

José Manuel Sánchez Ron

El jardín de Newton

La ciencia a través de su historia

¿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.

Título original: *El jardín de Newton*

José Manuel Sánchez Ron, 2009

Imagen portada: Tullio Pericoli: «Bajo las estrellas», 1985

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 cono cimiento 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 Calícatos 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), entendiéndose por «razón áurea», o «número de oro», al número $1,618033\dots$, 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 impresiona a nosotros, más de dos milenios después. Así, en uno de sus *Diálogos*, correspondiente al libro VII de las *Leyes*, Platón (c. 427-347 a.C.) ponía en boca de uno de los dos protagonistas, el Ateniense, las siguientes frases: «hay aún tres materias de estudio para los hombres libres: el cálculo y los números constituyen una disciplina; también el arte de la medida de la extensión y la profundidad forman, como un único ámbito, la segunda materia, mientras que la tercera es el estudio de las revoluciones de los cuerpos celestes, cómo es el movimiento natural de unos en relación con los otros. No es necesario que la mayoría estudie todo eso hasta alcanzar un conocimiento exacto, sino unos pocos». No sería necesario, pero sí que era, añadía, «vergonzoso que el común de los ciudadanos no sepa todo lo que de ellas se dice —y hasta cierto punto con total corrección— que es indispensable para la mayoría».

Y más adelante, ante otra pregunta de Clinias, el Ateniense manifestaba: «Creo que nunca nadie podría llegar a ser en opinión de los hombres ni un dios, ni un espíritu, ni un héroe capaz de cuidar a los seres humanos con seriedad, si no practicara o conociera en absoluto [esas materias]. Estaría muy lejos de ser un hombre divino si no fuera capaz de reconocer ni el uno, ni el dos, ni el tres ni, en general, los pares y los impares, ni supiera contar, ni fuera capaz de calcular la noche ni el día y desconociera las revoluciones de la Luna, el Sol y los demás cuerpos celestes». Estremece pensar que tres mil años después no hayamos sido capaces de cumplir con tan cabal recomendación, obstinándonos en mirar a la matemática como una disciplina que sólo produce dolores de cabeza en nuestros jóvenes escolares.

La fascinación por el círculo

El entusiasmo que despertó entre los griegos el poder conceptual y práctico de la matemática se plasmó de muy diversas maneras. Ya me he referido, a propósito de Pitágoras, a algunas de ellas, pero ahora quiero mencionar otra, que ejercería una poderosa influencia en el desarrollo de la ciencia y la filosofía durante casi dos milenios: la fascinación por el círculo. Utilizaré, de nuevo, a Platón para explicar a qué me refiero, pero antes no está de más decir unas palabras sobre la biografía de esta gran figura de la Antigüedad.

Nacido en el seno de una familia patricia de Atenas, el destino aparente de Platón era el de político, pero bajo la influencia de Sócrates (c. 470-399 a.C.), de quien fue discípulo, llegó a considerar a los políticos con mucho escepticismo, convirtiéndose en filósofo y maestro. Después de viajar durante algún tiempo, ciertamente por Sicilia, tal vez por Egipto, regresó —en el 388 a.C.— a Atenas, en donde estableció su famosa Academia, situada en una gran instalación atlética que había sido utilizada antes por maestros como él.

En las obras suyas que han sobrevivido, como el *Timeo*, la *República* o las *Leyes*, que adoptan la forma de diálogos, apareciendo en todas ellas la figura, idealizada, de Sócrates, Platón nos transmitió aspectos básicos del pensamiento científico heleno: como, por ejemplo, la importancia que tuvo para muchos de los científicos/filósofos de su época la geometría del círculo. Esa importancia se plasmó especialmente en la descripción de los movimientos de los cuerpos celestes, en la que los círculos, las circunferencias, reinaron supremas (pronto, es cierto, en una enmarañada mezcla de epiciclos, deferentes y excéntricas) hasta la llegada de la elipse con Kepler, ya en el siglo XVII.

En los siguientes pasajes de una de sus obras más célebres, el *Timeo*, encontramos algunos de los argumentos que utilizaba en la defensa del círculo, junto a otros que se refieren a la propia naturaleza del universo (como la teoría de los cuatro elementos):

[El] constructor [del mundo] lo ha compuesto... de todo el fuego, de todo el aire, de toda el agua y de toda la tierra, y no ha dejado fuera del mundo ninguna parte de ningún elemento, como tampoco ninguna cualidad. Y lo ha combinado así, primero para que fuera único, sin que fuera de él quedara nada de lo que pudiera nacer otro viviente de la misma clase; y, finalmente, para que se viera libre de vejez y enfermedades. Pues él sabía bien que, en un cuerpo compuesto, las sustancias calientes y frías y, de una manera general, todas aquellas que poseen propiedades energizantes, cuando rodean a este compuesto desde fuera y se aplican a él sin un propósito determinado, lo disuelven, hacen entrar en él las enfermedades y la vejez

y de esta manera lo hacen perecer...

En cuanto a su figura, le ha dado la que mejor le conviene y la que tiene afinidad con él. En efecto, al Viviente que debe envolver en sí mismo a todos los vivientes, la figura que le conviene es la figura que contiene en sí a todas las figuras posibles. Esta es la razón por la que Dios ha constituido el mundo en forma esférica y circular, siendo las distancias por todas partes iguales, desde el centro hasta los extremos. Esa es la más perfecta de todas las figuras y la más completamente semejante a sí misma. Pues Dios pensó que lo semejante es mil veces más bello que lo desemejante.

En cuanto a la totalidad de su superficie exterior, la ha pulido y redondeado exactamente, y esto es por varias razones. En primer lugar, en efecto, el Mundo no tenía ninguna necesidad de ojos, ya que no quedaba nada visible fuera de él, ni de orejas, ya que tampoco quedaba nada audible. No le rodeaba ninguna atmósfera que hubiera exigido una respiración. Tampoco tenía necesidad de ningún órgano, bien fuera para absorber el alimento, bien para expeler lo que anteriormente hubiera asimilado. Pues nada podía salir de él por ninguna parte, y nada tampoco podía entrar en él, ya que fuera de él no había nada. En efecto, es el Mundo mismo el que se da su propio alimento por su propia destrucción. Todas sus pasiones y todas sus operaciones se producen en él, por sí mismo, de acuerdo con la intención de su autor. Pues el que lo construyó pensó que sería mejor si se bastaba a sí mismo, en lugar de tener necesidad de alguna otra cosa. No tenían para él ninguna utilidad las manos, hechas para coger o apartar algo, y el artista pensó que no había necesidad de dotarle de estos miembros superfluos, ni le eran tampoco útiles los pies, ni, en general, ningún órgano adaptado a la marcha.

Unido a las ideas y desarrollos técnicos astronómicos de pensadores como Aristóteles (c. 384-322 a.C.) y Claudio Ptolomeo (c. 90-170), junto a las tesis defendidas por la Iglesia católica, la esencia del planteamiento que hacía Platón en el *Timeo* formaría la denominada visión aristotélico-ptolemaica del universo, que dominó la ciencia del cosmos —y en particular el sistema solar— hasta la llegada de Galileo Galilei, e incluso más allá, si tenemos en cuenta que detrás de las ideas propagadas y popularizadas por Platón se encontraba también la de que la estructura y los movimientos de los cuerpos presentes en la naturaleza obedecían a algo así como una «lógica matemática», entendida ésta no sólo en el sentido, de que, como afirmó Galileo en uno de sus libros, *Il saggiatore (El ensayador; 1623)*, la ciencia «está escrita en el gran libro del universo que se encuentra siempre abierto ante nuestros ojos, [pero ese libro] es incomprensible si uno no aprende antes a comprender su lenguaje y a leer las letras en las que está compuesto. Está escrito en

el lenguaje de la matemática y sus caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin las cuales es humanamente imposible comprender una sola de sus palabras»; entendido, digo, no sólo en este sentido, sino también en el de que esa misma estructura y movimientos debían corresponder a figuras matemáticas «bellas» (un concepto este, por supuesto, completamente subjetivo).



Aristóteles, por Justo de Gante (Museo del Louvre).



Claudio Ptolomeo, por Justo de Gante (Museo del Louvre).

La cumbre de la matemática griega: los *Elementos* de Euclides

La nómina de filósofos-científicos griegos que con sus contribuciones influyeron, condicionándolo, en el desarrollo posterior del conocimiento es larga, muy larga, pero ninguna lista estaría completa si no incluyese un nombre: el de Euclides de Alejandría (c. 300 a.C.). George Sarton, uno de los padres fundadores de la historia de la ciencia moderna, escribió de él lo siguiente (*Hellenistic Science and Culture in the Last Three Centuries B. C.* [Ciencia y cultura helénicas en los últimos tres siglos a.C.]; 1959): «Todos conocemos su nombre y su obra principal, los *Elementos de geometría*, pero sabemos muy poco sobre él. Lo poco que sabemos —y es muy poco— lo deducimos y fue publicado después de su muerte. Esta clase de ignorancia, sin embargo, no es excepcional sino frecuente. La humanidad recuerda a los déspotas y a los tiranos, a los políticos de éxito, a los hombres con fortuna (o a algunos al menos), pero olvida a sus grandes benefactores. ¿Qué sabemos sobre Homero, Tales, Pitágoras, Demócrito...? Más aún, ¿qué sabemos sobre los arquitectos de las catedrales antiguas o sobre Shakespeare? Los grandes hombres

del pasado son desconocidos, incluso aunque hayamos recibido sus obras y disfrutado de sus abundantes bendiciones».

No sabemos de él con seguridad, en efecto, ni las fechas de su nacimiento ni de su muerte; se le denomina «de Alejandría» —la ciudad fundada por Alejandro Magno en la desembocadura del Nilo en el año 331 a.C.— porque es la única ciudad con la que se le puede asociar con seguridad. Probablemente fue educado en Atenas, en la Academia de Platón, uno de los principales centros matemáticos del siglo IV a.C., y seguramente el único en el que pudo haber reunido los conocimientos que aglutinó en los *Elementos*. Cuando la situación política convirtió Atenas en un lugar complicado para vivir y trabajar, se habría marchado a Alejandría. La Alejandría de los Ptolomeos, en donde la filosofía fue un tanto marginada, mientras que florecieron las ciencias y la literatura, en las que los sucesores de Alejandro estaban más interesados. Los *Elementos* —que algunos datan en torno al 325 a.C.— fueron dedicados a Ptolomeo I Sóter, quien se supone fundó la célebre Biblioteca de Alejandría, cuyo segundo bibliotecario, por cierto, fue Eratóstenes (c. 276-196 a.C.), quizá el más grande de los antiguos geógrafos; «un matemático entre los geógrafos», entre cuyas aportaciones científicas se encuentra una técnica para medir la circunferencia de la Tierra.



Teorema de Pitágoras en una traducción de los *Elementos* de Euclides al árabe impresa por la Typographia Medica de Roma en 1594.

Aparentemente, mientras trabajaba en Alejandría, Euclides decidió compilar y sistematizar todos los conocimientos matemáticos realizados hasta entonces, seguramente incluidos muchos en libros que no nos han llegado (sólo ha sobrevivido un tratado matemático completo —*Sobre la esfera en movimiento*— anterior a los *Elementos*, debido a un contemporáneo de Euclides, aunque más mayor, Autólico de Pitania). Fruto de aquella decisión fueron los *Elementos*. No hay, en mi opinión, momento superior en la historia del pensamiento griego que el de la

composición de esta obra, la obra matemática por excelencia, en la que con la precisión, elegancia y saber del cirujano mejor dotado, se compone un acabado edificio de proposiciones matemáticas a partir de un grupo previamente establecido de definiciones y axiomas, que se combinan siguiendo las reglas de la lógica.

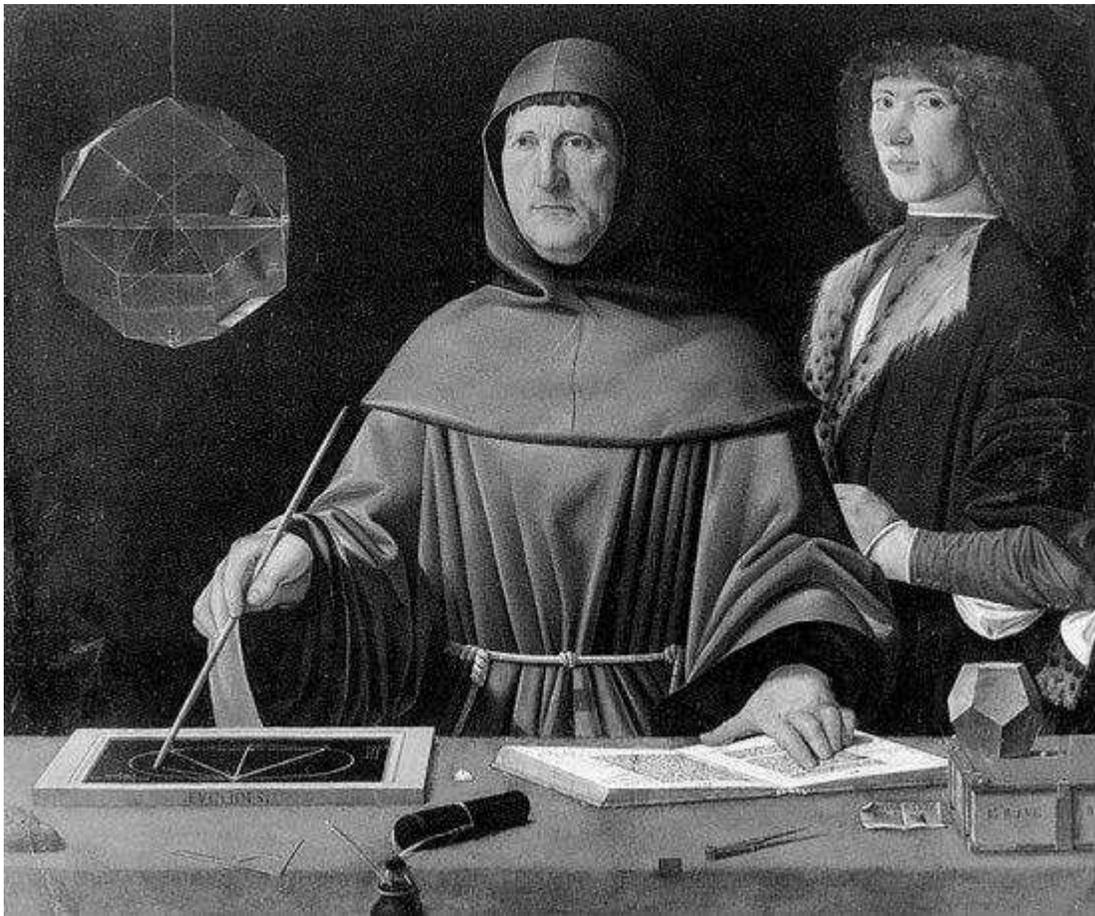
Se trata de una obra formada por trece libros, o capítulos. Los seis primeros dedicados a la geometría plana elemental, los tres siguientes a la teoría de los números (incluyendo una demostración de la infinitud de los números primos), el décimo a los inconmesurables y los tres últimos a la geometría de los cuerpos sólidos (Euclides concluyó que los únicos poliedros posibles eran los ya citados tetraedro, cubo, octaedro, dodecaedro e icosaedro, dotados, respectivamente, de 4, 6, 8, 12 y 20 caras iguales).



Euclides da la bienvenida a estudiantes en la puerta del Círculo en el que Tartaglia está rodeado por Aritmética, Geometría, Música, Astronomía y otras disciplinas matemáticas. Un cañón que se ha disparado muestra las trayectorias definidas por Tartaglia. En el círculo más alejado se sienta Filosofía. En la banda, en la mano de Platón se lee: «Nadie que no sea experto en Geometría puede entrar aquí», mientras Aristóteles se adelanta para recibir a los estudiantes. Lámina de

Nova scientia (Venecia, 1537) de Niccolò Tartaglia.

Merece la pena leer las primeras líneas de este libro grandioso, en las que se encuentra su núcleo básico, sus auténticos pilares fundacionales, aquello que parece tan evidente que tendemos a pensar que son las verdades, los elementos irreductibles de la naturaleza, y, en consecuencia, acaso de nuestro esquema mental también. A partir de ellos, ya sólo resta combinarlos y comenzar a elaborar y a enumerar proposición tras proposición.



Retrato del matemático Fray Luca Pacioli y joven desconocido, de Jacopo de Barbari (primer cuarto del siglo XVI), Museo de Capodimonte (Nápoles).

Euclides, *Elementos*:DEFINICIONES1. Un punto es lo que no tiene partes.2. Una línea es una longitud de anchura.3. Los extremos de una línea son puntos.4. Una línea recta es aquella que yace por igual respecto de los puntos que están en ella.5. Una superficie es lo que sólo tiene longitud y anchura.6. Los extremos de una superficie son líneas.7. Una superficie plana es aquella que yace por igual respecto de las líneas que están en ella.8. Un ángulo plano es la inclinación mutua de dos líneas que se encuentran una a otra en un plano y no están en línea recta.9. Cuando las líneas que comprenden el ángulo son rectas el ángulo se llama rectilíneo. 10. Cuando una recta levantada sobre otra recta forma ángulos adyacentes iguales entre sí, cada uno de los ángulos iguales es recto y la recta levantada se llama perpendicular a aquella sobre la que está.11. Ángulo obtuso es el (ángulo) mayor que un recto.12. Ángulo agudo es el (ángulo) menor que un recto.13. Un límite es aquello que es extremo de algo.14. Una figura es lo contenido por uno o varios límites.15. Un círculo es una figura plana comprendida por una línea [que se llama circunferencia] tal que todas las rectas que caen sobre ella desde un punto de los que están dentro de la figura son iguales entre sí.16. Y el punto se llama centro del círculo.17. Un diámetro del círculo es una recta cualquiera trazada a través del centro y limitada en ambos sentidos por la circunferencia del círculo, recta que también divide el círculo en dos partes iguales.18. Un semicírculo es la figura comprendida entre el diámetro y la circunferencia por él cortada. Y el centro del semicírculo es el mismo que el del círculo.19. Figuras rectilíneas son las comprendidas por rectas, triláteras las comprendidas por tres, cuadriláteras las comprendidas por cuatro, multiláteras las comprendidas por más de cuatro rectas.20. De entre las figuras triláteras, triángulo equilátero es la que tiene los tres lados iguales, isósceles la que tiene sólo dos lados iguales, y escaleno la que tiene los tres lados desiguales.21. Además, de entre las figuras triláteras, triángulo rectángulo es la que tiene un ángulo recto, obtusángulo la que tiene un ángulo obtuso, acutángulo la que tiene los tres ángulos agudos.22. De entre las figuras cuadriláteras, cuadrado es la que es equilátera y rectangular, rectángulo la que es rectangular pero no equilátera, rombo la que es equilátera pero no rectangular, romboide la que tiene los ángulos y lados opuestos iguales entre sí, pero no es equilátera ni rectangular; y llámense trapeacios las demás figuras cuadriláteras.23. Son rectas paralelas las que estando en el mismo plano y siendo prolongadas indefinidamente en ambos sentidos, no se encuentran una a otra en ninguno de ellos.POSTULADOS1. Postúlese el trazar una línea recta desde un punto cualquiera hasta un punto cualquiera.2. Y el prolongar continuamente una recta finita en línea recta.3. Y el describir un círculo con cualquier centro y distancia.4. Y el ser todos los ángulos rectos iguales entre sí.5. Y que si una recta al incidir sobre dos rectas hace los ángulos internos del mismo lado menores que dos rectos, las dos rectas prolongadas indefinidamente encontrarán en el lado por el que están los (ángulos)

menores que dos rectos. NOCIONES COMUNES 1. Las cosas iguales a una misma cosa son también iguales entre sí. 2. Y si se añaden cosas iguales a cosas iguales, los totales son iguales. 3. Y si de cosas iguales se quitan cosas iguales, los restos son iguales. 4. Y las cosas que coinciden entre sí son iguales entre sí. 5. Y el todo es mayor que la parte. Con respecto a la geometría, durante prácticamente dos milenios se aceptó la idea de que la geometría contenida en los *Elementos*, hoy denominada «euclidiana», era la única posible. Sería en el siglo XIX cuando se demostró que el quinto postulado, del que se deduce que «por un punto exterior a una recta sólo se puede trazar otra línea recta en su plano, que pase por el punto y que nunca llegue a encontrarse con la primera línea», no es el único imaginable, siendo posibles otros que dan origen a las que en la actualidad se denominan «geometrías no euclidianas», surgidas de los trabajos de Nicolai Lobachevski (1793-1856), János Bolyai (1802-1860) y Bernhard Riemann (1826-1866).

