senderos que los hombres doctos no habían recorrido anteriormente. Historiadores modernos como Edgar Zilsel [14] y Cyril Smith [15] han argüido que algunos campos nuevos para la investigación, como el geomagnetismo y la metalurgia (aunque estas etiquetas sean anacrónicas), surgieron casi enteramente de raíces como éstas; Francis Bacon había dicho más o menos lo mismo y dos generaciones después Robert Boyle señalaría lo que el filósofo de la naturaleza podía aprender del artesano. Parece cierto que esta actitud más ecléctica y menos desdeñosa ante lo que podía considerarse como conocimiento del mundo natural surtió un efecto considerable en la historia natural y estimuló el interés por sus curiosidades (cuevas, minerales extraños, monstruos y prodigios) y, como en la historia de la neumática que comentaremos más adelante, a veces brindaba nuevas ramas de investigación sistemática. No es que esto sucediese por vez primera, ya que en la zoología de Aristóteles había mucha información obtenida de pescadores, ganaderos, apicultores, etcétera, y Ctesibio (el antiguo fundador de la neumática) era hijo de un barbero de Alejandría. Sin embargo, es dudoso que este refrescante soplo de empirismo fuera la causa directa y única de la introducción de la experimentación sistemática en la ciencia: más bien parece que la observación y la experimentación conscientes y controladas se emplearon por vez primera en las ciencias tradicionales (la astronomía, la óptica, la anatomía-fisiología), aunque puede que la química presente un caso bastante distinto. Si pensamos en los primeros experimentos clásicos en el campo de la mecánica (sobre la caída de los cuerpos, los péndulos, el choque), por ejemplo, no parecen relacionados muy estrechamente con las máquinas, aunque, por otra parte, hay que tener presente que el péndulo sí hace su primera aparición en máquinas diseñadas por Leonardo, como dispositivo inercial para el almacenamiento de energía.

14. Artículos aparecidos en *Journal of the History of Ideas*, 1940, reeditados en P. P. Wiener y A. Noland, eds., *Roots of scientific thought*, Basic Books, Nueva York, 1957, pp. 219-280.

15. C. S. Smith, *The pirotechnia of Vanoccio Biringuccio*, Basic Books, Nueva York, 1958, introducción.



Por lo menos en la perspectiva más amplia de la historia, probablemente es inútil tratar de ser demasiado definido en lo que se refiere a la influencia del progreso técnico —que en sí mismo está por encima de toda duda— en la modificación de los ideales y métodos «científicos». Desde luego, la destreza artesanal ensanchó los horizontes de la filosofía; suponer que la ciencia moderna es una amalgamación de destreza artesanal y filosofía equivale a proponer una fórmula demasiado simple y olvidar aquellos aspectos muy importantes —de hecho, preponderantes— de la revolución científica que no tenían nada que ver con la experiencia artesanal. Pero conviene tener en cuenta una dicotomía de dicha revolución que Thomas Kuhn ha señalado: [16] entre las ciencias cuantitativas o matemáticas y las ciencias cualitativas o experimentales. Si examinamos todo el campo del conocimiento natural en tiempos de Newton —e incluso un siglo más tarde, en tiempos de Laplace, la situación era muy parecida—, veremos que no había ninguna definición rigurosa en términos de metodología, epistemología, ideales o cualquier tipo de generalización, que pudiera aplicarse uniformemente a todo el campo: las ramas más precisas de la ciencia, como la astronomía y la mecánica, eran muy distintas en especie de la química o la geología. Sin ser maliciosamente *whig*, es inevitable pensar que la ciencia de Newton se acerca a nuestro propio

