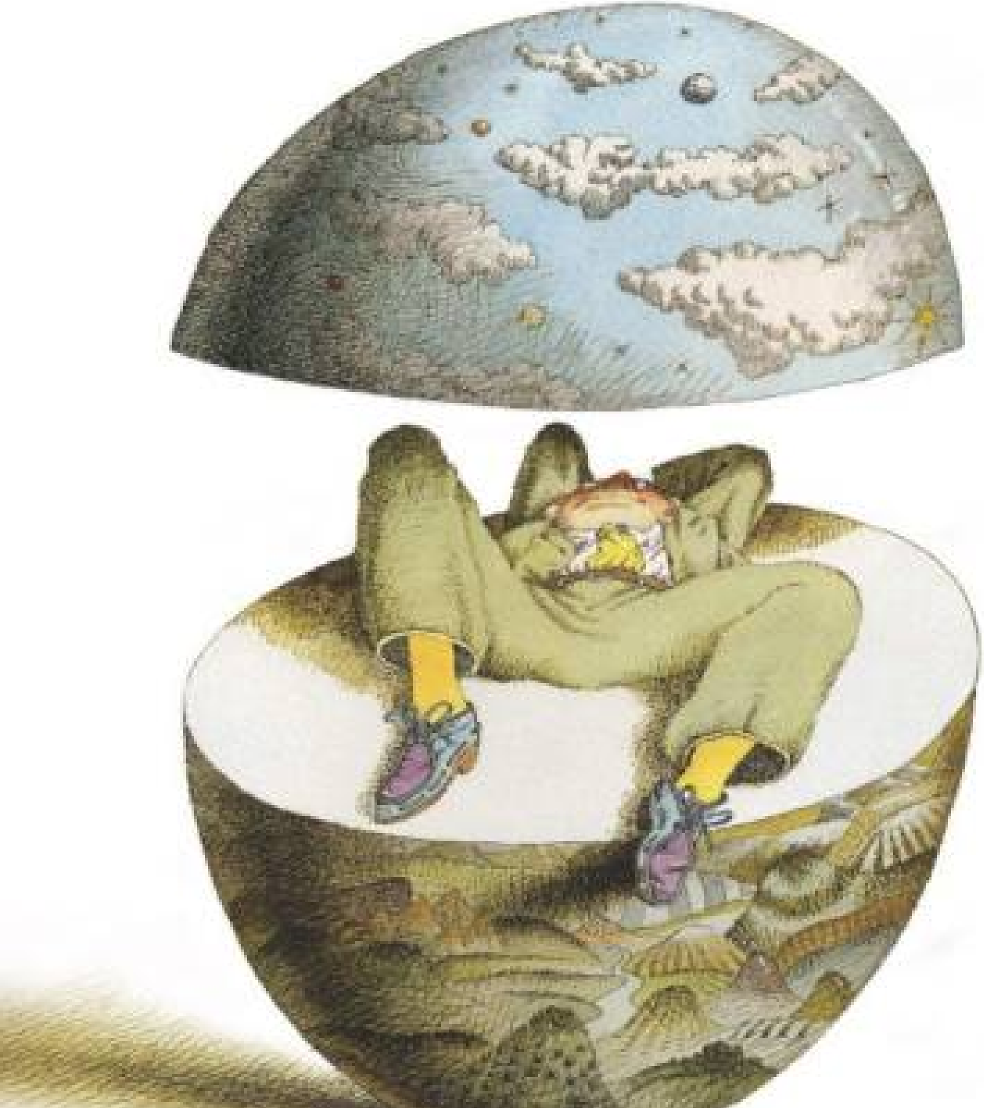
El jardín de Newton

La ciencia a través de su historia

José Manuel Sánchez Ron



¿Qué sería de nuestras vidas si no poseyésemos ningún conocimiento científico, si no dispusiéramos de instrumento alguno construido con la ayuda de la ciencia? ¿Cómo habríamos sobrevivido sin conocer el origen y el comportamiento de las enfermedades que nos afectan? ¿Qué clase de mundo sería el que ignorara la dinámica de los movimientos físicos o las leyes de las combinaciones químicas? Es evidente que sin el conjunto de conocimientos y procedimientos que agrupamos bajo el nombre común de «ciencia», otra, muy distinta, habría sido la historia de la humanidad.