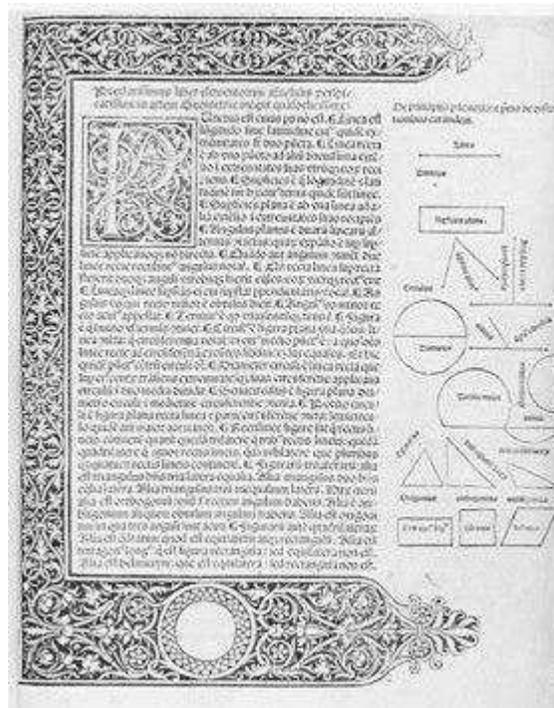
La fascinación ejercida por la matemática euclidiana

Independientemente de sus contenidos o del hecho de que sea la primera obra matemática fundamental que ha llegado hasta nosotros, quiero señalar que —y dejando de lado a obras religiosas como la Biblia— los *Elementos* de Euclides ha sido seguramente el libro de texto que más influencia ha ejercido en la historia de la humanidad. Copiado y editado miles de veces (la primera edición impresa apareció en Venecia —en latín, bajo el título *Praeclarissimus liber elementorum Euclides*, traducida probablemente del árabe por Alejandro de Bath [c. 1260] y revisada por Giovanni Campano de Novara [c. 1260]— en 1482), hasta hace no muchos años ha formado parte de los textos clásicos de enseñanza de muchas escuelas secundarias a lo largo y ancho del planeta. Y, ya fuese en las aulas o fuera de ellas, la claridad de sus demostraciones dejó su impronta en generaciones y generaciones de jóvenes. Una impronta que sirvió al pensamiento en general, a características tan humanas como son las artes de la expresión, el razonamiento y la comunicación. Y, claro está, también a la ciencia y a los científicos. Y entre éstos a los mejores. Como Bertrand Russell y Albert Einstein, quienes dejaron constancia en sus respectivas autobiografías de lo mucho que debían a Euclides. «A la edad de once años —escribió Russell en el primer volumen de sus memorias—, comencé Euclides, con mi hermano como tutor. Este fue uno de los grandes sucesos de mi vida, tan deslumbrante como el primer amor. No había imaginado que existiese en el mundo algo tan delicioso. Después de haber aprendido la quinta proposición, mi hermano me dijo que esta era considerada generalmente difícil, pero yo no encontré ningún tipo de dificultad. Fue la primera vez que se me ocurrió la idea de que acaso tuviese

alguna inteligencia.»



Portada (anotada) de los *Elementos* de Euclides en griego (Basilea, 1533). Edición preparada por el teólogo protestante Simon Grynaeus, profesor de griego en la Universidad de Basilea.



Primera edición impresa de los *Elementos* de Euclides: *Praeclarissimus liber elementorum Euclides* (1482).

Casi a la misma edad, Einstein experimentó una impresión similar, como escribió en su autobiografía (1949):

A la edad de doce años experimenté un segundo asombro de naturaleza muy distinta [el primero fue con una brújula]: fue con un librito sobre geometría euclídea del plano, que cayó en mis manos al comienzo de un curso escolar. Había allí asertos como, por ejemplo, la intersección de las tres alturas de un triángulo en un punto, que, aunque en modo alguno evidentes, podían probarse con tanta seguridad que parecían estar a salvo de toda duda. Esta claridad, esta certeza, ejerció sobre mí una impresión indescriptible. El que hubiera que aceptar los axiomas sin demostración no me inquietaba; para mí era más que suficiente poder construir demostraciones sobre esos postulados cuya validez no se me antojaba dudosa. Recuerdo, por ejemplo, que el teorema de Pitágoras me lo enseñó uno de mis tíos, antes de que el sagrado librito de geometría cayera en mis manos. Tras arduos esfuerzos logré *probar* el teorema ... Solamente necesitaba probar aquello que no me parecía evidente... Esta concepción primitiva, sobre la que seguramente

descansa también la famosa cuestión kantiana en torno a la posibilidad de «juicios sintéticos *a priori*», se basa naturalmente en que la relación entre esos conceptos geométricos y los objetos de la experiencia... estaba allí presente de modo inconsciente. Si bien parecía que a través del pensamiento puro era posible lograr un conocimiento seguro sobre los objetos de la experiencia, el *milagro* descansaba en un error. Mas para quien lo vive por primera vez, no deja de ser maravilloso que el hombre sea siquiera capaz de lograr, en el pensamiento puro, un grado de certidumbre y pureza como el que los griegos nos mostraron por primera vez en la



geometría.

Bernhard Riemann.



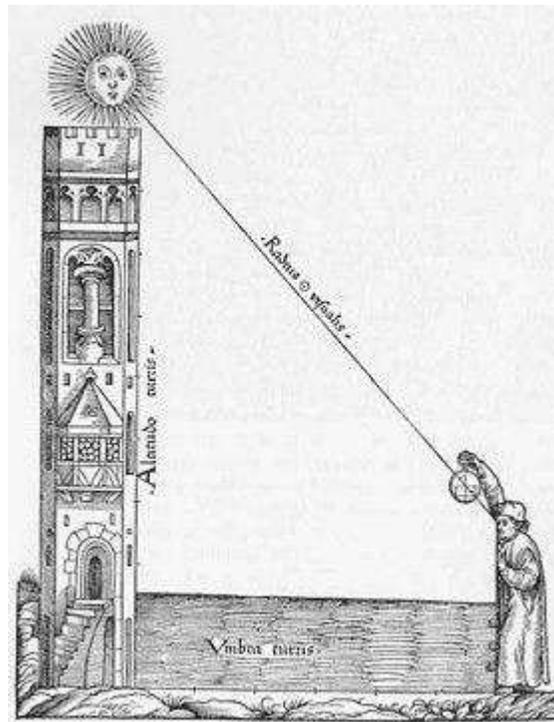
Bertrand Russell, por Augustus John (c. 1913).

Sobre física y matemáticas

Además de mostrar la atracción que podía ejercer sobre algunos espíritus e inteligencias la estructura y rigor lógico de la matemática euclidiana, el anterior texto de Einstein plantea con claridad el problema de la relación de la matemática con las ciencias naturales, al que ya he aludido. En principio, no parece que sea posible, por muy tentadora que resulte la idea, lograr un conocimiento seguro de los objetos de la experiencia, esto es, de la naturaleza, a través del pensamiento puro, encarnado en estructuras y razonamientos matemáticos. La matemática es, sí, un instrumento universal de conocimiento, pero tiene sus límites.

Sucede, sin embargo, que no todos están de acuerdo sobre cuáles son tales límites. O si existen realmente. Y en este punto es oportuno mencionar al científico británico Paul Dirac (1902-1984), uno de los físicos más destacados del siglo XX (entre sus aportaciones se encuentra una de las formulaciones más fecundas y

elegantes de la mecánica cuántica, y la ecuación relativista del electrón, de la que surgió, como consecuencia casi inevitable, la predicción de la existencia de la antimateria). Dirac no compartía totalmente la opinión de Einstein, según la cual es un error pensar que es posible lograr, de manera sistemática, un conocimiento seguro sobre los objetos de la experiencia mediante el pensamiento matemático puro. Para él, en su estudio de los fenómenos naturales el físico tiene dos métodos para progresar: uno, el de experimento y observación, y otro, el de razonamiento matemático. El primero es, escribió en un artículo publicado en 1938-1939 («The relation between mathematics and physics» [«La relación entre matemáticas y física»]), «simplemente la reunión de datos selectos», mientras que el segundo «nos permite inferir resultados de experimentos que no se han realizado». «No existe —añadía— razón lógica por la que el segundo método tenga que ser posible, pero se ha demostrado en la práctica que funciona con notable éxito. Esto debe adscribirse a alguna *cualidad matemática en la naturaleza*, una cualidad que el observador ocasional de la naturaleza no sospecharía, pero que sin embargo desempeña un importante papel en el esquema de la misma.»



La matemática como ciencia práctica: utilizando la geometría para determinar la altura de una torre. Ilustración tomada de Johannes Stöffler (1452-1531), *Elucidatio fabrica ususque astrolabii* («Una explicación de la construcción

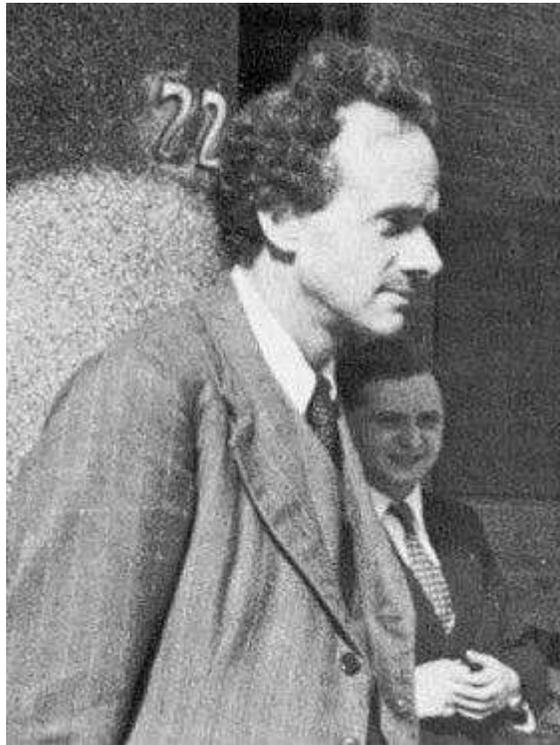
y uso del astrolabio», Tubinga, 1512).



«La matemática y las artes militares», lámina de Walter Ryff, *Der mathematischen und mechanischen Künst* (Nuremberg, 1547).

«Cualidad matemática en la naturaleza», puede querer decir, claro está, cualquier cosa; por ejemplo que el universo está constituido de tal manera que la matemática es un instrumento útil para describir su estructura. Pero para Dirac semejante manifestación era demasiado trivial. «La conexión entre la matemática y la descripción del universo —señaló— es más profunda que esto... La matemática

pura y la física están relacionadas cada vez más estrechamente, aunque sus métodos continúan siendo diferentes. Se puede describir la situación diciendo que el matemático practica un juego en que él mismo inventa las reglas, mientras que el físico practica un juego en el que la naturaleza proporciona las reglas, pero que según transcurre el tiempo se hace cada vez más evidente que las reglas que el matemático encuentra interesantes son las mismas que las que ha escogido la naturaleza. Es difícil predecir cuáles serán los resultados de todo esto. Posiblemente, las dos materias se unificarán en última instancia, teniendo entonces su aplicación física toda rama de la matemática pura, cuya importancia en la física será, por otra parte, proporcional al interés que tenga en la matemática.» Y añadía: «Actualmente, nos encontramos, por supuesto, muy lejos de este nivel, incluso con relación a algunas de las cuestiones más elementales».



Paul Dirac.

Lo que Dirac estaba diciendo es, con otras palabras, que en su opinión en última instancia no es, no será, cierta la creencia generalmente aceptada de que la física se distingue de la matemática porque en aquélla es preciso seleccionar,

eliminar, relaciones matemáticas para las que no encontramos correlatos en la naturaleza; la creencia de que las leyes de las ciencias naturales son un subconjunto de las leyes y estructuras matemáticas. Parece que Dirac pensaba —es, ciertamente, un pensamiento arriesgado— que las ciencias de la naturaleza y la matemática coinciden, de alguna manera, realmente, pero que todavía no se han descubierto todos los fenómenos naturales a los que aguarda su estructura matemática.

Pero dejemos estas especulaciones y volvamos al desarrollo histórico de la matemática.

La era de la certidumbre

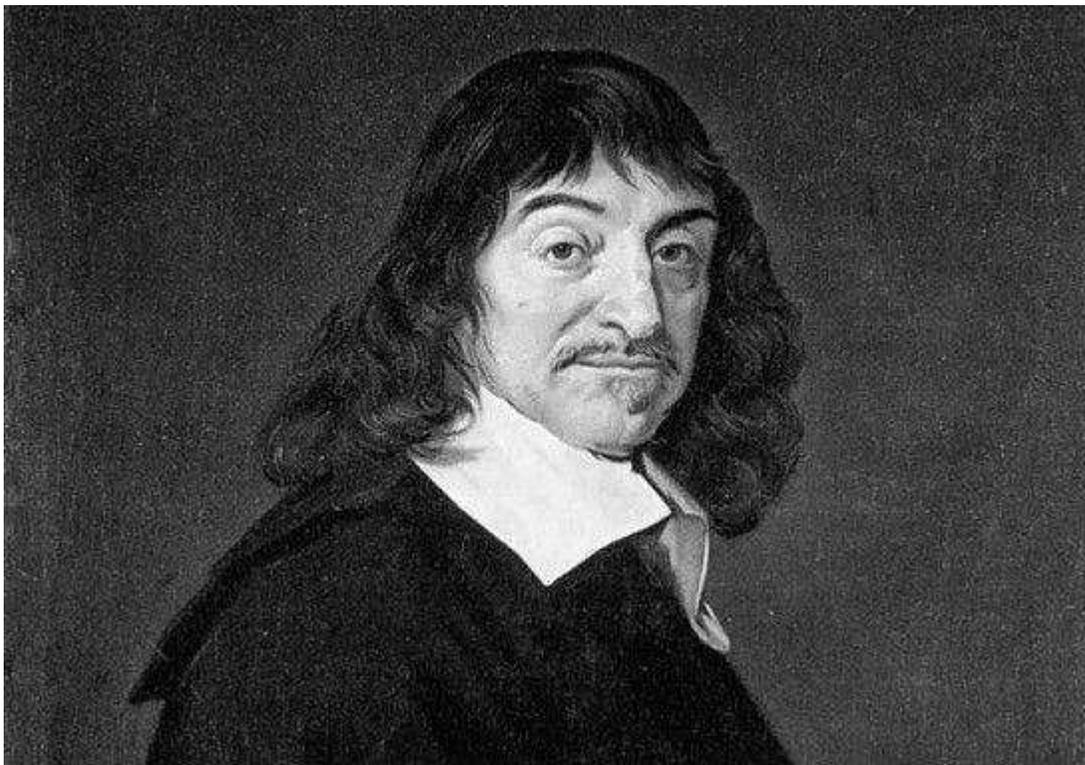
A pesar de todas sus virtudes, novedades y aparente perfección, los *Elementos* de Euclides no agostaron el universo de los problemas matemáticos. Todo lo contrario: tras esa inmortal obra, la matemática fue haciéndose más poderosa y variada, logrando que el historiador de la ciencia se sienta avergonzado ante la sola idea de intentar resumir su desarrollo. Puedo, no obstante, superar tal vergüenza, en tanto que, lo repito una vez más, lo que yo pretendo en este libro es únicamente resaltar algunas ideas relativas a la ciencia —en este capítulo a la matemática—, en sí misma y en lo que su papel como instrumento de conocimiento se refiere. Citaré, a modo de ejemplo, sin ninguna pretensión de completitud, algunos nombres. Nombres como el de Diofanto de Alejandría (c. 200-284), con quien nació verdaderamente —no importa que, por supuesto, se puedan citar muchos predecesores—, alrededor de 600 años después de Euclides, una ciencia nueva y especialmente importante: el álgebra. En un libro que tituló *Arithmetica* (escrito, parece, hacia el año 250), Diofanto estudió la resolución exacta de algunas ecuaciones, avanzando, asimismo, en una dirección básica para el álgebra, la de la introducción de abreviaturas (notación algebraica). Todavía hoy llamamos a algunas ecuaciones «diofánticas».

Un nuevo salto, esta vez todavía mayor, de 1.200 años, nos llevaría al Renacimiento, a personajes como Niccolò Tartaglia (c. 1499-1557), que enseñó matemáticas en Verona y Venecia, tradujo Euclides al italiano (la primera traducción que se le hizo a esta lengua) y Arquímedes al latín, descubriendo (1535), entre otras aportaciones, un método que hacía posible resolver ecuaciones cúbicas, método que Girolamo Cardano (1501-1576) divulgó en su *Artis magna, sive de regulis algebraicis*, 1545 (*El gran arte, sobre las reglas algebraicas*), traicionando la confianza que le había hecho su colega y compatriota.

Pero siendo importantes, imprescindibles realmente, para que la matemática pudiera continuar progresando, aportaciones como las anteriores son menores cuando se comparan con las de tres gigantes del siglo XVII y comienzos del XVIII: René Descartes (1596-1650), Isaac Newton (1642-1727) y Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).

Descartes creó la geometría analítica, también denominada «geometría cartesiana», en la que los problemas geométricos pueden traducirse a forma algebraica. Se trataba de un método extremadamente poderoso para resolver problemas geométricos y, a la postre, también dinámicos (el problema del movimiento de los cuerpos), un método que conservamos más de tres siglos después.

En más de un sentido, la contribución de Descartes preparó el camino para el gran descubrimiento de Newton y Leibniz: el del cálculo diferencial (o infinitesimal) e integral, el universo de las derivadas y las integrales; un instrumento incomparable para la indagación matemática y física, al que me referiré de nuevo en el próximo capítulo, dedicado a Newton.



René Descartes, retrato por Frans Hals (Museo del Louvre).