16. T. S. Kuhn, *The essential tension*, University of Chicago Press, Chicago, 1977, pp. 31-65.

concepto de la ciencia más que la ciencia de Boyle o, *a fortiori*, de John Woodward. Y no se trata de una cuestión de genio personal o de inventiva metodológica: nadie hubiera podido escribir una obra como *Mathematical principles of geology* en 1700. Surge, pues, esta paradoja: las ciencias que eran más rigurosas en su recurso a los hechos, y más precisas en su articulación teórica, eran las mismas que ya poseían estas características en la antigüedad y en la Edad Media; incluso la mecánica, la más profundamente revolucionaria de todas las formas de conocimiento natural, tenía largos y respetables antecedentes. Por otra parte, los temas de investigación creados o resucitados por el Renacimiento (la química, las ciencias de la tierra, la mayor parte de la biología) seguían siendo primitivos a finales del siglo XVII, desde el punto de vista de la estructura, a pesar de avances relativamente muy grandes. Algunos factores críticos seguían siendo inciertos, dos o más teorías rivales se disputaban la lealtad de los eruditos y abundaban las contradicciones. La «síntesis newtoniana» de la química no se efectuaría hasta alrededor de 1800; la de la geología, hasta alrededor de 1830; y la de la biología, hasta alrededor de 1860. (Por supuesto, ninguna de estas síntesis era matemática por su forma ni por su argumento.) Dicho de otro modo, las ciencias que eran más originales por su carácter en el Renacimiento, de las que más se jactaban los propagandistas contemporáneos y que más notables eran por sus fuertes elementos «mixtos» procedentes de los oficios, más baconianas, como suele decirse, en un sentido fueron las últimas en hacer su crítica transición al modernismo, siguiendo el camino marcado por las ciencias matemáticas o académicas (y, después de Newton, emulándolas conscientemente).

¿Cómo hay que entender la paradoja de que lo tradicional fuera en cierto sentido más revolucionario? Puede parecer trivial que una ciencia arraigada, como la astronomía, por ejemplo, avanzara más rápidamente que la geología: poseía técnicas, expertos asalariados en las universidades y el patrocinio del estado (por ser útil para la navegación). Lo único que podemos decir es que esto no es lo que esperaban la mayoría de los reformadores intelectuales del Renacimiento. (Descartes es una excepción: pero él era un matemático dotado para quien poco contaban el empirismo y la historia natural.) Ciertamente, no era lo que esperaba Francis Bacon: él no buscaba ninguna revolución intelectual en los campos de la astronomía y la mecánica; si Bacon no se percató de lo que estaba sucediendo a su alrededor (en los



escritos de Galileo y Kepler, o la presencia más próxima de William Gilbert y Thomas Harriot), no fue debido a la ceguera, sino al preconvencimiento de que los verdaderos polos de crecimiento del saber científico se encontraban fuera del campo general de las matemáticas, precisamente *porque* dicho campo había sido cultivado durante mucho tiempo hasta alcanzar un punto muerto y estéril. Por decirlo de otro modo, Bacon precisamente *no* previó que el mapa del camino que llevaba a la comprensión de la naturaleza lo trazaría algún «Newton» del futuro, mientras que la generalidad de los historiadores, al mirar hacia atrás, han visto precisamente esto. A partir del siglo XVIII, el newtonianismo (en el sentido más ampio) ha sido considerado como el ideal de la ciencia; por consiguiente, el supremo triunfo de la revolución científica es la consecución de la visión newtoniana del mundo, con la cual, en siglos posteriores, también se hicieron consistentes las ciencias empíricas.

Actualmente esta historiografía impone menos respeto universal que hace treinta años. Hay quienes piensan que la ciencia natural podría o debería haber seguido otra visión del mundo. Les consuela un poco el hecho de que la visión newtoniana resultara demasiado simple. Puede que hablen de indeterminación. Este debate no viene al caso ahora, pues he escrito el presente libro con el convencimiento de que el newtonianismo sí proporcionó el camino histórico hacia el desarrollo de las ciencias que realmente tenemos. Y está claro que, si bien lo que se ha dado en llamar «baconismo» —lo que aquí he llamado el cultivo empírico de las ciencias «mixtas»— hizo aportaciones importantes a la ciencia moderna, no anduvo por el citado camino. Si Galileo, Descartes, Newton (y otros) nunca hubieron oído el nombre de Bacon, la historia se habría visto poco afectada, antes de 1700. Y con esto no pretendo en modo alguno negar la importancia crucial de la reconciliación última, en el siglo XIX, del baconismo y el newtonianismo.

