

## Prólogo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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