El cálculo infinitesimal a la manera de Leibniz propició la revolución *analítica* que se introdujo en la matemática europea durante la segunda mitad del siglo XVIII, gracias a los esfuerzos de, especialmente, Leonhard Euler (1707-1783) y Joseph Louis Lagrange (1736-1813). Éste avanzó sustancialmente en la dirección de reducir la mecánica, el estudio de los movimientos, al análisis, en lo que se vendría a denominar mecánica *analítica*. Se la llamó *analítica* porque sus principales características eran la manipulación formal de ecuaciones, el empleo de un método formal, o algebraico, esto es, analítico. Frente al enfoque «sintético», visual, newtoniano, los analistas negaban la necesidad de deducciones físicas o geométricas, argumentando que el enfoque intuitivo de la escuela sintética daba lugar a inconsistencias dentro del análisis: así, para llevar una mayor «pureza algebraica» a la teoría de límites, que tantos problemas planteó a Newton, la dotaron de definiciones abstractas libres de cualquier artificio heurístico. Se abrió de esta manera un camino por el que transitaron, entre muchos otros, Carl Friedrich Gauss (1777-1855), Siméon-Denis Poisson (1781-1840), Augustin Cauchy (1789-1857), Karl Gustav Jacobi (1804-1851), William Rowan Hamilton (1805-1865) o Henri Poincaré (1854-1912).



Carl Friedrich Gauss.

Otro avance fundamental, éste ya durante el siglo XIX, es el de la teoría de grupos. Y ahí el nombre más destacado es del francés Évariste Galois (1811-1832), que se dio cuenta de que el problema de desarrollar una teoría general de las ecuaciones algebraicas está regido en cada caso particular por un cierto grupo de sustituciones, en el cual se reflejan las propiedades más importantes de la ecuación considerada. Este descubrimiento, que los sucesores de Galois, y en particular Camille Jordan (1838-1922), esclarecerían y desarrollarían, tiene consecuencias que afectan a un área más vasta de la matemática que la teoría de resolución de ecuaciones. Como señaló en 1895 el gran matemático noruego Sophus Lie (1842-1899): «El gran alcance de la obra de Galois se deriva de este hecho: que *su teoría, tan original, de las ecuaciones algebraicas es una aplicación sistemática de dos nociones fundamentales como son la de grupo e invariante...* la noción de invariante es evidente en los trabajos de Vandermonde, Lagrange, Gauss, Ampère y Cauchy. Por el contrario, es Galois el primero, me parece, que introdujo la idea de grupo; y en todo caso, él es el primer matemático que ha profundizado en las relaciones existentes entre las ideas de grupo y de invariante». Ideas que en más de un sentido encontraron uno de sus momentos culminantes cuando en 1872, Felix Klein (1849-1925) pronunció su conferencia inaugural como nuevo catedrático de la Universidad de Erlangen. Conferencia que tituló «Consideraciones comparativas sobre las investigaciones geométricas modernas», y que nosotros conocemos como, simplemente, «El programa de Erlangen», en el que definió la geometría de la manera siguiente: «Dado un conjunto de cualquier número de dimensiones, y un grupo de transformaciones entre sus elementos, se llama geometría al estudio de las propiedades de aquel conjunto que son invariantes respecto de las transformaciones de este grupo». De esta forma, el estudio de la geometría se reducía al de todos los grupos de transformación imaginables, que son, por supuesto, infinitos.



Évariste Galois.

Es difícil apreciar el extraordinario papel que, desde que fueron introducidas y sistematizadas, ha desempeñado en la ciencia —en la matemática y en la física, especialmente— la teoría de grupos, así como la noción de invariancia y la, estrechamente ligada a ella, de simetría (en matemática se dice que existe una simetría cuando un conjunto determinado mantiene su configuración al ser sometido a una cierta transformación).

La idea de simetría es particularmente atractiva. Nos indica una cualidad o propiedad común, constante, que subyace detrás de las apariencias. En tanto que uno de los objetivos preferentes de la ciencia es precisamente identificar regularidades (acaso sea el único objetivo real, puesto ¿qué es una ley científica sino la expresión de una regularidad, de algo que se conserva?), es natural que los científicos reciban con especial agrado a cualquier simetría.

El primer principio de simetría importante conscientemente descubierto en la física fundamental fue la invariancia (o simetría) de Lorentz. En este proceso la

invariancia fue un descubrimiento secundario, pero Hermann Minkowski se encargó enseguida de dar la vuelta al procedimiento, requiriendo que las ecuaciones fuesen invariantes. Einstein quedó tan impresionado con las poderosas consecuencias físicas de los principios de simetría que trabajó para ampliar la invariancia de Lorentz, lo que le llevó, junto al principio de equivalencia, a la teoría de la relatividad general. Se puede decir, por consiguiente, que Einstein inició el principio —o el «movimiento»— de que la simetría dicta las interacciones, una idea que desempeñó un papel esencial en la física teórica del siglo XX.

Una de las luces, en efecto, que han iluminado la investigación teórica en la física de altas energías se encuentra en los principios de simetría (de todo tipo, como la simetría partícula-antipartícula, y no únicamente clásicos como la homogeneidad espacial o temporal). Steven Weinberg (1933-), uno de los físicos teóricos más destacados de la segunda mitad del siglo XX ha escrito en este sentido: «Cada vez está más claro que el grupo de simetría de la naturaleza es la cosa más profunda que podemos entender en la actualidad sobre la naturaleza. Me gustaría sugerir aquí algo de lo que no estoy realmente seguro pero que es al menos una posibilidad: que especificar el grupo de simetría de la naturaleza puede ser todo lo que necesitemos decir acerca del mundo físico, más allá de los principios de la mecánica cuántica».

Desde este punto de vista, al nivel más profundo todo lo que existiría serían simetrías y respuestas a simetrías. La propia materia se disuelve y el universo se nos aparece como una gran representación de conjuntos (técnicamente grupos) de simetrías.

Claro que también es posible defender ideas en principio opuestas. Animado por los resultados a los que llegaba en sus estudios sobre la relación existente entre actividad óptica, estructura cristalina y la composición química de compuestos orgánicos (el ácido tartárico en especial), Louis Pasteur escribió en 1874 que el «universo es una estructura asimétrica y estoy convencido de que la vida, tal y como nosotros la conocemos, es un resultado directo de la asimetría del universo o de las consecuencias que ello entraña».

De hecho, la física de los últimos tiempos ha desarrollado un concepto que se amolda bastante bien a la idea de Pasteur. Me refiero al concepto de ruptura de simetría, cuya introducción en la física teórica ha sido comparada con la «demolición» de las esferas celestes realizada por Copérnico y Kepler.

Expuesto de una manera elemental, las rupturas de simetrías son procesos

mediante los cuales, en determinadas circunstancias o en momentos concretos de la historia del universo, las simetrías que hasta entonces se verificaban se rompen, dando origen a nuevos fenómenos o fuerzas. El ejemplo paradigmático en este sentido es el de las interacciones. En la actualidad vemos cuatro fuerzas diferentes, pero en el comienzo y primeros instantes de vida del universo habría existido una única fuerza; al irse expandiendo y en consecuencia enfriando el universo, se habría ido «desintegrando» aquella fuerza en las cuatro que conocemos. La física teórica dispone desde hace tiempo de teorías en las que tres de las cuatro fuerzas han sido unificadas en el sentido anterior. Primero se desarrolló (Steven Weinberg y Abdus Salam [1967-1968] con aportaciones de otros físicos, Sheldon Glashow en particular) la teoría electrodébil, que unificaba la interacción débil y la electromagnética; más tarde vino la denominada teoría estándar, que incluía también a la interacción fuerte. Todavía no se ha resuelto el problema de la gran unificación, que tenga en cuenta también la fuerza gravitacional, aunque existen teorías candidatas, como la de supercuerdas. Otros procesos de ruptura espontánea de simetrías especialmente importantes son aquellos que contribuyen a explicar (mediante un mecanismo denominado de Anderson-Higgs) las diversas masas de las partículas que aparecen en el modelo estándar.

Regresando a la idea de Pasteur, tendríamos que en cierto sentido habría tenido razón: parece inevitable aceptar que la vida, en cualquiera de sus formas, sólo es posible cuando existen regiones en las que la temperatura no es excesivamente alta. Pero ha sido precisamente el enfriamiento cósmico el responsable de la ruptura de la gran simetría que imperó en los primeros instantes del universo. En este, restringido, sentido vida y asimetría aparecen como distintos aspectos de una misma realidad.

El poder del infinito

Aunque no es una caracterización completamente correcta (pensemos, por ejemplo, en la topología, que se ocupa de, por decirlo de alguna forma, relaciones), la matemática tiene mucho que ver con la cuantificación. Ahora bien, en principio parece que sólo se puede cuantificar aquello que es finito, no lo infinito. Sin embargo, esta idea es errónea, aunque llevó mucho tiempo a los matemáticos comprender bien el sentido de tal error, lo que no quiere decir, de todas maneras, que la noción de «infinito» no figurase entre sus constructos.

En efecto, ya en la primera mitad del siglo VII, el astrónomo indio

Brahmagupta (598-670), definió el infinito como el número cuyo denominador es cero; se utiliza para él el símbolo ∞ (introducido, parece, por el matemático inglés John Wallis [1616-1703] en 1655).

Aunque en una discusión más completa no podría olvidarse a Bernardus Bolzano (1781-1848), autor de un tratado (publicado póstumamente en 1850, sobre *Paradoxien des Unendlichen (Paradojas del infinito)*, fue realmente Georg Cantor (1845-1918) quien, a finales del siglo XIX, se dio cuenta de que hay, por expresarlo de alguna forma, muchos infinitos, sentando así las bases de la teoría de los conjuntos y de los números transfinitos. La idea que subyace en esta nueva matemática es la de contar los elementos de dos conjuntos poniéndolos en correspondencia, uno a uno, sin repetición ni omisión. De esta manera, es inmediato ver que hay igual cantidad de números naturales (1, 2, 3, 4...) que de números pares o impares. Asimismo, todo segmento de una recta contiene el mismo número —infinito— de puntos que cualquier otro segmento de una línea recta; también —fue el primer descubrimiento revolucionario de Cantor— hay tantos puntos en todo el plano como en una recta. Ocurre, sin embargo, que estos últimos infinitos no son de la misma naturaleza que el infinito de los números enteros (... -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3...): es el infinito de los números irracionales (aquellos que no se pueden expresar como cociente de dos enteros). Nos vemos conducidos así a hablar de «números cardinales», el número de elementos que tiene un conjunto: para conjuntos finitos, su número cardinal (o «potencia») es el número usual de sus elementos, mientras que para conjuntos infinitos es preciso introducir nuevos términos; Cantor utilizó la primera letra del alfabeto hebreo, «aleph», seguida del subíndice cero — \aleph_0 —, para denotar el número cardinal del conjunto de los naturales.

Este número tiene propiedades que desde la lógica habitual, aristotélica, parecen paradójicas:

$\aleph_0 + 1 = \aleph_0$, $\aleph_0 + \aleph_0 = \aleph_0$, $\aleph_0^2 = \aleph_0$ A cualquier conjunto cuyos elementos se pueden poner en correspondencia uno-a-uno con el conjunto de los naturales, Cantor lo denominó «numerable». Ya he indicado que los números pares y los impares son numerables, pero es posible demostrar que también lo es el conjunto de los enteros. Lo mismo sucede con los racionales. Un número racional p/q se define mediante una pareja —(p, q)— de enteros, por tanto la cantidad de racionales será \aleph_0^2 , pero esto es igual, recordemos, a \aleph_0 .

Sin embargo, no ocurre otro tanto con los números reales (que podemos considerar como números decimales con una cantidad ilimitada de cifras

decimales). La demostración de que hay más números reales que enteros o naturales no es inmediata, pero Cantor logró probarlo, y asignó a ese nuevo número cardinal la letra c .

Se trataba, obviamente, de un mundo completamente nuevo. Un mundo sorprendente para las categorías habituales dentro de la lógica tradicional de lo finito, un mundo que condujo al descubrimiento de nuevos y fecundos continentes matemáticos, como el de la «teoría de conjuntos», que se instaló de manera profunda en el cuerpo de la matemática del siglo XX.

De una forma un tanto general, pero no por ello menos real, se puede decir de ese siglo XIX, y más aún de su segunda mitad, en el que se descubrieron todas las posibilidades que escondía el concepto de infinito, que fue una época extraordinariamente fructífera para la matemática, no importa que en ella se sembraran las semillas que al germinar mostraron que algunas de las esperanzas que había generado eran infundadas. Y es que lo verdaderamente importante en ciencia no es que se cumplan nuestras expectativas, sino descubrir aquello que «realmente es»; esto es, encontrar la Verdad. Una verdad que con frecuencia suele entrar en conflicto con nuestras ideas más firmemente establecidas.



Georg Cantor en 1894.

En todos estos aspectos, al igual que en lo que se refiere al desarrollo más tradicional de la matemática, el siglo XIX fue, ya digo, extraordinario, haciendo que asome una sonrisa en nuestros rostros cuando recordamos manifestaciones como la que realizó Denis Diderot («L'interprétation de la nature» [«La interpretación de la naturaleza»]) en el siglo XVIII:

Nos encontramos en medio de una gran revolución en las ciencias. Las formas en que se están estudiando en la actualidad la ética, literatura, historia natural y física experimental me convencen de que antes de que hayan pasado otros cien años, no será ya posible encontrar tres grandes matemáticos [*géomètres*] en Europa. Se producirá en esta ciencia un abrupto alto y permanecerá allí donde los Bernoullis, los Eulers, los Maupertuises, los Clairauts, los Fontaines y los d'Alemberts la dejaron... En los años venideros sus trabajos se mantendrán como las pirámides de Egipto, combinaciones de enormes masas y densos jeroglíficos que nos inspiran un aterrador sentimiento del poder y recursos de los hombres que las construyeron.

Crisis en los fundamentos de la matemática

El camino de generalización abierto por matemáticos como Galois y Cantor continuaría, cada vez con fuerza creciente. En 1899, en el umbral del nuevo siglo, David Hilbert (1862-1943), publicaba un libro, *Grundlagen der Geometrie* (*Fundamentos de la geometría*), en el que axiomatizaba de manera completa la geometría, demostrando así su carácter puramente formal, carácter que ya habían adquirido el álgebra y el análisis. Al hacer hincapié en que incluso en una rama de las matemáticas tan aparentemente empírica como la geometría se podía eliminar el nivel intuitivo-empírico, Hilbert se convirtió en el principal exponente de una de las tres corrientes que caracterizaron a la investigación matemática de las primeras décadas del siglo XX: el *formalismo*, o escuela axiomática, que compartió protagonismo con otras dos, el *intuicionismo*, asociada al nombre del holandés Luitzen Brouwer (1881-1967), y el *logicismo*, cuya manifestación más señalada son los tres tomos de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead (1861-1947), *Principia Mathematica* (1910, 1912, 1913). En esta obra sus autores pretendían demostrar que toda la matemática se puede basar en la lógica; esto es, que los conceptos de todas

las teorías matemáticas, al igual que los métodos de prueba e inferencia, se podrían formular dentro del contexto de la lógica (señalemos que para Russell lógica y aritmética estaban estrechamente ligadas: «La transición de la lógica a la aritmética —escribió en un ensayo titulado “Is mathematics purely linguistic?” [“¿Es la matemática puramente lingüística?”, 1950 o 1951]— es tan gradual que nadie puede decir dónde termina una y comienza la otra, así que estamos obligados a considerar la lógica matemática y la aritmética como una sola materia»).

Desgraciadamente, ni siquiera en el reino de la matemática se cumplen pretensiones tan aparentemente racionales. A pesar de los logros innegables alcanzados en *Principia Mathematica*, a la postre no logró alcanzar su meta. El propio Russell comenzó, algunos años más tarde, a dar señales de que su fe reduccionista disminuía; él, que tan apasionadamente había defendido la visión logicista y apriorística de la matemática, pasó a sostener la tesis opuesta, empirista, según la cual la matemática no era diferente a, por ejemplo, las ecuaciones de Maxwell del electromagnetismo: «ambas —manifestó en 1924— se aceptan debido a que se observa que algunas de sus consecuencias lógicas son ciertas».

La respuesta negativa a las esperanzas de los logicistas —y también de los formalistas— sorprendería, creo yo, tanto a ellos como a los intuicionistas. Y lo hizo porque fue inesperada. Para comprender su novedad me detendré un momento en uno de esos momentos históricos que se dan de vez en cuando en las actividades humanas, sean científicas o no: la conferencia que pronunció David Hilbert (un formalista, recordemos, no un logicista) en el Segundo Congreso Internacional de Matemáticos, celebrado en París, del 6 al 12 de agosto de 1900. Su título, «Mathematische Probleme», aunque habitualmente es citada como «Sobre los problemas futuros de las matemáticas».



David Hilbert en 1912, en una de las postales de profesores que se vendían en Gotinga.

Los pasajes que me interesan no se encuentran en ninguno de los célebres 23 problemas que Hilbert trató en aquella ocasión, sino en la parte introductoria. Recordaba allí el catedrático de Gotinga que los «antiguos nos dieron los primeros ejemplos de... demostraciones de imposibilidad», demostraciones como la de que en un triángulo rectángulo isósceles la hipotenusa y el lado del ángulo recto se encuentran en una relación irracional. Señalaba, asimismo, que en «la matemática moderna, la cuestión de la imposibilidad de ciertas soluciones desempeña un papel preponderante», haciendo posible resolver antiguos y difíciles problemas, tales como la demostración del axioma de las paralelas, la cuadratura del círculo y la resolución mediante radicales de la ecuación de quinto grado, «aunque en un sentido completamente diferente al que se buscaba primitivamente», al mostrar su

imposibilidad.

De estos resultados, que habían desafiado a los matemáticos durante siglos, surgió la convicción que, señalaba Hilbert, «compartirá ciertamente todo matemático, pero de la que hasta el momento nadie ha construido prueba alguna... de que todo problema matemático determinado debe ser a la fuerza susceptible de una solución rigurosa, ya sea mediante una respuesta directa de la cuestión planteada, o bien demostrando la imposibilidad de la solución». Y en este punto, añadía: «¿Es este axioma de la posibilidad de resolver todo problema una propiedad característica y distintiva del pensamiento matemático, o será acaso una ley general del modo de existencia de nuestro entendimiento; a saber, que todas las cuestiones que se plantea nuestro entendimiento son susceptibles de ser resueltas por él?».

Límites en la matemática: Kurt Gödel

Lo que seguramente Hilbert tenía en mente era que no se había podido demostrar que todo problema matemático, toda formulación o proposición matemática, pudiese ser resuelta en el sentido afirmativo o negativo, pero yo no dudo de que él estaba convencido que sería posible demostrar lo uno o lo otro. Sin embargo, resultó que no fue, que no es, eso, ni lo uno ni lo otro, aunque si somos cuidadosos al leer la manifestación de Hilbert, veremos que el desarrollo al que me voy a referir no negaba —todo lo contrario, reafirmaba— que «todas las cuestiones que se plantea nuestro entendimiento son susceptibles de ser resueltas por él».

Ese desarrollo, que alteró profunda, dramáticamente, las creencias más firmemente establecidas en el pensamiento científico (no sólo matemático), constituyendo en más de un sentido el golpe de gracia para la matemática como sistema inductivo-empírico o apriorístico, para el programa logicista al igual que para el formalista (que insistía en la necesidad de axiomatizar la lógica, en un sistema formal no contradictorio), vino de la mano de un lógico nacido en Brünn, Moravia, que murió, envuelto en las grises y amargas nieblas de la demencia, al otro lado del Atlántico, en Princeton, cuyo Institute for Advanced Study le había acogido en 1939. Se llamaba Kurt Gödel (1906-1978).