Todo esto depende no sólo de la naturaleza de los materiales a los que deben enfrentarse las diversas ciencias, sino también de la naturaleza de la mente humana que debe hacer frente a estos materiales. Lo que está en juego no es únicamente el problema: ¿son las estrellas más fáciles de entender que las rocas o sucede al contrario? Cuando deja de ser meramente descriptiva, toda la ciencia es básicamente un estudio del movimiento y el cambio, ya se le llame «evolución biológica» o «la expansión del universo». Ocurre que el movi-

miento es algo que la mente occidental (al menos) ha encontrado comprensible, en parte gracias a la posibilidad de asociarlo con el número, y, por ende, el éxito con todas sus manifestaciones es la naturaleza misma de la evolución científica. Ahora bien, el movimiento macroscópico —los movimientos fácilmente discernibles de las cosas grandes— es relativamente fácil de estudiar, al menos hasta que las velocidades se aproximan a la de la luz, y las cosas son tan grandes como las galaxias: esto ha formado la tradición principal de la ciencia física, desde Aristóteles hasta Einstein pasando por Newton. Pero el movimiento microscópico —los movimientos normalmente indetectables en la estructura de las cosas que forman la base de la ciencia de toda la substancia viva e inerte— es casi imposible de desarrollar de algún modo, pero en especial matemáticamente. Aristóteles lo encontró tan imposible que lo rechazó (es decir, rechazó el atomismo) por completo; Newton vio su importancia con claridad cristalina, pero no pudo hacer ningún progreso con ello; los comienzos verdaderos fueron con la química daltoniana y la teoría cinética de los gases. Todavía se recuerdan la gran profundidad de comprensión y la posibilidad de unificación de la teoría desde la física atómica hasta la biología molecular. Cuando hablan de la tradición newtoniana y su éxito, los historiadores, por supuesto, están hablando de cinética macroscópica, pues a nivel microscópico el éxito de Newton fue sólo temporal e ilusorio. En contraste, la ciencia baconiana —en la medida en que es más que una descripción enciclopédica, y, al parecer, la visión del propio Bacon se elevaba en verdad por encima de eso— se ocupaba sólo de la cinética microscópica, la única clase de ciencia cinética que interesaba a Bacon. Como hemos comentado antes, de la cinética macroscópica no hacía el menor caso. «Baconismo», dicho de otro modo, es una etiqueta que podría aplicarse al más recalcitrante de los dos caminos científicos para el estudio del movimiento, cuyo seguimiento resultaría tan complicado y cuyos frutos (en términos de teoría matemática) resultarían tan difíciles de conseguir. Ni siquiera hoy se encuentran unidos los mundos de Bacon y Newton, o de Bohr y Einstein, aunque sí están estrechamente conciliados.

Hay quizás otra razón que explica por qué el éxito de la rama baconiana de la revolución científica fue menos rápido, una razón que, pese a ello, podría pensarse que le dio fuerza. Se trata de sus claras implicaciones sociales. «Profeta de la ciencia industrial», la



etiqueta que Farrington puso a Bacon es absurda, pues Bacon no podía tener la menor idea de la sociedad industrial ni de la industria basada en la ciencia, aunque sin duda creía que el mejoramiento de la condición humana era un objetivo benemérito y alcanzable, y medía el conocimiento de acuerdo con un criterio práctico además de estético. No sólo deploraba los errores cometidos por la filosofía durante muchos siglos, ya que habían dejado a los hombres en estado de ceguera intelectual (no habían sabido producir *luz*), sino que los detestaba por no haber aliviado el dolor y la miseria (no habían dado *fruto*). En la denuncia baconiana de la esterilidad intelectual hay una pasión que no se encuentra, pongamos por caso, en la descripción por Descartes de la ignorancia real de aquellos a los que se suponía cultos. La revolución filosófica que Bacon desea provocar no es sólo de ideas y métodos, sino que pretende alterar todo el rumbo de la historia humana, que ya en la antigüedad había comenzado a desviarse, de tal modo que el potencial del hombre nunca se había realizado plenamente, y que en la Edad Media había retrocedido más y más. Es como si Bacon les dijera a los filósofos: «Arrepentiros: cambiad vuestra forma de proceder antes de que sea demasiado tarde», del mismo modo que los teólogos puritanos harían el mismo llamamiento al pueblo, pensando en el apocalipsis que se avecinaba, y, a decir verdad, del mismo modo que Savonarola, en el decenio de 1490, había instado a los florentinos a arrepentirse, exclamando: «La Espada ha descendido; el azote ha caído; las profecías se están cumpliendo... No soy yo sino Dios quien lo predijo. Ahora ya viene. ¡Ha venido! ».[17] Muchos puritanos ingleses del siglo XVII creían que el Milenio pronosticado en el Nuevo Testamento realmente había empezado con la Reforma protestante, y que ellos estaban viviendo en la era del «Reino que jamás será destruido», la última era de los hombres sobre la Tierra, en la cual, una vez ganada la guerra entre Cristo y el Anticristo, los hombres disfrutarían del dominio de la Tierra y el mar y las estrellas, aceptando la rendición de la Madre Naturaleza. El paralelo con la revolución filosófica de Bacon era natural y atractivo; como dice Charles Webster,[18]