El autor nos acerca a una de las mayores conquistas del género humano: el conocimiento científico. Para ello, el autor no nos habla únicamente de su historia, sino que, manejando con destreza la narración histórica, nos explica los aspectos básicos de las matemáticas, de la física, de la química o de las ciencias naturales y biomédicas, pasa revista a las grandes conquistas científicas que han desafiado el paso del tiempo y recorre las vidas y obras de los grandes protagonistas de la ciencia.

Introducción

Este libro se presentó por primera vez a los lectores en 2001. Hoy (2009) aparece de nuevo ante el público en un nuevo formato. Para esta edición, he revisado completamente el texto, corrigiendo errores y ampliando o clarificando algunos puntos, si bien, en conjunto, la extensión de la obra apenas ha cambiado.

Su contenido reproduce, aunque con modificaciones y ampliaciones, el curso («Aula abierta») de ocho lecciones que dicté en la sede madrileña de la Fundación Juan March entre el 8 de febrero y el 12 de marzo de 2000, bajo el título «La ciencia a través de su historia». Que dispusiera de semejante oportunidad es algo que debo a la gentileza de José Luis Yuste y Antonio Gallego, un detalle más a añadir a muchos otros que tengo que agradecerles. Agradecimiento que en este caso quiero extender a Andrés Berlanga y a su equipo, que prepararon magníficos resúmenes de mis conferencias, publicados en los números 300-307 del *Boletín Informativo* de la Fundación Juan March, y que me han sido de gran utilidad, a Cristina Carretero, por sus atenciones, y también a todos aquellos que asistieron a mis charlas y que me animaron con su presencia, en un número y con una lealtad tal que no olvidaré. El recuerdo de la atención que me dedicaron y el interés que tan patentemente desplegaron durante aquellas sesiones, en el marco incomparable del salón de actos de la Fundación, me acompañará, espero, durante el resto de mi vida, como una de las experiencias más entrañables que he tenido la oportunidad de disfrutar.

Centrándome en el libro en sí, diré que, lejos de lo que podría para algunos indicar su título, únicamente pretende, por un lado, ofrecer un esbozo, muy selectivo (y sin duda incompleto), de cuál ha sido la historia de ese conjunto de procedimientos y conocimientos, que agrupamos bajo el nombre común de «ciencia», que han influido decisivamente en la historia de la humanidad. Piénsese, aunque sea un momento, en lo que serían nuestras vidas si no poseyésemos ningún conocimiento científico; si no dispusiésemos de instrumento alguno construido con la ayuda de la ciencia, si no supiésemos nada del origen y mecanismos de las enfermedades que nos afectan, de las leyes que obedecen los movimientos físicos o las combinaciones químicas. ¿Podríamos en este caso hablar, por ejemplo, de la Antigüedad, o seríamos todavía *antiguos* nosotros mismos? Y no nos engañemos, el conocimiento científico, y sus desarrollos tecnocientíficos subsiguientes, pueden haber dado lugar —y lo han hecho en ocasiones— a consecuencias contraproducentes, pero aun así nuestras vidas son mucho mejores, más satisfactorias, bajo prácticamente cualquier vara de medir, que las de todos aquellos humanos que nos precedieron y cuyo saber científico era radicalmente menor.

Repasar algunos momentos y personajes particularmente destacados de la historia de la ciencia universal debería ser, en consecuencia, una empresa bienvenida, en tanto que nos ilustra sobre una actividad que está estrechamente ligada a nuestra propia historia, y a la que tanto debemos; una actividad, por otra parte, sustancialmente humana, que nos distingue frente al resto de las especies vivas, al menos de las que conocemos en este pequeño planeta de una galaxia que llamamos Vía Láctea.