En 1931 se publicó el artículo más famoso de Gödel y quizá de toda la historia de la lógica: «Über formal unentscheidbare Sätze der *Principia mathematica* und verwandter System» («Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia*

Mathematica y sistemas afines»). En él se demostraba, en primer lugar, que todos los sistemas formales de la matemática clásica son incompletos, es decir, que para cada uno de ellos puede construirse una sentencia indecidible (tal que ni ella ni su negación es deducible), y que esta incompletitud es inevitable (por muchos axiomas que añadamos, los sistemas formales siguen siendo incompletos). En segundo lugar, Gödel mostró que es imposible probar la consistencia de un sistema formal de la matemática clásica. En otras palabras, demostró que no es posible lograr un reduccionismo completo en los sistemas matemáticos, ya que existen sentencias de las que no podemos saber si son o no ciertas, y sistemas cuya consistencia no es posible verificar.



Kurt Gödel.

Los resultados de Gödel producen, a mí al menos, una gran admiración por la creatividad de su autor, pero también una profunda sensación de desamparo. Ya ni siquiera es posible encontrar seguridad en el único lugar donde creíamos que existía, en la matemática. Claro que tal vez ese mismo resultado se pueda interpretar como algo que humaniza a la matemática, que nos permite dejar abierta la puerta para justificar la incertidumbre y el compromiso ante la imposibilidad de

encontrar una respuesta incontrovertible.

Por otra parte, lo que sobre todo muestra el resultado de Gödel es que, cito la expresión hilbertiana por tercera vez: «todas las cuestiones que se plantea nuestro entendimiento son susceptibles de ser resueltas por él». El propio Gödel era de esta opinión. En una carta que dirigió a David Plummer el 31 de julio de 1967, manifestaba que había construido sus teoremas de incompletitud no para establecer limitaciones en el poder del razonamiento humano, sino más bien para demostrar «que la clase de razonamiento necesario en matemáticas no puede ser mecanizado completamente», reafirmando de esta forma el papel del intelecto humano en la investigación matemática. Debido a su creencia en que la mente humana no «es estática, sino que se desarrolla constantemente», tenía confianza en que continuarían apareciendo nuevas ideas matemáticas. Son, en este sentido, reveladoras las siguientes manifestaciones, incluidas en un suplemento que añadió en 1964 a un artículo titulado «What is Cantor's continuum problem?» («¿Cuál es el problema del continuo de Cantor?»), publicado inicialmente en 1947: «Pero, a pesar de lo remotos que se encuentran de la experiencia sensorial, nosotros poseemos algo así como una percepción también de los objetos de la teoría de conjuntos, como se ve del hecho de que la verdad de los propios axiomas se nos hace evidente. No veo ninguna razón de por qué debemos tener menos confianza en este tipo de percepción, esto es, en la intuición matemática, que en la percepción sensorial, que nos induce a construir teorías físicas y a esperar que futuras percepciones sensoriales estén de acuerdo con ellas, y, más aún, a creer que una cuestión no decidible ahora tiene sentido y puede ser decidida en el futuro».



Howard P. Robertson, Eugene Wigner, Hermann Weyl, Kurt Gödel, Isidor Rabi, Albert Einstein, Rudolf Ladenburg, Robert Oppenheimer y G. M. Clemence, en el Institute for Advanced Study de Princeton en 1949.

Ideas muy similares expresó hace unos años el físico y matemático británico Roger Penrose en un libro titulado *The Emperor's New Mind* (*La nueva mente del emperador*; 1989). En él, Penrose defendía la idea de que existen enunciados que podemos ver que son seguros, aunque como consecuencia de los resultados obtenidos por Gödel en 1931 no podemos asignarles la categoría de «verdaderos». Y de ahí concluía, platónicamente, que «la noción de verdad matemática va más allá del concepto global de formalismo. Hay algo absoluto e “infuso” en la verdad matemática... [que] va más allá de las simples construcciones humanas». Palabras estas que recuerdan a otras que escribió Arthur Schopenhauer (1788-1860) en uno de sus manuscritos berlineses: «Cada cual sólo conoce de verdad aquello que ha captado *intuitivamente*, lo que sabe *in abstracto* supone una simple asignación al *saldo*

de su conocimiento intuitivo».



Pierre de Fermat.



Andrew Wiles en su despacho de Fine Hall (Princeton), 6 de febrero de 1995.

En cualquier caso, los resultados de Gödel, esa pérdida, aparente al menos, de certidumbre que revelan, no ha impedido que continúe progresando la investigación matemática. Muestra de semejante progreso es, por ejemplo, el descubrimiento de los denominados objetos fractales, entes geométricos que pueden tener dimensiones «intermedias», como $3/2$ o logaritmo neperiano de 2 dividido por logaritmo neperiano de 3, algo realmente extraordinario teniendo en cuenta que estamos acostumbrados a entes geométricos de dimensión 3 (volúmenes), 2 (áreas), 1 (líneas) o 0 (puntos). Estos nuevos objetos, junto a otros como los sistemas (no lineales) caóticos (aquellos que dependen fuertemente de las condiciones iniciales), o la irresistible introducción de los ordenadores, prometen un futuro abierto para la matemática, desde luego, y, con su ayuda, también para otras disciplinas científicas. Sin olvidar el que ha sido posible, finalmente, resolver viejos problemas que tenía planteada la matemática. Así ha ocurrido, en efecto, con una conjetura que el matemático y jurista francés Pierre de Fermat (1601-1665) propuso en 1637, en el margen de su ejemplar del Libro II de la *Arithmetica* de Diofanto; el denominado «Último teorema de Fermat», que afirma que si n es un entero mayor que 2, la ecuación $x^n + y^n = z^n$ no tiene solución si x , y , z son enteros positivos. Fue en septiembre de 1994, cuando el matemático británico, afincado en Princeton, Andrew Wiles (1953), logró demostrar definitivamente la conjetura de Shimura-Taniyama-Weil, que implicaba la verificación del teorema de Fermat.

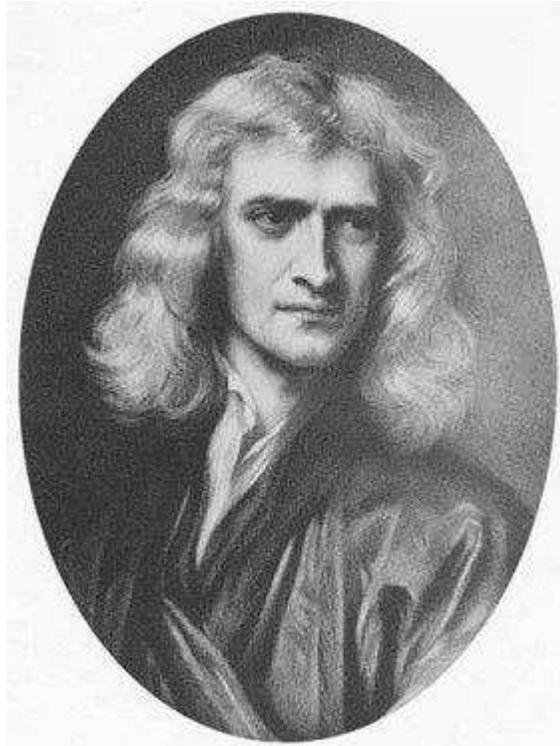
2

El grande entre los grandes: Isaac Newton

En uno de los ensayos más vibrantes y apasionados que he leído a lo largo de mi vida, el economista John Maynard Keynes (1883-1946) se refería a Isaac Newton —que nació, recordemos, en 1642 y falleció en 1727— como el «último de los magos, el último de los babilonios y de los sumerios; la última de las grandes mentes que contempló el mundo visible e intelectual con los mismos ojos que aquellos que empezaron a construir nuestra heredad intelectual, hace casi diez mil años».

Es evidente que semejante caracterización contiene elementos inaceptables. Newton introdujo en el análisis de los fenómenos naturales —de los físicos especialmente— un método radicalmente nuevo; un método que si ya le distinguía de sus predecesores más cercanos (como Galileo, Kepler o Descartes), más le separaba aún de todos aquellos que habían empezado, milenios antes, a «construir nuestra heredad intelectual». En este sentido, ciertamente no contempló el mundo físico de la misma manera que los antiguos. Y sin embargo, a pesar de tales diferencias, las frases de Keynes —que llegó a reunir una de las colecciones más importantes de manuscritos teológicos newtonianos— contienen algo de verdad y tocan la esencia del pensamiento del catedrático lucasiano de Cambridge. Este elemento de verdad se aprecia con mayor claridad cuando, más adelante en su ensayo, Keynes explicaba los calificativos que había aplicado a Newton:

¿Por qué lo llamo mago? Porque contemplaba el universo y todo lo que en él se contiene como un enigma, como un secreto que podía leerse aplicando el pensamiento puro a cierta evidencia, a ciertos indicios místicos que Dios había diseminado por el mundo para permitir una especie de búsqueda del tesoro filosófico a la hermandad esotérica. Creía que una parte de dichos indicios debía encontrarse en la evidencia de los cielos y en la constitución de los elementos (y esto es lo que erróneamente sugiere que fuera un filósofo experimental natural); y la otra, en ciertos escritos y tradiciones transmitidas por los miembros de una hermandad, en una cadena ininterrumpida desde la original revelación críptica, en Babilonia. Consideraba al universo como un criptograma trazado por el Todopoderoso.



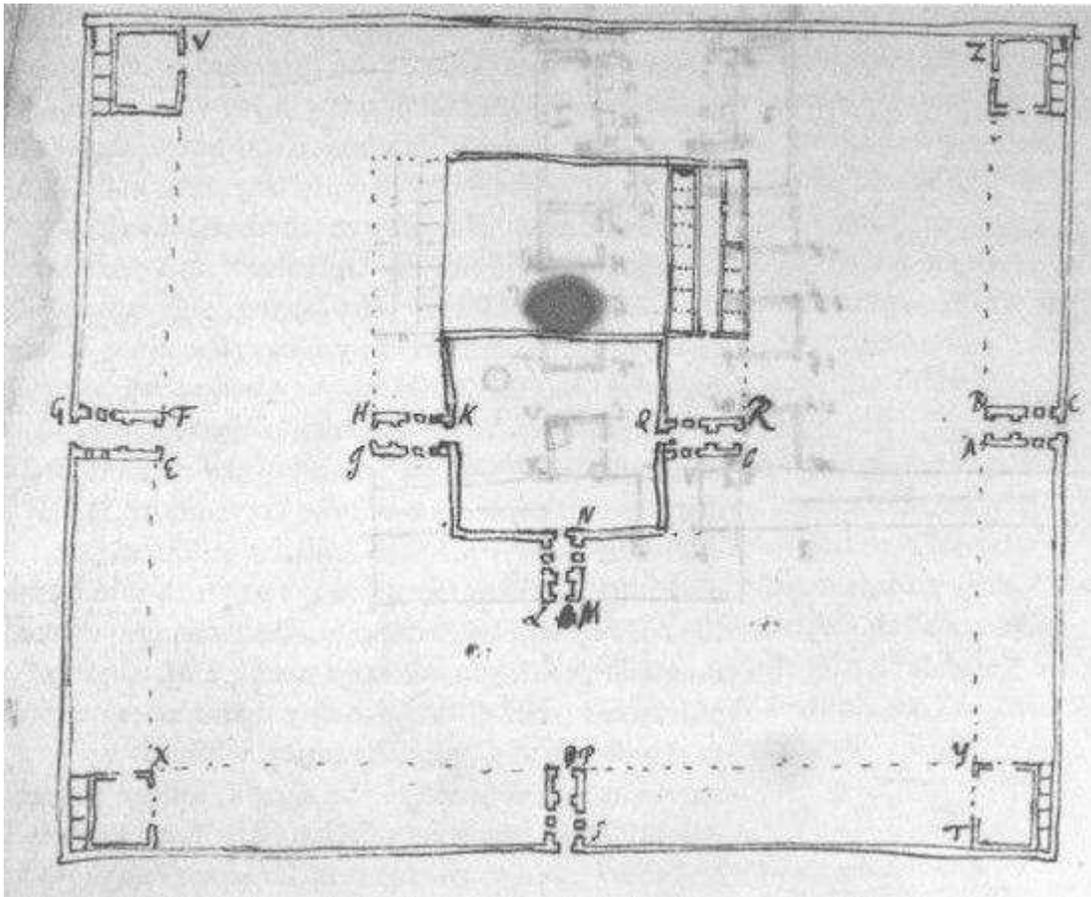
Retrato de Isaac Newton pintado por Godfrey Kneller (1689).

De hecho, Newton dedicó esfuerzos inmensos a la tarea de desvelar semejante criptograma, dejando tras de sí millones de palabras escritas, la mayoría de las cuales ni vieron la luz mientras vivió, ni lo han hecho después. Su esfuerzo fue doblemente intenso en tanto que pensaba que la religión verdadera había sido corrompida por deformaciones e idolatrías introducidas en el pasado; consecuentemente, la religión auténtica, la única que podía proporcionar un conocimiento firme, solamente se podía llegar a conocer sumergiéndose en el mundo de los antiguos.

La búsqueda de aquel conocimiento primordial no contaminado constituyó el gran objetivo de la vida de Newton, dedicándole seguramente más tiempo y esfuerzos que a sus investigaciones científicas, que por otra parte también participaban de sus preocupaciones religiosas. En este aspecto, Newton era un hombre de su tiempo, ya que el camino que había conducido desde el monoteísmo primitivo hacia la idolatría constituía uno de los temas favoritos para los historiadores cristianos de los siglos XVII y XVIII que se ocupaban de las primeras

épocas de la humanidad.

He dicho que los intereses religiosos (plasmados en investigaciones en campos como la teología, historia de las religiones o cronología de los reinos antiguos) de Newton no estuvieron al margen de sus preocupaciones científicas. Esto es algo que se puede comprobar de varias maneras. En, por ejemplo, su preocupación por los templos antiguos, y a la cabeza de ellos el Templo de Salomón.



Uno de los seis dibujos debidos a Newton que aparecen en su manuscrito *Treatise or Remarks on Solomon's Temple*, en el que se muestra la planta del templo (Colección Babson, Burndy Library, MIT).

Newton, al igual que tantos otros antes que él, creía que los templos no sólo escondían datos relativos a los modos de adoración al Dios o dioses antiguos, sino que también transmitían información sobre la ciencia, porque, sostenía, los antiguos, además de atesorar la religión verdadera, habían conocido la ciencia auténtica. Al fin y al cabo, leemos en uno de sus manuscritos inéditos, «la primera religión fue más racional que todas las demás hasta que las naciones la corrompieron. Ya que no existe forma... de acceder al conocimiento de una deidad salvo mediante la naturaleza». Esta última frase, «salvo mediante la naturaleza», es, por supuesto, significativa y ayuda a comprender por qué existió un Newton científico. Si pensamos, aunque sea por un momento (no es una idea absurda o infundada), que para él lo más importante era saber algo de Dios y de su obra, aproximarse a él y a ella, y no la física o la matemática, entonces podríamos entender su actividad científica como un medio de acercarse al Todopoderoso.

Las descripciones que en algunos de sus manuscritos hacía del monoteísmo primitivo y de los rituales de adoración después del diluvio, tal y como se practicaban en lugares como Egipto, Babilonia o Caldea, identificaban estrechamente la primera ciencia con la teología. Los sacerdotes y líderes religiosos de aquellas antiguas civilizaciones también fueron, argumentaba, sus científicos y filósofos. La astronomía había comenzado entre los sacerdotes egipcios y caldeos, que al decorar sus templos habían hecho de ellos réplicas exactas del universo. De hecho, atribuía a los antiguos el conocimiento del heliocentrismo copernicano. Los rituales religiosos escondían significados científicos: el movimiento de las procesiones de sacerdotes entre los egipcios, por ejemplo, demostraba que su teología estaba basada en la ciencia de las estrellas; de manera análoga, cuando los sacerdotes judíos se aproximaban al altar, daban vueltas alrededor del fuego, encendiendo siete lámparas para representar los planetas que se mueven en torno al Sol (Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno y la Luna, considerada también como un planeta).

El interés de Newton por los conocimientos científicos que pudieron atesorar los antiguos llegó al extremo de que en algún momento planeó incluir al principio del Libro III de su obra magna, los *Principia*, a la que me referiré más adelante, una serie de escolios (especie de comentarios finales) con referencias a esa supuesta sabiduría antigua, retrayéndose no sólo hasta figuras históricas como Tales y Pitágoras, sino incluso hasta sabios míticos de la antigüedad. Finalmente no lo hizo, pero en la *Óptica*, su otro gran libro junto a los *Principia*, sí que es posible encontrar rastros de su interés por los antiguos. En la «Cuestión 20» de la edición latina de 1706 («Cuestión 28» a partir de la edición inglesa de 1717), cuando atacaba la idea de la existencia de un medio, «tan denso como el agua», en el cielo, afirmaba: «Para

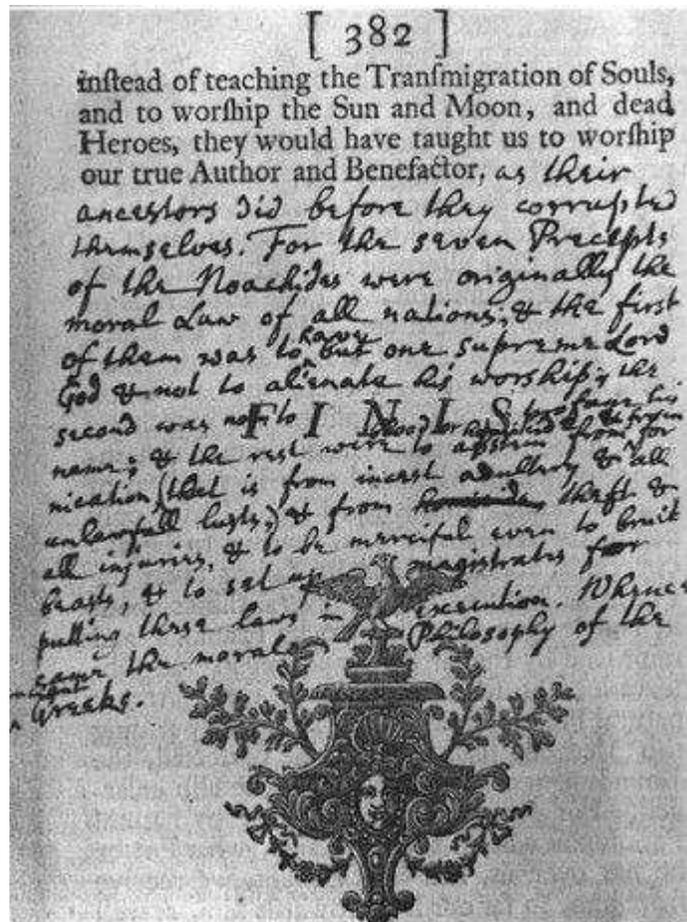
el rechazo de tal medio, disponemos de la autoridad de aquellos de los más ancianos y célebres filósofos de Grecia y Fenicia, quienes hicieron del vacío, los átomos y la gravedad de los átomos los primeros principios de su filosofía, atribuyendo tácitamente la gravedad a una causa distinta de la materia densa. Filósofos posteriores borraron de la filosofía natural la consideración de tal causa, imaginando hipótesis para explicar mecánicamente todas las cosas y relegando a la metafísica todas las demás causas».

De hecho, ni siquiera los *Principia* están libres del Newton teólogo. En la segunda edición —publicada en 1713, cuando tenía setenta y un años—, decidió cerrar su gran monografía con unas páginas dedicadas a la divinidad. Se trata del célebre «Escolio General», en el que pretendía poco menos que definir a Dios:

Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente; esto es, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el infinito hasta el infinito: lo rige todo; lo conoce todo, lo que sucede y lo que puede suceder. No es la eternidad y la infinitud, sino eterno e infinito; no es la duración y el espacio, sino que dura y está presente. Dura siempre y está presente en todo lugar, y existiendo siempre y en todo lugar, constituye la duración y el espacio. En ese mismo «Escolio» también es posible adivinar algo que el propio Newton se esforzó por ocultar durante toda su vida: que era un hereje arriano, que su Dios no era trino, sino uno: «Dios —escribió allí— es uno y el mismo dios siempre y en todo lugar».