17. C. Hibbert, *The rise and fall of the house of Medici*, Lane, Londres, 1974, p. 185.
18. C. Webster, *The great instauration*, Duckworth, Londres, 1975, p. 1.

> a los protestantes [ingleses] del siglo XVII la búsqueda de una nueva filosofía basada en la experiencia les parecía del todo consecuente con la reforma religiosa. La invención de la imprenta y de la pólvora, y especialmente los viajes de los descubridores, parecían anunciar un renacimiento del saber que concordaba por completo con el previsto paraíso utópico y que, a decir verdad, era capaz de aportar el medio que permitiría convertir las condiciones utópicas en realidades.

Algunas consecuencias de esta identificación de lo filosófico con el milenio religioso aparecerán más adelante; lo que importa de momento es que, si bien dio un empuje temporal y local a ciertos fenómenos intelectuales en Inglaterra, redujo el atractivo del baconismo para aquellos que tenían otras creencias religiosas y una perspectiva filosófica distinta. En Europa las consideraciones metafísicas de Descartes o de Leibniz parecían mucho más pertinentes, como substrato de una visión científica del mundo, que cualquier variedad de milenarismo o utopismo, de manera que, a pesar de las discrepancias inmensas entre Descartes y Leibniz (que eran pensadores muy desemejantes) por un lado y Newton por el otro, tenían más en común unos con otros (a todos les interesaba la cinética macroscópica) que con Bacon. Asimismo, la perspectiva puritana y milenaria gozaría sólo de una breve dominación y su caída arrastraría consigo a gran parte de la fuerza del baconismo.

En el análisis sencillo vemos que la filosofía de Bacon y sus ideales se entrelazaron con un activismo social que, de hecho, no era contrario al espíritu del propio Bacon, aunque éste no era puritano en teología ni en su visión de la historia. Puede que un compromiso como éste dé fuerza a determinada corriente de la ciencia durante un tiempo, pero, al cambiar la sociedad, se convierte en un grillete. La ciencia matemática o «newtoniana», libre de compromiso social, capaz de cualquier tipo de camaleonismo que le permitiera florecer en Londres, París, Berlín o San Petersburgo, era universal. A pesar de su brillante comienzo, el baconismo y la ciencia descriptiva dejaron (en la mente de la mayoría de las personas) sólo el tenue legado del empirismo, *fiat experimentum*, y la anécdota según la cual Francis Bacon murió de un resfriado por rellenar una gallina de nieve. En el continente, la historia natural enciclopédica tuvo que empezar de nuevo con la obra de Buffon y de Alexander von Humboldt; la cinética microscópica, igualmente en el continente, nacería de raíces tan diversas como las estadísticas matemáticas, la química de Lavoisier y los experimentos de hibridación con plantas que realizó Koelreuter, todo ello en el siglo XVIII, y preparando el camino para una «segunda revolución científica» en el siglo XIX gracias a la cual por fin estuvo al alcance de la mano la antiquísima visión de armonía entre los mundos microscópico y macroscópico.