Me apresuro, no obstante, a señalar que no ha sido mi intención emplear las páginas que siguen para hablar únicamente de historia, aunque, desde luego, la narración histórica es su protagonista principal. He buscado, asimismo, utilizar esta narración para iluminar aspectos básicos de las disciplinas científicas más representativas (matemática, física, química, ciencias naturales y biomédicas). No sólo resultados que, de una manera u otra, han desafiado el paso del tiempo, sino también cuestiones que tienen que ver con los métodos, con los procedimientos, con los «estilos» de los que se han servido los científicos para describir la naturaleza recurriendo a sistemas lógicos. Eso sí, quiero advertir que en mi exposición no se encuentra definición alguna de lo que es *el método científico*. Décadas de intensos esfuerzos por parte de eminentes filósofos (entre muchos otros, Mach, Reichenbach, Carnap, Popper, Lakatos o Kuhn) no nos han ofrecido ninguna respuesta completamente satisfactoria a la, sin duda relevante, pregunta de si la empresa científica obedece a un método concreto, a un método que explique su éxito y fiabilidad. Lo que nos muestra la historia es que ese éxito y fiabilidad es resultado de un conjunto de procedimientos y actitudes en los que el razonamiento lógico —especialmente el matematizado— desempeña un papel central, cierto es, pero no el único papel. Hay que tomar en consideración también elementos más «contingentes» (o «sociológicos»), como individuos, circunstancias, momentos históricos, instituciones, condicionamientos sociales (ideológicos, religiosos, políticos), posibilidades tecnológicas o socioeconómicas, y un largo etcétera, de los que se ofrecen algunas muestras en esta obra. Ningún proceso histórico, y la ciencia lo es en un grado comparable a cualquier otro, se puede entender y reconstruir en base a unas normas independientes del tiempo y el espacio. El paso del tiempo, en especial, crea situaciones nuevas que alteran pautas, expectativas y posibilidades. Por eso la historia nunca —o raras veces— se repite; por eso es un proceso esencialmente dinámico. En cierto sentido se podría decir que si la historia se repitiese es que estaríamos, de alguna manera, muertos. Y, desde luego, la ciencia no ha estado muerta durante, al menos, los dos últimos milenios.

En otras palabras, mi deseo es que, al concluir la lectura de este libro, sus lectores sepan algo no sólo de la historia de la ciencia, sino también de la propia ciencia, de lo que es y representa. Lo que, por supuesto, es más importante: ¿es preciso recordar que no hay historia de la ciencia sin ciencia, y que ésta forma hoy —desde hace mucho, de hecho— parte esencial de la vida, de las sociedades en que vivimos?

1
La matemática, instrumento universal de conocimiento: de Euclides a Gödel

Matemática y ciencia

Aunque no todos los sistemas científicos se expresan en términos matemáticos (pensemos, sin ir más lejos, en *El origen de las especies* de Darwin —¿negará alguien que se trata de una obra científica?—, en cuyos centenares de páginas no aparece ninguna expresión matemática), es indudable que la matemática desempeña un papel muy importante en la ciencia. Los procedimientos y resultados matemáticos poseen una seguridad, claridad e inevitabilidad (una vez fijados los axiomas de partida, por supuesto) tal como no se encuentra en ninguna otra disciplina científica. Precisamente por esa firmeza e inevitabilidad hay quien argumenta que la matemática no es realmente una ciencia, no al menos como lo pueden ser la biología, la química, la fisiología, la geología o la física. Mientras que éstas serían sistemas de proposiciones *a posteriori*, falibles, la matemática sería *a priori*, tautológica e infalible. A pesar de que se pueden encontrar manifestaciones suyas que apuntan en direcciones bastante diferentes, la frase que John Stuart Mill (1806-1873) escribió en uno de sus libros, *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive* (*Un sistema de lógica racionalizadora e inductiva*; 1843), «la lógica no observa, ni inventa, ni descubre; pero juzga», expresa de manera espléndida semejante idea, que de alguna forma refleja el lugar tan peculiar que ocupa la matemática con respecto a las ciencias de la naturaleza.