¿Por qué un Newton oculto?

Newton fue, efectivamente, un hereje. Pensaba que el texto griego del Nuevo Testamento estaba gravemente contaminado por los trinitarios y que era preciso recuperar sus manifestaciones originales, en las que Jesús no era consustancial o coeterno con Dios. Creía, como ya he dicho, que Dios era uno y no trino. El que se hubiese perdido la creencia en un único y todopoderoso Dios había sido debido, argumentaba, muy especialmente a san Atanasio (296-373). Éste había asistido siendo muy joven al Concilio de Nicea de 325, en el que, tras un largo y áspero debate, se aprobó la doctrina conocida como *homoousion* (homousismo), que sostiene que Cristo es de la misma sustancia que el Padre. En el año 328, Atanasio fue nombrado obispo de Alejandría, empleando el resto de su vida en defender aquel dogma y en combatir a los arrianos, esto es, a los seguidores de Arrio (260-336), que había sostenido que Cristo, creado y no eterno, estaba subordinado a Dios.



Anotaciones de Newton enumerando los «Seven precepts of the Noachides» al final de su ejemplar de la *Opticks* (edición de 1717, Colección Babson, Burndy Library, MIT).

Atanasio se convirtió en la gran bestia negra de Newton, quien planeó escribir una obra en la que pondría al descubierto sus engaños, al igual que las atrocidades que suponía había cometido (incluyendo el asesinato del arzobispo Arsenio). De este tratado, que nunca llegó a completar, nos han llegado varios borradores, con el título de *Paradoxical Questions concerning ye morals and actions of Athanasius and his followers* (Cuestiones paradójicas relativas a las morales y acciones de Atanasio y de sus seguidores). En la soledad de su estudio de Cambridge, la pasión e indignación del autor de los *Principia* contra Atanasio y la Iglesia de Roma se desbordaba: «Idólatras... blasfemos, y fornicadores espirituales», son algunos de los adjetivos que utilizaba.

Sin embargo, y a pesar de la vehemencia que en privado ponía en sus ataques al trinitarismo y defensa de Arrio, Newton mantuvo secreta su opinión de que las Escrituras habían sido corrompidas. Pocos accedieron a este mundo histórico-teológico newtoniano. El motivo es muy sencillo: los estatutos de su *college*, Trinity (más concretamente, *Holy and Undivided Trinity: Sagrada e Individida Trinidad*), obligaban a sus miembros a ser ordenados clérigos de la Iglesia anglicana dentro de los siete años posteriores a la recepción del grado de *master of arts*, o enfrentarse a la expulsión; asimismo, los estatutos de su cátedra indicaban que las opiniones heréticas constituían motivo de expulsión.

El que no aceptase el dogma trinitario le ponía, por tanto, en una situación muy difícil. No aceptaba una creencia central de la Iglesia a la que se suponía pertenecía y no podía fingir. Se trataba de algo vital, iba en ello su salvación eterna. Él creía en Dios; en un Dios, además, absoluto e imponente. Un Dios que, probablemente, no perdonaría a aquel que, sabiendo, engañaba.

Finalmente, en el último momento, el problema desapareció. Una dispensa real promulgada el 27 de abril de 1675 libraba para siempre al ocupante de la cátedra lucasiana —y por tanto a Newton— de cualquier requisito colegial de ordenación. No sabemos de quién partió la iniciativa para lograr esa dispensa. Tal vez fuese de Isaac Barrow (1630-1677), su predecesor en la cátedra lucasiana, entonces *master* del Trinity College y una persona con influencia ante el rey. En cualquier caso, lo seguro es que Newton pudo así mantener sus opiniones religiosas en secreto.

Un hombre de su tiempo

Antes de abandonar definitivamente este ámbito, tan poco frecuentado cuando se habla de Newton, el gran héroe científico, y por tanto de la Racionalidad, que, parece, tiene que estar al margen de creencias y pasiones más mundanas; antes, digo, de abandonar este ámbito, señalaré que no se debe pensar que en lo que se refiere a su interés por la teología —no en lo referente a sus ideas heréticas—, Newton fue un científico, un filósofo natural, raro en su tiempo. De Isaac Barrow, su primer biógrafo dijo: «Temía, como clérigo, emplear demasiado tiempo en las Matemáticas, ya que... en su ordenación había jurado servir a Dios en el Evangelio de su Hijo, y no podía hacer una Biblia de su Euclides, o un púlpito de su cátedra matemática». De hecho, su renuncia a la cátedra lucasiana puede entenderse como un acto destinado a romper con las obligaciones científicas que le imponía su

puesto académico, para así poder dedicarse con mayor libertad al estudio del Libro de la Palabra de Dios.



, Robert Boyle (1627-1691), retratado hacia 1689 por Johann Kerseboom.

Especialmente interesante es el caso del químico y físico Robert Boyle (1627-1691), uno de los grandes exponentes de la filosofía experimental inglesa, así como uno de los pilares de la Royal Society, que también fue un prolífico autor sobre temas de teología natural, el lugar en el que ciencia y religión se encontraban. Eso sí, Boyle no padeció remordimientos de conciencia al estilo de Barrow por su dedicación a la filosofía natural (esto es, a la ciencia). Además, estaba convencido de que un Dios que podía crear un universo mecánico, al igual que materia en movimiento que obedecía ciertas leyes universales, era más admirable que un Dios que crease un universo sin leyes científicas.

No es difícil encontrar más ejemplos de esfuerzos parecidos a los de Boyle de poner en evidencia la armonía entre ciencia y religión. Basta con ojear libros como *The Wisdom of God Manifested in the Works of Creation* (*La sabiduría de Dios manifestada en las obras de la creación*; 1691), de John Ray (1627-1705), el principal naturalista de la época, o *Astronomical Principles of Religion, Natural and Revealed* (*Principios*

astronómicos de religión, natural y revelada; 1717), de William Whiston (1667-1752), el sucesor de Newton en la cátedra lucasiana, y creyente como él en las ideas antitrinitarias del hereje Arrio.

Pero la casuística es muy amplia, y ya es hora a dirigirse hacia Newton el científico, el Grande entre los Grandes de la ciencia.

Vesalio, Copérnico y la Revolución Científica

No es posible, sin embargo, hablar de él en tal categoría sin referirse antes a un momento especialmente singular en la historia de la ciencia: la Revolución Científica, el período de los siglos XVI y XVII, durante el cual se establecieron los fundamentos conceptuales e institucionales de la ciencia moderna.

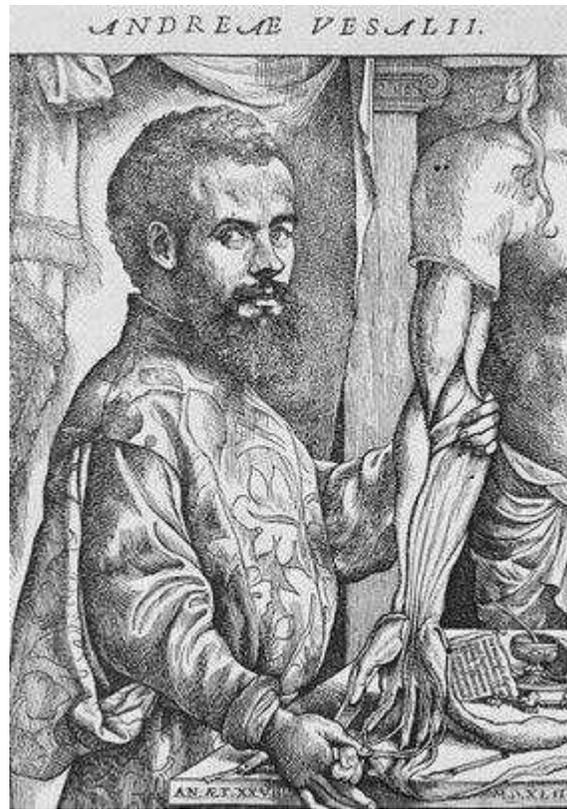
Aunque las fechas concretas son como la punta de un iceberg, que oculta un largo período de incubación, un buen punto de partida es 1543, cuando se publicaron dos libros que terminarían convirtiéndose en clásicos de la historia de la ciencia: *De humani corporis fabrica* (*La fábrica del cuerpo humano*), de Andreas Vesalio (1514-1564), y *De revolutionibus orbium coelestium* (*Sobre las revoluciones de los orbes celestes*), de Nicolás Copérnico (1473-1543).

A pesar de que ninguno de los dos logró superar completamente la herencia recibida (Vesalio no supo desembarazarse de aspectos importantes de la anatomía y medicina galénica, del mismo modo que Copérnico no logró apartarse del sistema de los círculos perfectos para los movimientos de los cuerpos celestes), se puede decir que ambos libros fueron revolucionarios, o, cuando menos, que constituyeron los cimientos de futuros cambios revolucionarios, en la anatomía y en la astronomía y mecánica, respectivamente; que inspiraron una serie de actividades, ideas y desarrollos que conducirían en el plazo de un par de generaciones a la promulgación de conceptos y teorías ya muy distintas a las antiguas.

La fábrica del cuerpo humano constituyó un vibrante llamamiento en defensa de la práctica anatómica, de la disección, como base imprescindible para la comprensión de la estructura y funciones del cuerpo humano. Basta, en este sentido, con leer algunos pasajes de la «Dedicatoria a Carlos V, el más grande e invicto emperador», que Vesalio incluyó en su obra:

mientras los médicos afirmaban que sólo les incumbía la curación de las afecciones internas, pensando que les bastaba con conocer las vísceras, se desentendieron de la

estructura de los huesos, los músculos, los nervios, las venas y las arterias que se extienden por los huesos y los músculos, como si no fuera cosa suya. Además, como se confiaba a los barberos toda la disección, los médicos no sólo perdieron el conocimiento auténtico de las vísceras, sino que también desapareció completamente la actividad de la disección, porque éstos no se ocupaban de hacer disecciones; a su vez, aquellos en cuyas manos se dejaba esa actividad eran tan ignorantes que no entendían los escritos de los maestros de disección. Sólo faltaba que esta clase de hombres conservaran para nosotros este arte difícilísimo, que les fue transmitido a ellos de manera práctica, y que esta deplorable dispersión de la parte curativa nos introdujera en las escuelas la deplorable costumbre según la cual unos se acostumbraron a diseccionar el cuerpo humano y otros a describir sus partes. Éstos, a modo de grajos, hablan a gritos y con gran boato desde su cátedra de lo que nunca han practicado y que sólo recuerdan por libros ajenos o de los dibujos que ponen delante de sus ojos; a su vez, los primeros desconocen las lenguas en tal medida que no pueden explicar las disecciones a los espectadores y despedazan lo que debe mostrarse según la prescripción del físico, el cual, sin aplicar nunca sus manos a la disección, sólo enseña comentando con altivez. Y del mismo modo que enseñan todo al revés y pierden días enteros en cuestiones ridículas, de igual manera en medio de esa algarabía plantean a los espectadores menos cuestiones de las que un carnicero puede enseñar a un médico en el matadero, por no decir nada de esas escuelas donde apenas se reflexiona sobre la disección de las articulaciones del cuerpo humano. ¡Hasta tal punto la vieja medicina se ha apartado desde hace muchos años del antiguo esplendor!



Vesalio según *De humani corporis fabrica* (1543). Cuando se hizo el retrato (1542) tenía veintiocho años.



Portada de la segunda edición (Basilea, 1555) de *De humani corporis fabrica* de Vesalio.

Básicamente, durante casi trescientos años, siguiendo el programa defendido en *La fábrica del cuerpo humano*, todo examen del funcionamiento de los organismos vivos se fundó en la anatomía, mejorando sustancialmente el alcance y precisión del conocimiento relativo a la estructura del cuerpo humano, conocimiento en el que se basarían algunos científicos para dar pasos de tal calibre como el realizado por William Harvey (1578-1657) al descubrir la circulación mayor de la sangre (1628). Fue entonces, y sólo entonces, con Harvey, cuando realmente surgieron conflictos serios entre las ideas médicas antiguas y modernas. Más aún, con Harvey —y en cierta medida también a través de las teorías de Descartes— se produjo la primera de las revoluciones que se han producido en la biología: la introducción de la biología mecánica, que no se desarrollaría completamente hasta más de dos siglos después.

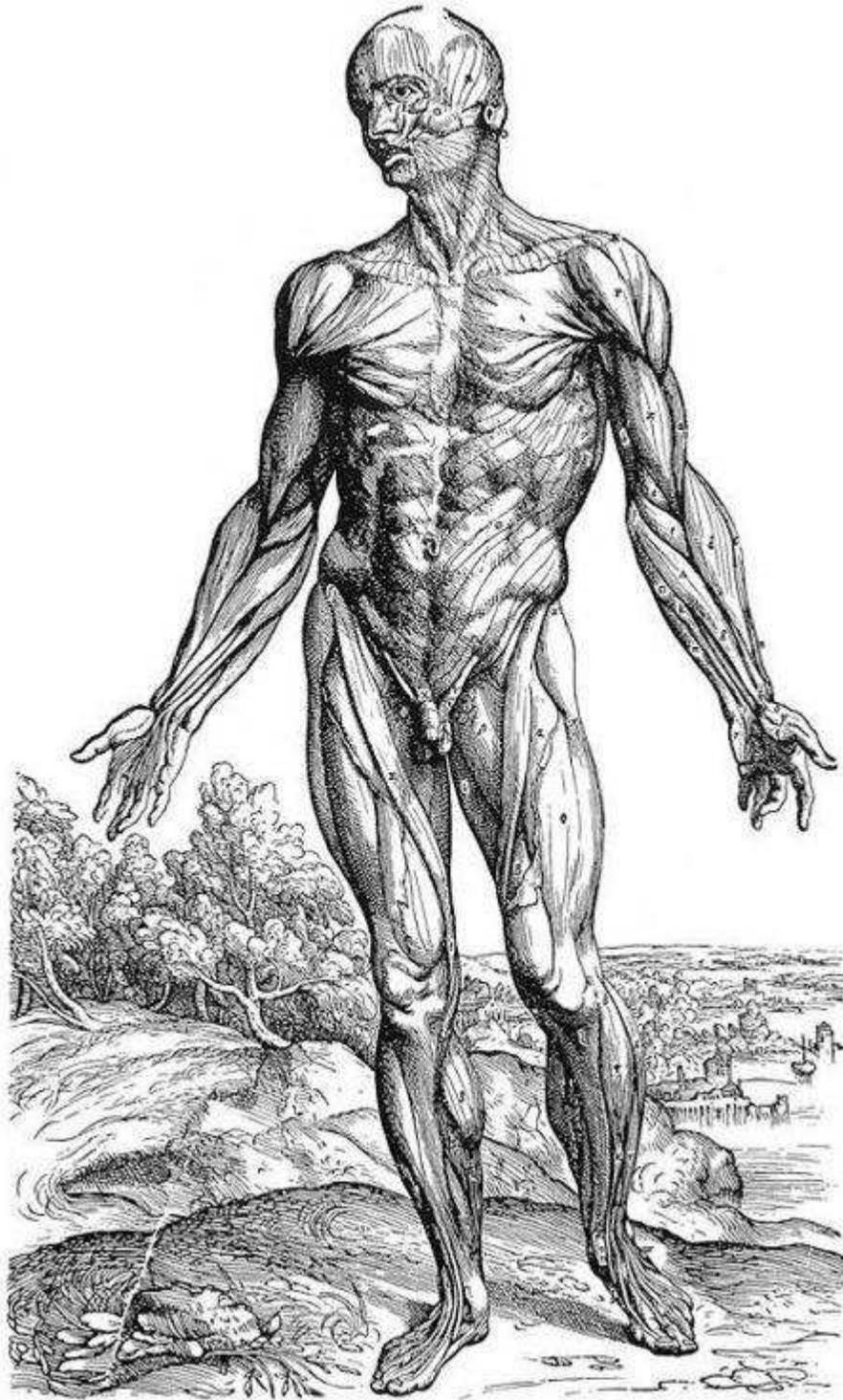


Lámina de *De humani corporis fabrica*.

Mientras que *La fábrica* era, fundamentalmente, un texto de carácter experimental y programático, *Sobre las revoluciones de los orbes celestes* se puede considerar como una obra de filosofía natural y, sobre todo, de matemática aplicada, que no incluía observaciones astronómicas nuevas, ni aspiraba a que sus predicciones fueran de una exactitud sin precedentes. Lo que hizo Copérnico fue recuperar una vieja idea (ya había sido utilizada por uno de los grandes astrónomos griegos, Aristarco de Samos [c. 310-230 a.C.], en cuyo haber se encuentran resultados como el haber identificado la oblicuidad de la eclíptica, el plano que forma la Tierra al girar en torno al Sol; asimismo, en una obra cuya versión latina se publicó por primera vez en 1572, *De magnitudinibus*, la única que nos ha llegado de él, analizó el tamaño del Sol y de la Luna, estimando las distancias entre sí y con respecto a la Tierra): la de que es el Sol y no la Tierra el que se encuentra, inmóvil, en el centro del universo. Una idea que no pudo imponerse, dentro de la tradición astronómica helena, al sistema geocéntrico (la Tierra está en el centro del universo), que culminó en una obra de Claudio Ptolomeo, «Ptolomeo de Alejandría», en la que se resumieron siglos de astronomía griega, conocida por su nombre árabe, *Almagesto* («el más grande»).



Retrato de Copérnico, siglo XVII, anónimo (Biblioteca Universitaria de Bolonia).

Pero la adopción del sistema heliocéntrico que propugnaba Copérnico frente a la visión cosmogónica en la que la Tierra ocupaba el centro del universo, y a la que tan estrechamente ligada estaba la física que desarrolló Aristóteles y que insertó profundamente en todo su sistema científico-filosófico, presentaba problemas. De no haber sido por Johannes Kepler (1571-1630) y Galileo Galilei (1564-1642), el sistema copernicano seguramente habría contribuido a perpetuar el que Ptolomeo inmortalizó, aunque en una forma un poco más compleja pero más grata para algunos.

Antes, sin embargo, de pasar a Kepler y Galileo, es inevitable, a la vista de

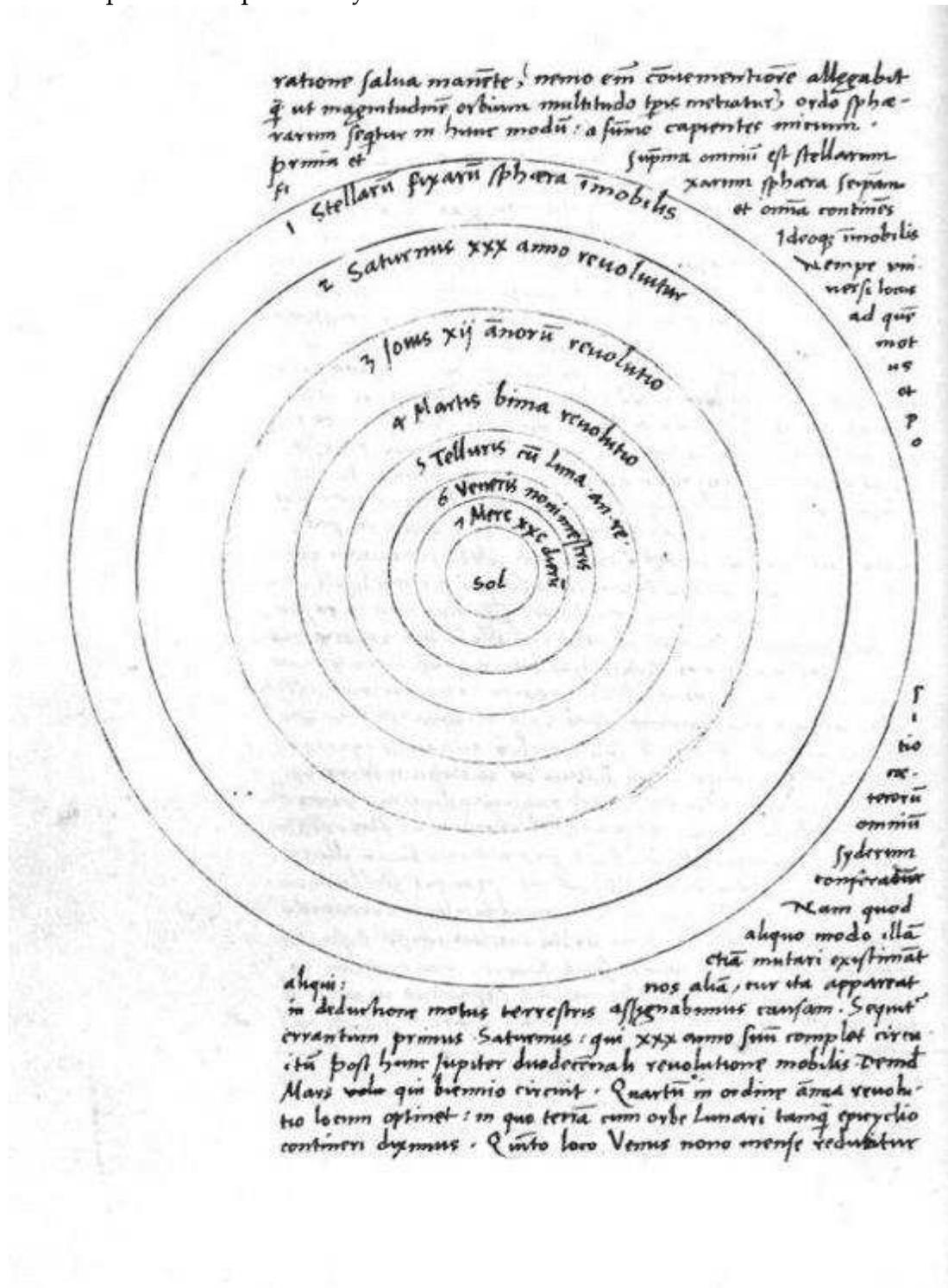
todo lo que se ha escrito sobre el tema, considerar la siguiente pregunta: ¿creía el propio Copérnico en el sistema del mundo que proponía en *De revolutionibus*?, ¿pensaba, efectivamente, que la Tierra gira en torno al Sol, o lo consideraba como un mero artificio?

La conveniencia de plantearse tales cuestiones, en lugar de pensar, simplemente, que por qué no habría de creer en el heliocentrismo, tiene que ver con la actitud reinante entonces en la poderosa Iglesia católica, que favorecía firmemente el sistema aristotélico-ptolemaico, un sistema en el que, repito, la Tierra se encuentra en el centro del universo, visión que se acomodaba bastante bien con la idea cristiana de que los seres humanos (la única criatura creada, según esa religión, a imagen de Dios) constituyen la obra favorita, *central*, de Dios. Y no hay que olvidar el clima reinante entonces dentro de la Iglesia, clima que culminó en el Concilio de Trento (1546), cuando se decretó, dentro del contexto de la lucha contra la Reforma, que al interpretar la Biblia no había que desviarse de las doctrinas mantenidas por los Padres de la Iglesia; en particular que la Biblia también era una fuente de datos científicos y que cualquier afirmación contenida en ella debía tomarse como científicamente verdadera.

Nicolás Copérnico, Prefacio al «Santísimo Señor Pablo III, Pontífice Máximo», *De revolutionibus*: Santísimo Padre, puedo estimar suficientemente lo que sucederá en cuanto algunos aprecien, en estos libros míos, que he escrito acerca de las revoluciones de las esferas del mundo, que atribuyo al globo de la Tierra algunos movimientos, y clamarán para desaprobarme por tal opinión. Pues no me satisfacen hasta tal punto mis opiniones, como para no apreciar lo que otros juzguen de ellas ... Y así, al pensar yo conmigo mismo cuán absurdo estimarían [lo que digo] aquellos que, por el juicio de muchos siglos, conocieran la opinión confirmada de que la Tierra inmóvil está colocada en medio del cielo como su centro, si yo, por el contrario, asegurara que la Tierra se mueve, entonces dudé en mi interior largo tiempo, si dar a la luz mis comentarios escritos sobre la demostración de ese movimiento o si, por el contrario, sería suficiente seguir el ejemplo de los pitagóricos y de algunos otros, que no por escrito, sino oralmente, solían transmitir los misterios de su filosofía únicamente a amigos y próximos... Pero los amigos me hicieron cambiar de opinión, a mí que tanto tiempo dudaba y me resistía... Y quizá, tu Santidad no admirará tanto el que me haya atrevido a sacar a la luz estas elucubraciones, después de tomarme tanto tiempo en elaborarlas, como el que no haya dudado en poner por escrito mis pensamientos sobre el movimiento de la Tierra. Pero lo que más esperará oír de mí es qué me pudo haber venido a la mente para que, contra la opinión recibida de los matemáticos e incluso contra el sentido común, me haya atrevido a imaginar algún movimiento de la Tierra. Y así, no

quiero ocultar a tu Santidad que ninguna otra cosa me ha movido a meditar sobre otra relación para deducir los movimientos de las esferas del mundo, sino el hecho de comprender que los matemáticos no están de acuerdo con aquellas investigaciones. Primero, porque estaban tan inseguros sobre el movimiento del Sol y de la Luna, que no podían demostrar ni observar la magnitud constante de la revolución anual. Después, porque al establecer los movimientos, no sólo de aquéllos, sino también de las otras cinco estrellas errantes, no utilizan los mismos principios y supuestos, ni las mismas demostraciones en las revoluciones y movimientos aparentes. Pues unos utilizan sólo círculos homocéntricos, otros, excéntricos y epiciclos, con los que no consiguen plenamente lo buscado... Tampoco pudieron hallar o calcular partiendo de ellos lo más importante, esto es, la forma del mundo y la simetría exacta de sus partes... En consecuencia, reflexionando largo tiempo conmigo mismo sobre esta incertidumbre de las matemáticas transmitidas para calcular los movimientos de las esferas del mundo, comenzó a enojarme que a los filósofos que en otras cuestiones han estudiado tan cuidadosamente las cosas más minuciosas de ese orbe, no les constara ningún cálculo seguro sobre los movimientos de la máquina del mundo, construida para nosotros por el mejor y más regular artífice de todos. Por lo cual me esforcé en releer los libros de todos los filósofos que pudiera tener, para indagar si alguno había opinado que los movimientos de las esferas eran distintos a los que suponen quienes enseñan matemática en las escuelas. Y encontré en Cicerón que Niceto fue el primero en opinar que la Tierra se movía. Después, también en Plutarco encontré que había otros de esa opinión... En consecuencia, aprovechando esa ocasión empecé yo también a pensar sobre la movilidad de la Tierra... Y yo, supuestos los movimientos que más abajo en la obra atribuyo a la Tierra, encontré ... que si se relacionan los movimientos de los demás astros errantes con el movimiento circular de la Tierra, y si los movimientos se calculan con respecto a la revolución de cada astro, no sólo de ahí se siguen los fenómenos de aquéllos, sino que también se ponen en relación el orden y magnitud de los astros y de todas las órbitas, e incluso el cielo mismo; de tal modo que en ninguna parte puede cambiarse nada, sin la confusión de las otras partes y de todo el universo ... No dudo que los ingeniosos y los matemáticos concordarán conmigo, si, como la filosofía exige en primer lugar, quisieran conocer y explicar, no superficialmente sino con profundidad, aquello que para la demostración de estas cosas ha sido realizado por mí en esta obra. Pero, para que tanto los doctos como los ignorantes por igual vieran que yo no evitaba el juicio de nadie, preferí dedicar estas elucubraciones a tu Santidad antes que a cualquier otro, puesto que también en este remotísimo rincón de la Tierra, donde yo vivo, eres considerado como eminentísimo por la dignidad de tu orden y también por tu amor a todas las letras y a las matemáticas, de modo que fácilmente con tu autoridad y juicio puedes reprimir las mordeduras de los calumniadores, aunque

está en el proverbio que no hay remedio contra la mordedura de un sicofante.



caelestium, conservado en la Biblioteca Jagielloniana de Cracovia.

A la vista de lo que Copérnico escribió en su, literariamente abigarrado, «Prefacio» a *De revolutionibus*, parece que el astrónomo y sacerdote polaco creía en la verdad del sistema heliocéntrico. Resulta, no obstante, que la lectura de *De revolutionibus* quedó condicionada por el contenido de otro «Prefacio» incluido en la obra, que, además, precedía al de Copérnico. Este «Prefacio» apareció en la primera edición sin firmar, pero no fue debido a Copérnico sino a la pluma del teólogo protestante Andreas Osiander (1498-1552), responsable de la edición de la obra, quien lo incluyó, según sabemos, sin que Copérnico, que de hecho murió —el 24 de mayo de 1543— mientras se imprimía su libro, lo autorizase (no se sabe si llegó a ver, en su lecho de muerte, un ejemplar). La opinión que sostenía allí Osiander —«no espere nadie», escribía, «en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo»— no apoyaba que

Andreas Osiander, «Prefacio» a *De revolutionibus*: Divulgada ya la fama acerca de la novedad de las hipótesis de esta obra, que considera que la Tierra se mueve y que el Sol está inmóvil en el centro del universo, no me extraña que algunos eruditos se hayan ofendido vehementemente y consideren que no se deben modificar las disciplinas liberales constituidas ya hace tiempo. Pero si quieren ponderar la cuestión con exactitud, encontrarán que el autor de esta obra no ha cometido nada por lo que merezca ser reprendido. Pues es propio del astrónomo calcular la historia de los movimientos celestes con una labor diligente y diestra. Y además concebir y configurar las causas de estos movimientos, o sus hipótesis, cuando por medio de ningún proceso racional puede averiguar las verdaderas causas de ellos. Y con tales supuestos pueden calcularse correctamente dichos movimientos a partir de los principios de la geometría, tanto mirando hacia el futuro como hacia el pasado. Ambas cosas ha establecido este autor de modo muy notable. Y no es necesario que estas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera que sean verosímiles, sino que basta con que muestren un cálculo coincidente con las observaciones ... Está suficientemente claro que este arte no conoce completa y absolutamente las causas de los movimientos aparentes desiguales. Y si al suponer algunas, y ciertamente piensa muchísimas, en modo alguno suponga que puede persuadir a alguien [que son verdad] sino tan sólo para establecer correctamente el cálculo. Pero ofreciéndose varias hipótesis sobre uno solo y el mismo movimiento (como la excentricidad y el epiciclo en el caso del movimiento del Sol), el astrónomo tomará la que con mucho sea más fácil de comprender. Quizás el filósofo busque más la verosimilitud: pero ninguno de los dos comprenderá o transmitirá nada

cierto, a no ser que le haya sido revelado por la divinidad. Por lo tanto, permítanos que también estas nuevas hipótesis se den a conocer entre las antiguas, no como más verosímiles, sino porque son al mismo tiempo admirables y fáciles y porque aportan un gran tesoro de sapientísimas observaciones. Y no espere nadie, en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo; para que no salga de esta disciplina más estúpido de lo que entró, si toma como verdad lo imaginado para otro uso. fuese verdad el sistema heliocéntrico, y, al aparecer sin firmar, fue tomada, inevitablemente, como el punto de vista del propio autor del libro.

Tal vez por esto *De revolutionibus* tuvo a la postre menos problemas con la Iglesia de Roma —aunque también los terminó teniendo— que otros libros: en 1616, más de 70 años después de su publicación, fue incorporado al *Index Librorum Prohibitorum*, pero quedó proscrito «donec corrigatur» («hasta que sea corregido»), mientras que el *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* de Galileo, prohibido en 1633, ingresó en el *Index* incondicionalmente, y ahí siguió hasta 1835, a pesar de que en 1757 el papa Benedicto XIV había revocado el decreto anti-copernicano.

Kepler y Galileo

Como apunté antes, fueron Kepler y Galileo quienes avanzaron sustancialmente en la dirección de desarrollar una astronomía y una «ciencia del movimiento» que diesen sentido al sistema heliocéntrico, ya que Copérnico no desarrolló una dinámica que hiciera plausible la idea de una Tierra que no se encontraba en reposo: si esto fuese así, si la Tierra estuviera, efectivamente, en movimiento ¿cómo es que los objetos libres no se alejaban de la superficie terrestre?, ¿por qué no se veía que las nubes siempre se dirigían hacia el oeste y los cuerpos arrojados desde una torre no caían al oeste de la base de la misma? Había, en definitiva, que crear una física en la que tuviese cabida la noción de sistemas que mantenían su estado de movimiento si no se les sometía a algún tipo de influencia externa, algo que llevarían a cabo sobre todo Descartes y Newton, con la denominada ley de la inercia, a la que se acercó Galileo, aunque el de Pisa no fuese capaz de abstraer la presencia de la fuerza de la gravedad (para él, un cuerpo dejado libremente sobre, por ejemplo, la superficie de la Tierra tendría como movimiento natural el circular, el correspondiente a la superficie del planeta productor de gravedad; por el contrario, lo que Descartes y Newton dirían es que un cuerpo realmente libre lo es también de la fuerza gravitacional, con lo cual su movimiento es una trayectoria rectilínea, no circular).

A pesar de todo lo que aportaron científicos como Galileo (recordemos en este sentido su gran libro, *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla meccanica i movimenti locali* [*Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias que se ocupan de la mecánica y de los movimientos locales*], publicado en 1638), no hay que pensar que la «ciencia del movimiento» fue creada en los siglos XVI y XVII. Aristóteles, autor de libros como la *Física*, viene enseguida a la mente: fue, en efecto, un estudioso del movimiento, por mucho que las soluciones que dio puedan parecer a muchos tan contaminadas por planteamientos filosóficos que cometan el error de considerarlas «pura metafísica» (en el peor sentido de este otrora noble término). Más acorde, en cualquier caso, con los esquemas que finalmente se impusieron en esa ciencia del movimiento (más concretamente, en el caso de la dinámica de los fluidos) fueron algunos trabajos de otro nombre mítico de la ciencia griega: Arquímedes (c. 287-212 a.C.).

Hijo de un astrónomo, Fidias, tras estudiar en Alejandría, Arquímedes regresó a su ciudad natal, Siracusa (Sicilia), de cuyo rey, Hierón II, era pariente. Sus habilidades tecnológicas (entre sus inventos se encuentra el denominado «tornillo de Arquímedes», un tornillo espiral que se hacía girar dentro de un cilindro y que se podía utilizar para sacar agua de los canales) fueron aprovechadas durante el asedio romano a Siracusa (215-212 a.C.), en el que, según algunos cronistas, inventó una serie de armas e instrumentos que mantuvieron alejada a la flota romana, al provocar incendios en algunos de sus barcos. Según la leyenda, murió en el subsiguiente saqueo de Siracusa, asesinado por un soldado romano, que no fue capaz de hacerle salir de su estudio, inmerso como estaba en sus investigaciones.

Arquímedes, Sobre los cuerpos flotantes: PROPOSICIÓN 5 *Si colocamos en un fluido un sólido más ligero que él, quedará inmerso en la medida en que su peso sea igual al peso del fluido que desaloja.* **PROPOSICIÓN 6** *Si se sumerge a la fuerza en un fluido un sólido más ligero que él, el sólido se verá empujado hacia arriba con una fuerza igual a la diferencia entre su peso y el peso del fluido que desaloja.* Fue también un maestro en las artes matemáticas, logrando con ellas algo que otros ni siquiera se plantearon: aplicar la maestría matemática de los griegos a la investigación de fenómenos naturales tan aparentemente, sólo aparentemente, nimios, como el comportamiento de un sólido en un fluido. Suyo es el denominado «principio de Arquímedes», que afirma que un cuerpo sumergido en un fluido experimenta un empuje igual al peso del volumen del fluido que desaloja, y cuya demostración incluyó en dos proposiciones de uno de sus libros: *Sobre los cuerpos flotantes*.

Regresando ahora al ámbito, no por más materialmente distante menos atractivo, de los movimientos de los cuerpos celestes, hay que detenerse en el ya

citado Johannes Kepler. Ahora bien, es imposible comprender la obra de éste sin recordar, a su vez, al gran astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601).

Brahe fue uno de los más grandes observadores astronómicos de todos los tiempos, sin duda de aquellos anteriores a la introducción del telescopio, superando en la precisión de sus medidas a todos sus predecesores. Apoyado por el rey Federico II (el propio Tycho era noble), pudo construir un gran centro astronómico —Uraninburgo— en la isla de Hven, en el estrecho de Sund, que separa Dinamarca y Suecia, dotado de todos los recursos disponibles en su época para la observación de los movimientos de los cuerpos celestes, entre ellos, en una sala de la planta baja, un enorme cuadrante mural para medir la altitud a la que tales cuerpos cruzaban el meridiano, dentro del cual, como adorno, estaba pintado, a tamaño natural, el propio Brahe sentado.