Sea o no una ciencia, de lo que no hay duda es de que, como apuntaba antes, la matemática desempeña un lugar central en las ciencias de la naturaleza, especialmente en la física. «Sostengo», afirmó Immanuel Kant (1724-1804) en el «Prefacio» de su *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft* (*Fundamentos metafísicos de la ciencia natural*; 1786), «que solamente se encuentra genuina ciencia en una teoría natural especial en la medida en que se encuentre matemática en ella». Una afirmación que aunque exagerada (recordemos el ejemplo de Darwin), posee más de un grano de verdad. En efecto, para cumplir con su objetivo de describir los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza —tarea que incluye predecir las condiciones en que se volverán a producir—, la ciencia, y a su cabeza, en este sentido, la física, intenta recurrir a leyes que se expresan matemáticamente, hasta el punto de que se podría decir que no hay física, tal y como la entendemos en la actualidad, sin matemática.

Pero dejemos todo esto, al menos por el momento, y pasemos a tratar algunos aspectos de la historia de la matemática, dando, como veremos, un papel especial a Euclides y Gödel.

La matemática y la prehistoria de la ciencia

Aunque es difícil establecer algo así como un momento o período del que se pueda decir, «entonces comenzó el largo camino de la ciencia», sí que se puede afirmar que cuando se encuentran los primeros logros con alguna significación científica, éstos estaban relacionados con la matemática. Así ocurre, por ejemplo, con el hallazgo de huesos de animales de bastantes miles de años de antigüedad, provistos de series de muescas, que constituyen auténticas «máquinas de contar» primitivas, y con las que nuestros antepasados estaban sentando las bases de la matemática. Uno de los más conocidos de estos huesos fue el descubierto en la década de 1950 en Ishango, en lo que ahora es Zaire, por Jean de Heinzelin, cuya antigüedad se sitúa entre el 9000 y el 6500 a. C. Con el paso del tiempo, aquellos procedimientos tan simples darían paso a otros mucho más elaborados. Así, y pasando por alto otros sistemas anteriores, cuya influencia posterior ha sido escasa, hay que citar las contribuciones de los sumerios, un pueblo que se instaló en el valle del Tigris y el Éufrates. Hacia el cuarto milenio a. C. los sumerios desarrollaron un sistema de numeración basado en la agrupación en sesentenas o potencias de 60. Este sistema sería transmitido, por mediación de los babilonios y luego de los griegos y los árabes, en la expresión del tiempo en horas, minutos y segundos, y en la de los arcos y ángulos en grados, minutos y segundos. El porqué los sumerios introdujeron una base tan elevada es todavía hoy un misterio, aunque se han manejado varias hipótesis, como la de que eligieron el 60 por su propiedad de ser divisible por los seis primeros números enteros.

En cuanto al sistema decimal, el que finalmente más se extendió, acompañándonos, casi universalmente, hasta la actualidad, se han encontrado rastros de su utilización en épocas y escenarios no muy alejados del de los sumerios: cuando, con la ayuda de la Piedra Rosetta, descubierta en 1799 durante la expedición napoleónica a Egipto, se pudo descifrar la escritura jeroglífica egipcia, se encontró que su sistema de numeración, que data de hace unos 5.000 años, estaba estructurado según la base 10, aunque empleando símbolos que hacían muy engorrosa su utilización.

Contar ha sido siempre una necesidad de los humanos, pero existe al menos otra estrechamente relacionada con lo que más tarde sería el conocimiento científico, una necesidad que surgió según se iban haciendo más complejos los sistemas de organización social. Me estoy refiriendo a la astronomía y al establecimiento de calendarios, dominios relacionados muy estrechamente con la matemática.

La astronomía desempeñó un papel central en el mundo babilónico, el mundo de la dinastía semítica de Hammurabi de Babilonia (de la palabra griega para la ciudad de Babel, al sur del actual Bagdad), que hacia el 1700 a. C. tomó el relevo de los sumerios. Los babilonios colocaron la Tierra en el centro del universo, parece que inventaron el zodiaco y se preocuparon especialmente por conservar registros de los movimientos de la Luna. Introdujeron un año que constaba de 360 días, dividido en 12 meses de 30 días cada uno; además crearon la semana, bautizando los días por el Sol, la Luna y los cinco planetas entonces conocidos. También fueron los responsables de la división del día en dos períodos de doce horas y descubrieron los movimientos aparentemente anómalos (retrogresiones) de algunos planetas —como Marte— y del Sol. Es obvio, por consiguiente, que nuestra cultura es profundamente deudora de los conocimientos e iniciativas surgidos en aquel imperio. Impulsados por estos intereses, avanzaron también en la geometría: sabían, por ejemplo, que los triángulos inscritos en un semicírculo eran rectángulos, y parece que conocían el denominado teorema de Pitágoras (la suma de los cuadrados de los catetos de un triángulo rectángulo es igual al cuadrado de la hipotenusa), aunque como en toda su ciencia lo expresaban a través de casos particulares.

Utilizando como excusa el ejemplo que acabo de citar del teorema de Pitágoras, es importante señalar que otras civilizaciones también mostraron algún tipo de conocimiento de él; lo que quiere decir —es el punto que quiero destacar— que los orígenes de los saberes matemáticos se encuentran mucho más extendidos de lo que muchos piensan, un hecho que puede también tomarse en el sentido de que el tipo de razonamiento que caracteriza a la matemática se halla firmemente enraizado en nuestro sistema cognitivo; esto es, en la mente de los humanos. Así, estudiando altares construidos en India y descritos en el conjunto de escritos conocidos como *Sulvasutras* (expresión que significa «reglas de cuerdas»), que probablemente se remontan a una época no muy alejada de la del propio Pitágoras, se ha encontrado que el conocimiento expresado por el teorema de Pitágoras se utilizó para construir un cuadrado de área igual a la de un rectángulo dado. Asimismo, A. Thom y A. S. Thom descubrieron que en la construcción de monumentos megalíticos situados en el sur de Inglaterra y Escocia se utilizaron «triángulos pitagóricos», esto es, triángulos rectángulos cuyos lados son múltiplos enteros de una unidad fundamental de medida. En un sentido parecido, al comparar manuscritos chinos antiguos con colecciones de problemas matemáticos babilónicos, B. L. Van der Waerden, uno de los historiadores más eminentes de la matemática antigua, encontró tantas analogías que no pudo evitar concluir la posible existencia de una fuente común prebabilónica; en otras palabras: que debió existir ya una matemática en el Neolítico, esto es, entre, aproximadamente, el 3000 y 2500 a. C., que se había extendido desde Europa central hasta las Islas Británicas, el Oriente Próximo, India y China.

El nacimiento de la ciencia: Grecia

En vista de lo anterior, cabe preguntarse por qué nos obstinamos en dar preferencia a los griegos en nuestras exposiciones relativas a la matemática, en particular, y a la ciencia, en general. La respuesta a semejante cuestión no es difícil: en torno a los siglos V-IV a. C., en Grecia, las islas del mar Egeo y Asia Menor se produjo un cambio cualitativo en el análisis de los fenómenos de la naturaleza. «La filosofía —escribió Bertrand Russell (1872-1970) en uno de sus libros de carácter general más apasionantes, *Wisdom of the West* (*La sabiduría de Occidente*)— comienza cuando alguien plantea una cuestión general, y lo mismo sucede con la ciencia. Los primeros que experimentaron esta clase de curiosidad fueron los griegos. La filosofía y la ciencia, tal y como la conocemos ahora, son invenciones griegas.»