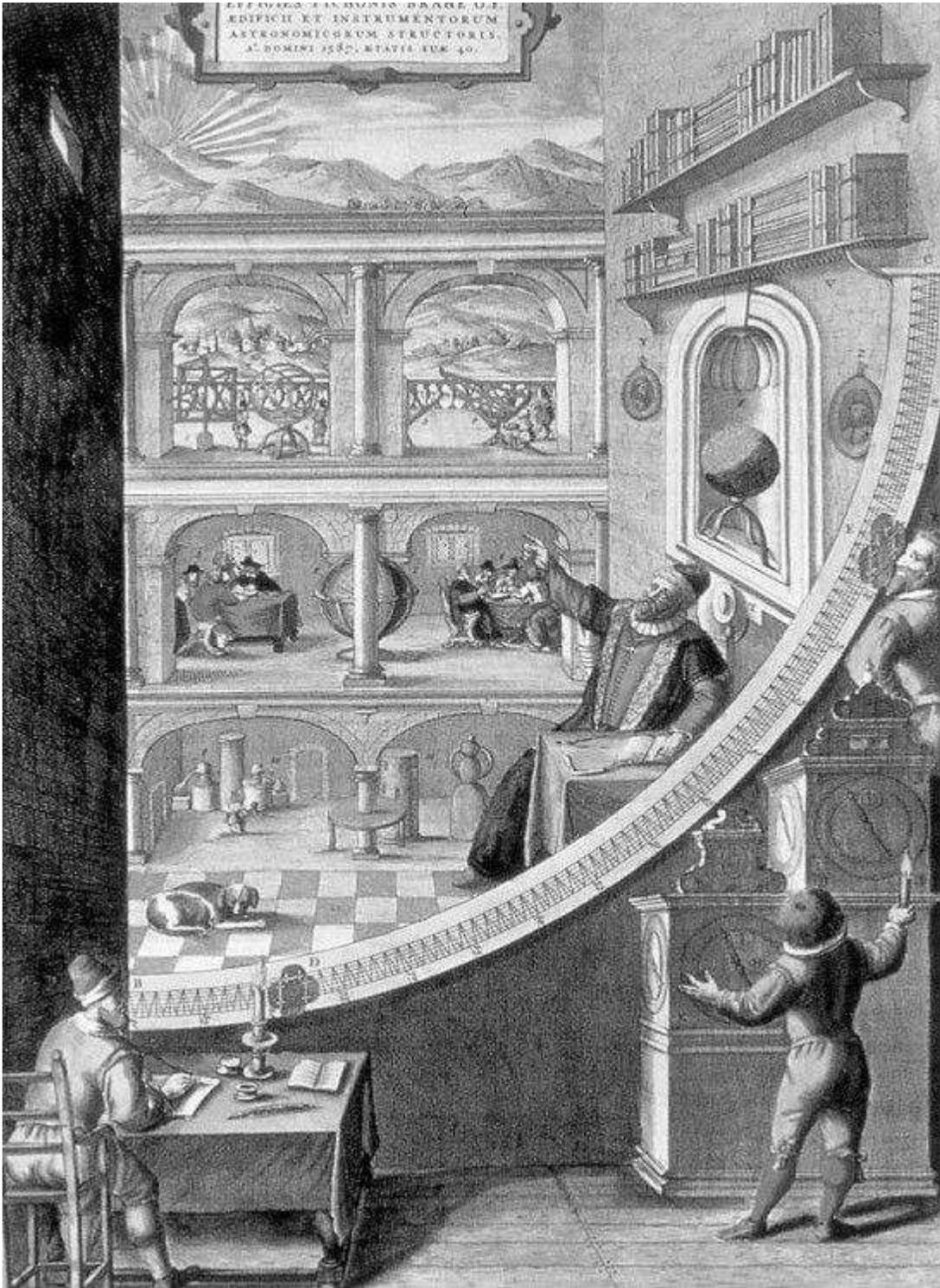
Para acomodar los resultados que obtuvo (muchos de los cuales —entre ellos el descubrimiento, en 1572, de una supernova, la «estrella de Tycho», que apareció repentinamente en la constelación de Casiopea, y que llegó a superar el brillo de Venus, siendo visible en pleno día— incluyó en su gran libro: *Astronomiae instauratae mechanica* [*Instru mentos para la restauración de la astronomía*], cuya edición definitiva vio la luz en 1602), Tycho propuso un modelo a medio camino entre el geocéntrico y el heliocéntrico; uno en el que los planetas giraban en torno al Sol, aunque éste, a su vez, lo hacía alrededor de la Tierra, todavía inmóvil en el centro del universo. En 1599, en una decisión en la que tuvieron que ver problemas que surgieron entre el astrónomo y su rey, Brahe abandonó Dinamarca, instalándose en Praga, como astrónomo y matemático de Rodolfo II, aunque no pudo disfrutar mucho de su nuevo puesto, ya que falleció poco tiempo después.

Como sucesor suyo fue designado uno de sus ayudantes en Praga, Kepler, quien enseguida se sumergió en el estudio de la órbita de Marte, apoyándose en el tesoro que constituían los datos acumulados a lo largo de los años por Brahe. Así, en 1609 publicaba un libro, *Astronomia nova* (*Nueva astronomía*), en el que presentaba sus dos primeras leyes del movimiento planetario, descubiertas tras una ardua tarea en la que indudablemente debió desempeñar un papel importante la realización de interminables cálculos para intentar ajustar a alguna trayectoria los datos de que disponía. Y resultó que las órbitas que mejor se amoldaban a tales datos eran las elípticas, elipses en uno de cuyos focos estaba el Sol (primera ley de Kepler) y no la Tierra, un hecho que evidentemente favorecía las tesis copernicanas, de las que Kepler fue un ferviente admirador. En cuanto a la segunda ley (la de las áreas: el vector radial describe áreas iguales en tiempos iguales), servía para describir la velocidad con que los planetas se movían a lo largo de esas elipses. Y

aún formularía —en *Harmonices mundi* (1619)— una tercera ley, que relacionaba períodos de revolución y distancias al Sol. Merece la pena también señalar que Kepler fue uno de los primeros astrónomos que se benefició en algunos de sus cálculos de la reciente invención de los logaritmos, que el matemático escocés John Napier (1550-1617) difundió especialmente en su libro *Mirifici logarithmorum canonis descriptio*, 1614 (*Descripción de la maravillosa regla de los logaritmos*). Y es que la ciencia, y en particular la astronomía y la física, depende para su avance de los elementos matemáticos de que se dispone en cada momento; hoy son los poderosos ordenadores, mientras que en tiempos de Kepler, fueron los logaritmos.



Retrato de Tycho Brahe en *Astronomiæ instauratæ mechanica* (1602).



El gran mural astronómico, pintado en el observatorio de Uraniburgo, para medir las altitudes a las que los cuerpos celestes cruzaban el meridiano. En él

aparece Tycho Brahe. Lámina de *Astronomiae instauratae mechanica* (1602).

P A R S T E R T I A . 131

CAP. XXIV.

Jam postquam semel hujus rei periculum fecimus, audacia subvechi porro liberiores esse in hoc campo incipimus. Nam conquiram tria vel quotcunque loca vifa MARTIS, Planeta semper eodem eccentrici loco versante: & ex iis lege triangulorum inquiram totidem punctorum epicycli vel orbis annui distantias a puncto æqualitatis motus. Ac cum ex tribus punctis circulus describatur, ex trinis igitur hujusmodi observationibus situm circuli, ejusque augium, quod prius ex præsupposito usurpaveram, & eccentricitatem a puncto æqualitatis inquiram. Quod si quarta observatio accederet, ea erit loco probationis.

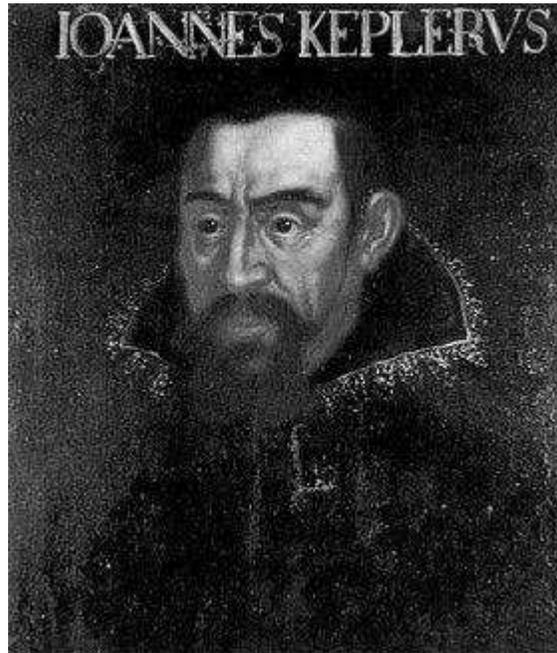
PRIMUM tempus esto anno MDCXX D. V Martii vesperi H. VII M. X eo quod tunc ꝑ latitudine pene caruit, ne quis impertinenti suspitione ob hujus implicationem in percipienda demonstratione impediat. Respondent momenta hæc, quibus ꝑ ad idem fixarum punctum redit: A. MDCXXII D. XXI Jan. H. VI M. XLII: A. MDCXXIII D. VIII Dec. H. VI M. XII: A. MDCXXV D. XXVI Octob. H. V M. XLIV. Estq; longitudo Martis primo tempore ex TYCHONIS restitutione i. 4. 38. 50: sequentibus temporib. toties per i. 36 auctior. Hic enim est motus præcessionis congruens tempori periodico unius restitutionis MARTIS Cumq; TYCHO apogæum ponat in 23 1/2 ꝑ, æquatio ejus erit II. 14. 55: propterea longitudo coæquata anno MDCX i. 15. 53. 45.

Eodem vero tempore & commutatio seu differentia medii motus SOLIS a medio Martis colligitur 10. 18. 19. 56: coæquata seu differentia inter medium SOLIS & MARTIS coæquatum eccentricum 10. 7. 51.

PRIMUM hæc in forma COPERNICANA ut simpliciori ad sensum proponemus.

Sit α punctum æqualitatis circuitus terre, qui putetur esse circulus $\delta\gamma$ ex α descriptus: & sit Sol in partes β , ut $\alpha\beta$ linea apogæi

Lámina de *Astronomia nova* (Heidelberg, 1609) de J. Kepler, mostrando una misma situación astronómica según los sistemas de Copérnico, Ptolomeo y Brahe.



Retrato de Johannes Kepler, anónimo.

Y así llegamos a Galileo Galilei, con quien la fuerza de las ideas copernicanas se hizo tan patente, que terminaría desencadenando acontecimientos sociales que arrastrarían con ellos al físico pisano. Ello fue la consecuencia inesperada de una serie de observaciones que llevó a cabo y que sacaron a la luz las deficiencias del universo aristotélico-ptolemaico. El que Galileo realizara tales observaciones fue, en principio, sorprendente, ya que era un físico, más preocupado por el estudio del movimiento, por encontrar las leyes que regían fenómenos como la caída de un cuerpo esférico por un plano inclinado o el tiempo que tarda un péndulo en batir, y no un astrónomo. Sin embargo todo cambió, su vida y a la postre, en más de un sentido, el mundo, cuando supo de la existencia de lentes (telescopios refractores) que agrandaban las imágenes de objetos lejanos.

Al oír de la existencia de tales instrumentos (parece que durante una visita que realizó a Venecia en julio de 1609), Galileo decidió construir uno él mismo. Al principio, pensó en él como un aparato cuya utilidad era más práctica que científica —«este instrumento», escribía el 24 de agosto de 1609 a Leonardo Donato, duque de Venecia, «acerca hasta tal punto al ojo los objetos visibles y los representa tan claros y distintos que si un objeto se encuentra, por ejemplo, a nueve millas de distancia, aparece como si sólo estuviera alejado una milla, lo que en todo negocio o empresa marítima o terrestre puede ser de un provecho inestimable»—, pero no tardó en dirigirlo hacia el cielo, viendo que el universo era muy diferente a la armonía de los cinco elementos (cuatro —aire, fuego, tierra y agua— imperfectos, y uno —el éter, la quintaesencia— perfecto), organizados en dos capas, la del mundo sublunar y la del supralunar, mundano y contingente aquél, inmutable y esféricamente perfecto éste, que imaginaban los aristotélico-ptolemaicos.

Con un tosco telescopio de pocos aumentos que él mismo construyó, observó —en noviembre de 1609— la Luna y en su superficie contempló la misma desigual geografía que existía en la Tierra. Vio manchas, que interpretó, correctamente, como producidas por las sombras de «las crestas de las montañas y los abismos de los valles» (*Sidereus nuncius* [*El mensajero sideral*]; 1610). El mundo supralunar no se distinguía, por tanto, del terrestre, una conclusión esta que sus posteriores observaciones de Júpiter, en enero de 1610, confirmaron: en las proximidades de este planeta detectó cuatro satélites —«planetas medíceos», los bautizó, buscando favores de los Medici—, que ofrecían una versión en miniatura del universo copernicano; los satélites orbitaban en torno a Júpiter, mientras que el sistema aristotélico-ptolemaico sólo admitía revoluciones alrededor de una estática Tierra. Desaparecía de esta manera uno de los obstáculos que se erigían ante la tesis que Copérnico había defendido.



Portada de Johannes Kepler, *Tabulae Rudolphinae* (1627), en la que se ve a Hiparco, Copérnico, Brahe y Ptolomeo.



Portada de *Machina coelestis pars prior* (1673-1679) de Johannes Hevelius (1611-1687), en la que aparecen Hiparco y Ptolomeo junto a Copérnico y Brahe.

Aquellas observaciones —y otras, como la detección de manchas solares— dieron a Galileo una extraordinaria notoriedad en el pequeño mundo de los astrónomos y filósofos de la naturaleza de su época, notoriedad que se afianzó cuando publicó en 1632 un libro inmortal, *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico, e Copernicano* (Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, ptolemaico y copernicano), una obra maestra de la literatura científica, escrita en lengua vernácula, el italiano, en una época en la que el latín era el idioma utilizado en este tipo de textos. Los tres personajes creados por Galileo para protagonizar ese diálogo (también aparecen en el ya citado *Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze*), Salviati, Sagredo y Simplicio, copernicano el primero, neutral el segundo y aristotélico el último, han pasado a formar parte de la cultura

universal, de la misma manera que lo han hecho otros personajes de ficción, como pueden ser, por ejemplo, don Quijote y Sancho Panza. Lo mismo que ha pasado a la memoria colectiva el recuerdo de los problemas que tuvo con la Iglesia católica, las condenas que ésta dictó, primero en 1616 y luego, mucho más firme, en 1633. «Eppur si muove» («Y sin embargo se mueve»), dicen que murmuró cuando se vio obligado, ante el Tribunal de la Inquisición reunido en Roma, el 22 de junio de 1633, a admitir que la Tierra no se movía, a abjurar de sus convicciones copernicanas. Aun suponiendo que fuese así, triste consuelo sería; lo único cierto es que fue humillado, la verdad científica escarnecida, y Galileo confinado hasta su muerte en una villa que poseía en Arcetri.

Los descubrimientos, observaciones y desarrollos teóricos realizados por Galileo, junto con los producidos por Kepler y las contribuciones de Descartes, a quien se debe la ley de la inercia (la primera ley del movimiento en la mecánica clásica), allanaron el camino para la obra de Isaac Newton. Ahora bien, a pesar del trascendental papel desempeñado por estos y otros científicos, constituiría un profundo error olvidar otros factores que también contribuyeron a que pudiese existir la ciencia newtoniana, factores que forman parte esencial de la Revolución Científica. Me estoy refiriendo a la aparición de nuevas instituciones que promovieron la investigación científica.

El asociacionismo científico

Las ideas (experimentos, conceptos y teorías) científicas pueden surgir en ocasiones en escenarios solitarios: Newton llevó a cabo una gran parte de su obra científica con los limitados recursos que poseía en sus habitaciones del Trinity College de Cambridge, aunque, por supuesto, necesitó conocer lo que otros científicos habían descubierto. Pero, tomada en su conjunto, la actividad científica requiere —tanto más cuanto más desarrollada y profesionalizada está— de instituciones en las que los científicos reciban educación especializada, realicen sus experimentos, intercambien ideas y publiquen sus trabajos. También en este sentido la época de la Revolución Científica fue singular, ya que en ella se crearon instituciones como las primeras sociedades científicas realmente significativas y estables.

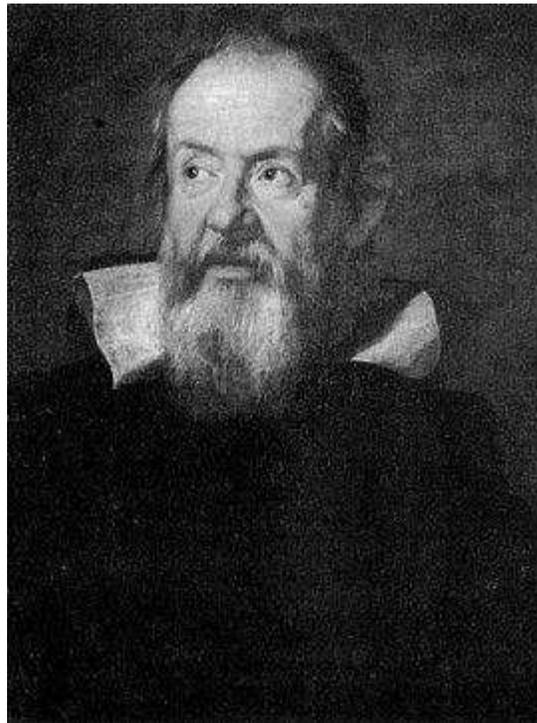


Retrato de Galileo incluido en *Il saggiatore* (Roma, 1623).



Portada de *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo Tolemaico e Copernicano* (Florencia, 1632) de Galileo.

En la Europa del siglo XVI comenzaron a proliferar las universidades. Podemos hablar de ellas, y con razón, como centros de saber. Pero es esta una denominación un tanto equívoca, ya que las universidades eran entonces, sobre y por encima de todo, centros de enseñanza y, de hecho, sus planes de estudios y división en facultades se mantuvieron estáticos durante siglos. Se necesitaba otro tipo de instituciones para que la ciencia pudiera desarrollarse verdaderamente: las academias y sociedades científicas. Y fue en Italia donde comenzaron a surgir.



Retrato de Galileo Galilei debido a Justus Sustermans (1597-1681), siglo XVII (Florencia, Galería de los Uffizi).



Dibujos de Galileo sobre la Luna, mostrando los perfiles y sombras que observó. Galileo, *Sidereus nuncius* (Venecia, 1610).

La primera academia que podríamos denominar moderna fue la Accademia dei Lincei de Roma (1603-1630), fundada por el duque Frederico Cesi, un hábil experimentador, especialmente interesado en el estudio de las abejas y las plantas, aficionado a coleccionar objetos naturales y que poseía un jardín botánico. Asimismo, es obligado recordar a la Accademia del Cimento de Florencia (1657-1667) —*Cimento* significa «experimento» (el lema de la Academia era «*Provando e riprovando*»)—, en la que nueve científicos (la mayor parte discípulos de Galileo, como Evangelista Torricelli [1608-1647] o Giovanni Borelli [1608-1678]) se esforzaron durante una década en construir instrumentos, desarrollar sus habilidades experimentales y buscar leyes que expresasen el comportamiento de la naturaleza. Estas academias precedieron a otras cuyas actividades y trascendencia serían mucho mayores. Como la Royal Society de Londres (fundada en 1660), que llegaría a presidir el propio Newton, la Académie Royale des Sciences de París (1666), o la Academia de Berlín, fundada por Leibniz en 1700.



Grabado realizado en 1773 por G. Vascellini (*Serie di ritratti d'uomini illustri toscani*) representando una reunión de la Accademia del Cimento. Nótese el lema de la Academia inscrito en la pared: «Provando e riprovando».

Las academias, esas academias en concreto, proporcionaban un medio de comunicación entre científicos, algo necesario para el progreso de la ciencia, pero hacía falta más. Una limitación importante de estas corporaciones era su reducido ámbito de influencia: una ciudad, la mayor parte de las veces; Londres para la Royal Society, París para la Académie des Sciences, aunque es cierto que su influencia se expandía, individualmente, mucho más allá. El establecimiento de sistemas postales estables (en Inglaterra existió desde comienzos del siglo XVI un servicio postal para las cartas de Estado, pero hasta mediados del siglo siguiente no se creó una oficina postal general para la correspondencia privada) representó una ayuda considerable, ya que el intercambio epistolar entre los científicos constituyó un medio de comunicación muy importante, como muestra la voluminosa correspondencia de científicos e informadores casi profesionales como John Wallis, Robert Boyle, Christiaan Huygens (1629-1695), Marin Mersenne (1588-1648) y Henry Oldenburg (1615-1577), el secretario de la Royal Society que convirtió la

correspondencia científica en un arte.

Otro medio de comunicación y difusión científica, desarrollado durante la Revolución Científica, que ha perdurado hasta la fecha y que se convertiría en un elemento fundamental del sistema científico, fueron las revistas, como las *Philosophical Transactions* de la Royal Society, cuyo primer número apareció en marzo de 1665, o las *Acta Eruditorum* (1682) y el *Nouvel Journal des Sçavans* (1698), en donde se publicaron descripciones de muchas de las principales investigaciones de la época. (Naturalmente, el que pudiesen existir revistas científicas —lo mismo que libros que, aunque fuese en ediciones limitadas, se difundían a lo largo de diferentes territorios— fue posible gracias a la invención de la imprenta, concretada en la publicación, a cargo de Johannes Gutenberg [c. 1398-1468], de la Biblia de 42 líneas en 1455.)