En efecto, con anterioridad a los griegos el «conocimiento científico» —y a su cabeza el matemático, el primero en el que se encontraron «verdades» que todavía hoy sostenemos — se expresaba básicamente a través de casos particulares. En esta característica reside la distancia que separaba a babilonios o hindúes y sus contemporáneos y predecesores de lo que es realmente la ciencia: en la capacidad de elevarse sobre situaciones particulares, construyendo leyes, insertas en un sistema lógico-deductivo, que se aplican a —o que se ejemplifican en— un conjunto, cuanto más grande mejor, de situaciones concretas. Aunque los egipcios, que realizaron aportaciones muy notables a la geometría (como calcular el área de un triángulo isósceles o el área de un campo circular), avanzaron en la senda de la abstracción, ninguna otra civilización puede competir en este punto con la helena. Sin exageración, se puede decir que fueron los griegos los que crearon realmente la ciencia, entendida ésta como un cuerpo de conocimientos organizados de manera sistemática, general y racional. Y no sólo inventaron la matemática moderna y la filosofía, y avanzaron sustancialmente en otros dominios científicos (como la astronomía, física y ciencias naturales), también escribieron por primera vez historia, en oposición a los meros anales, y especularon acerca de la naturaleza del mundo y el sentido y fines de la vida, sin verse encadenados por ninguna ortodoxia heredada.

Fue en el dominio de la matemática donde más limpiamente se pueden reconocer algunas de las novedades más importantes introducidas por los griegos en el pensamiento científico. Con anterioridad a ellos, el concepto de *ciencia deductiva* era desconocido; en los documentos que se han conservado de antes del período heleno no aparecen «teoremas» o «demostraciones», ni conceptos tan fundamentales como los de «deducción», «definición», «postulado» o «axioma», de cuya creación sólo ellos fueron responsables.

No resisto la tentación, en este punto, de citar un pasaje de un hermoso libro, *A Mathematician's Apology* (*Apología de un matemático*), escrito en 1940 por el matemático británico Godfrey Harold Hardy (1877-1947):

> Como la historia prueba abundantemente, los logros en matemáticas, independientemente de su valor intrínseco, son los más perdurables. Podemos ver esto incluso en civilizaciones protohistóricas. Las civilizaciones babilónica y asiria han perecido; Hammurabi, Sargón y Nabucodonosor son hoy nombres vacíos, pero las matemáticas babilónicas son todavía interesantes y el sistema sexagesimal de numeración se utiliza todavía en astronomía. Aunque, por supuesto, el ejemplo crucial nos lo proporcionan los griegos. Los griegos son los primeros matemáticos, todavía hoy «vigentes» entre nosotros. Las matemáticas orientales pueden ser una curiosidad interesante, pero las matemáticas griegas son la auténtica realidad. Los griegos utilizaron por primera vez un lenguaje matemático que todavía los matemáticos de hoy pueden entender… Arquímedes será recordado cuando Esquilo haya sido olvidado, porque las lenguas mueren y las ideas matemáticas no.

La precisión y seguridad que proporciona la matemática se alió de forma incomparable con el carácter inquisitivo de la filosofía para estudiar la naturaleza. La primera escuela de «filósofos científicos» surgió en Mileto. En aquel puerto marítimo, Tales (*c.* 640-546 a. C.) se formuló una de las preguntas filosóficas y científicas más básicas: «¿De qué están hechas las cosas?». Y contestó: «De agua», una respuesta no tan absurda si recordamos que el cuerpo humano está formado por cerca del ochenta por ciento de agua. Como matemático, Tales importó de sus viajes a Egipto reglas empíricas para medir terrenos, que le sirvieron para poner los cimientos de la geometría como ciencia deductiva: calculó la distancia entre los navíos desde el vértice de una torre y determinó la altura de una pirámide por la sombra que proyectaba, cualquiera que fuese la posición del Sol. Heródoto escribió que Tales predijo un eclipse de Sol, eclipse que se ha datado como el que tuvo lugar el 585 a. C. A esa época debe pertenecer, pues, aquel filósofo-científico y matemático.

Seguramente contemporáneo de Tales, a quien probablemente visitó, aprendiendo de él, es otro de los nombres inmortales que ha dejado la matemática griega: Pitágoras (*c.* 580-500 a. C.), natural de Samos, una de las islas del Dodecaneso, próxima a Mileto, que abandonó porque no podía soportar el gobierno del tirano Polícrates. Matemático al igual que filósofo, místico lo mismo que racionalista, fundador, tras haber viajado por lugares como Egipto y Mesopotamia, en Crotona (Italia) de una escuela —denominada «pitagórica»— que llegó a convertirse en una especie de grupo religioso, a Pitágoras, o, no se sabe realmente (no se conoce ninguna obra escrita por los pitagóricos), a miembros de su escuela, se deben, junto a su célebre, y ya mencionado, teorema, descubrimientos como el de las relaciones numéricas simples asociadas a los tonos musicales. La cuerda de un instrumento dará la octava si su longitud se reduce a la mitad, mientras que si se reduce a los tres cuartos se obtiene una cuarta, o una quinta cuando es a dos tercios; se tiene, en definitiva, que cuando dos cuerdas de un instrumento musical vibran con sonidos armónicos, sus longitudes se relacionan mediante expresiones numéricas del tipo 1/2, 1/3, 2/3…

Mención aparte merece el hallazgo de los números irracionales, al que llegaron al constatar, como una mera aplicación del teorema de Pitágoras, la inconmensurabilidad de la diagonal y el lado de un cuadrado. Ahora bien, semejante resultado violentaba un aspecto básico de su filosofía científico-religiosa, el carácter fundamental de los números enteros, motivo por el cual parece que lo guardaron en secreto celosamente. Para los pitagóricos, en efecto, todo era una encarnación de los números que se podían determinar con precisión absoluta; éstos eran la esencia del universo, y desarrollaron toda una hermenéutica de ellos.

Tales de Mileto con un discípulo en un manuscrito del siglo XII (Biblioteca Comunal de Rímini).

La fascinación por los números, al igual que la idea de que existe una profunda relación entre ellos y la naturaleza, idea que tanto debe a Pitágoras y a sus discípulos, se enraizaría firmemente en la ciencia posterior, al igual que en numerosas culturas. Ciertamente, en la griega. Un ejemplo en este sentido es el del Partenón de Atenas, en cuyo diseño participaron el escultor y arquitecto Fidias y los arquitectos Calícates e Iatino. El alzado de este famoso templo muestra varias relaciones áureas (por ejemplo, la relación entre la anchura de la fachada y la altura del templo, o entre la altura total y la de las columnas), entendiendo por «razón áurea», o «número de oro», al número 1,618033…, que posee propiedades tan sorprendentes como que tanto su cuadrado como su inverso tienen las mismas cifras decimales que él mismo, o la de ser el límite de una serie formada por el cociente de dos términos sucesivos de la denominada sucesión de Fibonacci (su verdadero nombre era Leonardo de Pisa y vivió entre 1170 y 1250), cuyo enésimo término se obtiene sumando los dos anteriores; esto es: 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55…

Esa «numerización» de la naturaleza constituye de hecho uno de los rasgos característicos del conocimiento científico, bien es cierto que sin llegar necesariamente a los extremos pitagóricos, por mucho que se puedan encontrar ejemplos, como el de Kepler, que llegó a concebir —en libros como *Mysterium cosmographicum* (1596) o *Harmonices mundi* (1619)—, en una visión no muy alejada de la que sostuvo también Platón, una «armonía universal» rigiendo el universo, que según él estaría formado por una serie de esferas, sobre las que se moverían los diferentes planetas, esferas circunscritas por los cinco poliedros regulares (tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro).

El poder, conceptual desde luego, pero también práctico, que conferían los conocimientos matemáticos no pudo por menos que impresionar a los griegos, como todavía nos