Editorial del primer número de las *Philosophical Transactions* (6 de marzo de 1665): Dado que para fomentar el progreso en las cuestiones filosóficas no hay nada mejor que la comunicación de todo cuanto se descubra o ponga en práctica a cuantos dedican a las mismas sus estudios y sus esfuerzos, parece lógico servirse de la imprenta como procedimiento idóneo para complacerles, puesto que su entrega a tales estudios y su pasión por el progreso del saber y las invenciones útiles les hace merecedores de conocer los frutos de cuanto en este reino y en otras partes del mundo se produce, así como del progreso de los estudios, trabajos y ensayos que en estas materias realizan hombres doctos y curiosos, por no hablar ya de sus éxitos y descubrimientos; a fin de que tales logros puedan comunicarse de forma clara y fidedigna, y de cara a la consecución de un conocimiento más seguro y útil, cualquier esfuerzo e iniciativa será bien recibido, al tiempo que se invita y alienta a aquellos que estudian y discuten estas cuestiones a que examinen, investiguen y descubran nuevas cosas, a que se transmitan unos a otros los conocimientos y a que contribuyan en la medida de sus posibilidades a la gran empresa del desarrollo del conocimiento natural y del perfeccionamiento de todas las disciplinas filosóficas. Todo ello por la gloria de Dios, el honor y el progreso de los reinos y el bienestar de toda la humanidad. Y ahora, ya sí, es el momento de entrar de lleno en la biografía y ciencia del «grande entre los grandes»: Isaac Newton.

Isaac Newton

Newton, en mi opinión la mente más poderosa de la que tiene constancia la humanidad, nació en las primeras horas del día de Navidad de 1642. Hijo póstumo

—y prematuro— de un pequeño agricultor, creció en la casa paterna, un caserío de Woolsthorpe, en Linconshire (Inglaterra). En 1645, su madre, Hannah, se casó de nuevo, esta vez con un clérigo: Barnabas Smith (1582-1653), rector de North Witham. Isaac no acompañó a su madre, permaneciendo con su abuela en Woolsthorpe, cerca —2 kilómetros— desde el punto de vista de las distancias, pero lejos, muy lejos, desde el más relativo, aunque no menos real, de las emociones. Barnabas, que entonces tenía sesenta y tres años, vivió hasta los setenta y uno y Hannah tuvo tres hijos con él, con los que regresó a Woolsthorpe en 1653. Todos estos hechos no debieron ser fáciles para un espíritu tan obsesivo como el de Newton, dando ocasión, siglos más tarde, a que algunos investigadores (como Frank E. Manuel) explorasen su subterráneo y poderoso universo mental recurriendo a enfoques psicoanalíticos.

La carrera universitaria, y a la postre científica también, del joven Isaac comenzó en los primeros días de junio de 1661, cuando fue admitido en el Trinity College de Cambridge. Aunque gozó del privilegio de recibir una educación superior, lo hizo con la limitación de ingresar en la Universidad como *subsizar*, es decir, como un estudiante pobre, que pagaba su estancia con trabajos serviles para los *fellows* (miembros del college) y estudiantes más ricos. El orgullo, el inmenso orgullo, de Isaac debió de sufrir ante semejante situación. En cualquier caso, de lo que no hay duda es de que las habilidades y conocimientos de Newton florecieron en Cambridge, lugar que sería su hogar durante una buena parte de su vida, hasta que en 1696, ya reconocido y poderoso, abandonó las orillas del Cam por Londres, para implicarse en la dirección del Mint, la Casa de la Moneda inglesa.

Un momento culminante de su estancia en Cambridge fue cuando, en 1669, obtuvo la cátedra lucasiana (instituida en 1663 con las rentas de las cien libras que dejó para tal fin en su testamento Henry Lucas), lo que haría posible que se dedicase por completo a la filosofía natural, completando una obra científica tan extraordinaria que no es posible hacerle justicia en pocas palabras.



Grabado de Sébastien Le Clerc en que aparece Luis XIV (con sombrero de plumas) visitando la Académie des Sciences en 1671. Junto a él, su ministro de Finanzas y responsable principal de la organización en 1666 de la academia, y en la lejanía, construyéndose, el observatorio astronómico de la Académie.

Aunque el campo de sus intereses científicos fue muy amplio, donde Newton alcanzó su mayor altura fue en matemáticas y física, dos ciencias íntimamente relacionadas entre sí, como ya tuve ocasión de comentar en el capítulo anterior; la física, recordemos una vez más, pretende codificar en forma de expresiones matemáticas las regularidades que detectamos en la naturaleza. Newton se aprovechó especialmente de este hecho, ya que una de sus grandes —sin duda la mayor— aportaciones a la matemática, la versión del cálculo diferencial denominada cálculo de fluxiones, le permitió explorar con una precisión y seguridad antes desconocida el universo de los movimientos. No es, por supuesto, que todo problema matemático tenga que poseer una conexión física, y el propio Newton planteó y resolvió muchas cuestiones matemáticas puras, tantas que habría pasado a la historia de la ciencia aunque no hubiera escrito una sola línea sobre los fenómenos que tienen lugar en la naturaleza, pero no hay duda de que su gran

momento tuvo que ver con la manera en que combinó matemáticas (mezclando el antiguo, tradicional, estilo geométrico euclidiano con el fluxional) y física, una combinación con la que de hecho estableció el método científico de la ciencia moderna, y que alcanzó su cumbre con la publicación, en 1687, de uno de los clásicos universales de la ciencia: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios matemáticos de la filosofía natural*), seguramente el tratado científico más influyente jamás escrito. Pero es pronto todavía para abordar los *Principia*.

Por lo que sabemos, la base del método newtoniano de las fluxiones, que introdujo una profunda revolución en la matemática, data del verano de 1665, encontrándose expuesto en un tratado de octubre de 1666, aunque su desarrollo más completo aparece en *De methodis fluxionum et serierum infinitorum* (1670-1671). Ninguno de estos trabajos fue publicado entonces: el de 1665, vería la luz de la letra impresa en 1967, el de 1666 en 1962, y el de 1670-1671 en 1736.

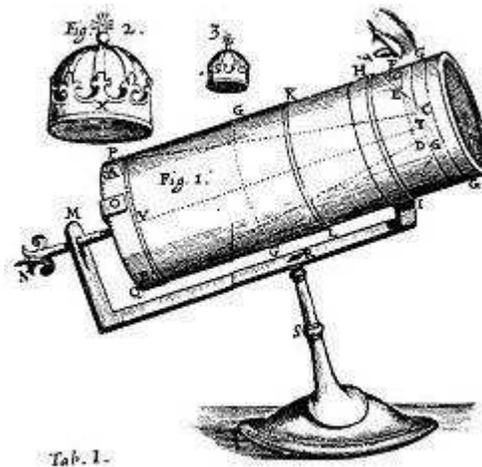
La matemática newtoniana frente a la analítica

El método fluxional fue la primera versión de cálculo diferencial ideada, pero pronto encontró un competidor: el cálculo infinitesimal desarrollado por otro gigante: Gottfried Wilhelm Leibniz. Ambos métodos son virtualmente idénticos, lo que no quiere decir que sean igualmente recomendables. Pero antes de entrar en este punto, es inevitable referirse a la agria polémica que surgió entre ambos pensadores y sus respectivos seguidores a propósito de la prioridad en la invención.

Se ha escrito tanto sobre aquella polémica, que destiló enormes dosis de maldad, vanidad y mezquindad en espíritus supuestamente elevados, que lo mejor es limitarse a apuntar algunos datos. Así, no hay dudas acerca de la prioridad de Newton, una prioridad que se complicó (en lo que a reconocimiento público se refiere) debido al patológico rechazo de éste a que se publicasen sus descubrimientos. Pero a pesar de esa aversión, algunos datos salieron de su estudio:

Isaac Barrow envió a John Collins (1625-1683) una copia de uno de los manuscritos newtonianos, *De analysi per æquationes*, que versaba sobre las series infinitas en su aplicación a las cuadraturas, una cuestión no centrada en el cálculo fluxional, pero sí relacionada con él. Desde entonces Collins (que preparó una copia de *De analysi* para su propio uso) persiguió con ahínco a Newton, cuyo genio matemático reconoció. Uno de los frutos de esa persecución fue la carta que el 10 de

diciembre de 1672 le escribió Newton, en la que incluía como comentario aparentemente casual, sin entrar en detalles, que había desarrollado un método general que además de permitirle encontrar la tangente a cualquier curva (la esencia, recordemos, de la derivación), servía asimismo para resolver «otros tipos de problemas más abstrusos», como longitudes, áreas o centros de gravedad de curvas. Cuestiones estas, por supuesto, que constituyen el primer objetivo de un cálculo diferencial e integral.



Telescopio reflector construido por Newton. Dibujo incluido en su artículo «An accompt of a new catadioptrical telescope invented by Mr. Newton» (1672).

Cuando el secretario de la Royal Society, Oldenburg, una de cuyas funciones era, como ya apunté, mantener una red de corresponsales a los que informaba de logros científicos de interés, pidió ayuda a Collins para que le contase acerca de qué trabajos matemáticos se estaban llevando a cabo en Inglaterra, éste preparó un extenso sumario (conocido como *Historiola*), que incluía detalles de la carta de Newton de diciembre de 1672. Y en este punto entra en la historia Leibniz, que visitó Londres entre enero y marzo de 1673: allí conoció a Oldenburg, quien poco después, el 6 de abril, le envió una carta en la que utilizaba el informe preparado por Collis. En el otoño de 1675, Leibniz desarrollaba las ideas principales de su cálculo diferencial. El 26 de junio de 1676, Oldenburg enviaba a Leibniz un resumen de la *Historiola*; éste, a su vez, realizó una nueva visita a Londres en octubre,

momento en el que Collis le mostró su copia de *De analysi* y la versión completa de la *Historiola*. Todo, absolutamente todo, sin que Newton supiera nada. En 1684, Leibniz sacaba a la luz *Nova methodus pro maximis et minimis*, su primera publicación sobre el cálculo, que se limitaba a la diferenciación; en 1686 aparecía *De geometria recondita*, que ya incluía la integración.

Está claro, por consiguiente, que Newton fue el primero en descubrir el cálculo diferencial. Menos claro es cuál fue la deuda de Leibniz a los escritos newtonianos a que tuvo acceso, no muy explícitos, desde luego. En el peor de los casos, siempre se podría decir aquello que escribió Bernard le Bovyer de Fontenelle (1675-1757), el literato secretario perpetuo de la Académie des Sciences de París, quien en el *éloge* que dedicó a Newton, como *associé étranger*, tras la muerte de éste, escribió: «y si [Leibniz] tomó [el cálculo diferencial] de sir Isaac, al menos se asemejó al Prometeo en la fábula, que robó fuego a los Dioses para dárselo a la humanidad». Para Fontenelle, Newton era, por supuesto, uno de esos Dioses.

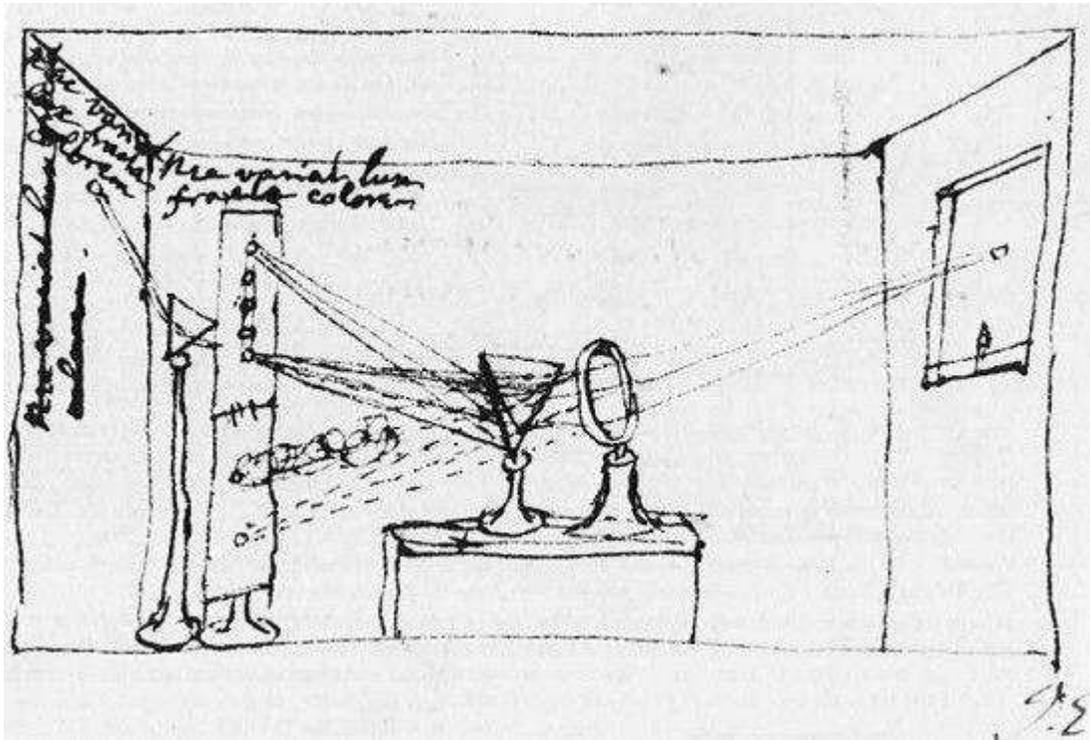
Pero Leibniz hizo mucho más que poner a disposición del mundo un precioso instrumento que Newton no parecía dispuesto a compartir. La versión leibniziana del cálculo ofrece muchas ventajas. La notacional es una de ellas: la que él diseñó se ha mantenido, prácticamente inalterada, hasta la fecha. Y no es la única, ni siquiera la principal ventaja: la versión newtoniana del cálculo depende mucho más de la idea (e imagen) de movimiento que la de Leibniz; es, en consecuencia, menos poderosa a la hora de manipular formalmente ecuaciones; menos, en definitiva, abstracta. El cálculo diferencial de Leibniz se amoldó perfectamente a (más bien, habría que decir que propició) la revolución *analítica* que se introdujo en la matemática europea durante la segunda mitad del siglo XVIII.

Pero la revolución analítica se afincó sobre todo en el continente europeo, no en las Islas Británicas, en donde su entrada tardó en producirse, debido, precisamente, al prestigio de Newton. Sería gracias a William Whewell (1794-1866) que esta situación comenzaría a cambiar. En su influyente tratado *The Philosophy of the Inductive Sciences* (1840), Whewell, que ocupó cátedras de mineralogía y filosofía moral en Cambridge, siendo, además, *master* del Trinity College entre 1841 y 1866, expresó excelentemente la situación: «Los métodos sintéticos de investigación seguidos por Newton fueron... un instrumento, sin duda poderoso en su excelsa mano, pero demasiado pesado para que lo pudieran emplear con éxito otras personas. Los compatriotas de Newton fueron los que más tiempo se adhirieron a tales métodos, debido a la admiración que sentían por su maestro y, por este motivo, los cultivadores ingleses de la astronomía física se quedaron rezagados frente a los progresos de la ciencia matemática en Francia y Alemania, por un gran margen que

sólo recientemente han superado. En el continente, las ventajas ofrecidas por el uso habitual de símbolos, y por la atención prestada a su simetría y otras relaciones, fueron aceptadas sin reserva. De esta manera, el Cálculo Diferencial de Leibniz que fue, en su origen y significado, idéntico al Método de Fluxiones de Newton, pronto sobrepasó a su rival en la extensión y generalidad de sus aplicaciones a problemas». Como saben muy bien los estudiosos de la economía, ser el primero no siempre es lo mejor: introduce unas ligaduras de las que no es fácil desprenderse.

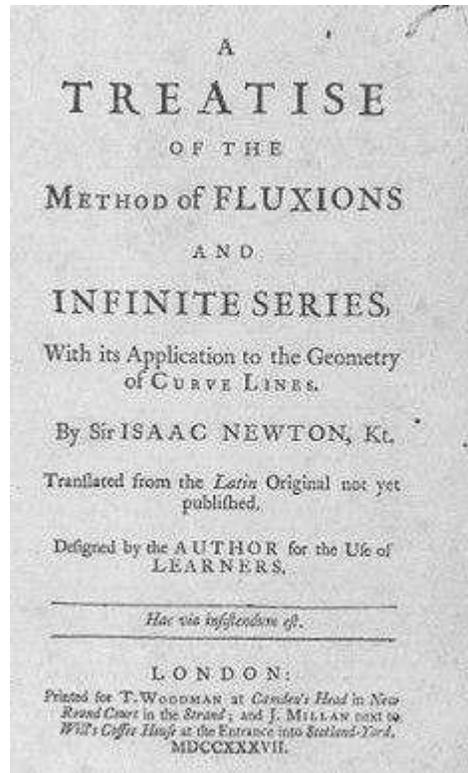
Investigador de la naturaleza

A la par que sus indagaciones matemáticas, Newton comenzó a explorar el mundo de la naturaleza. Estimulado por los cursos de óptica de Barrow en Cambridge y la teoría de la luz de Descartes, hacia 1664 empezó a interesarse por los fenómenos ópticos. No fue, sin embargo, hasta 1666 (año que pasó en la finca familiar de Woolsthorpe debido a una epidemia que obligó a cerrar la universidad en agosto de 1665) cuando intensificó sus esfuerzos, recurriendo a un instrumento simple pero en sus manos extremadamente precioso: un prisma de vidrio. He aquí como se refirió al inicio de sus experimentos en el artículo que publicó en el número del 19 de febrero de 1672 de las *Philosophical Transactions* de la Royal Society: «A comienzos del año 1666 (momento en el que me apliqué a pulir cristales ópticos de formas distintas a la esférica) me proporcioné un prisma triangular de cristal, para ocuparme con él del celebrado Fenómeno de los Colores. Habiendo oscurecido mi habitación, hice un pequeño agujero en una contraventana, para dejar pasar sólo una cantidad conveniente de luz del Sol, y coloqué mi prisma en su entrada, de manera que pudiese ser refractado en la pared opuesta. Al principio, ver los vivos e intensos colores así producidos constituyó una muy entretenida distracción, pero después de un rato intentando considerarlos más cuidadosamente, me sorprendió verlos en forma oblonga, cuando, según las leyes aceptadas de la Refracción, esperaba que hubiesen sido circulares».



Esbozo debido al propio Isaac Newton de uno de sus experimentos sobre la luz y los colores. En la parte superior, a la izquierda, se lee: «Nec variat lux fracta colorem» («Tampoco la luz refractada cambia de color [en una segunda refracción]»). Manuscrito de 1721 (Bodleian Library, Oxford University).

Semejante anomalía le indujo a recurrir a un segundo prisma, con el que llegó a la conclusión de que los colores (observados desde hacía ya siglos) que aparecían al pasar la luz blanca por los prismas no eran «cualidades de luz, derivadas de refracciones o reflexiones de cuerpos naturales (como se cree generalmente), sino propiedades originales o innatas». La luz visible se convertía, en consecuencia, en la combinación de diferentes colores elementales, como muestra con particular claridad el arco iris.



Portada de I. Newton, *A Treatise of the Method of Fluxions and Infinite Series*, publicado en 1737, pero escrito por Newton (en latín) en 1671.



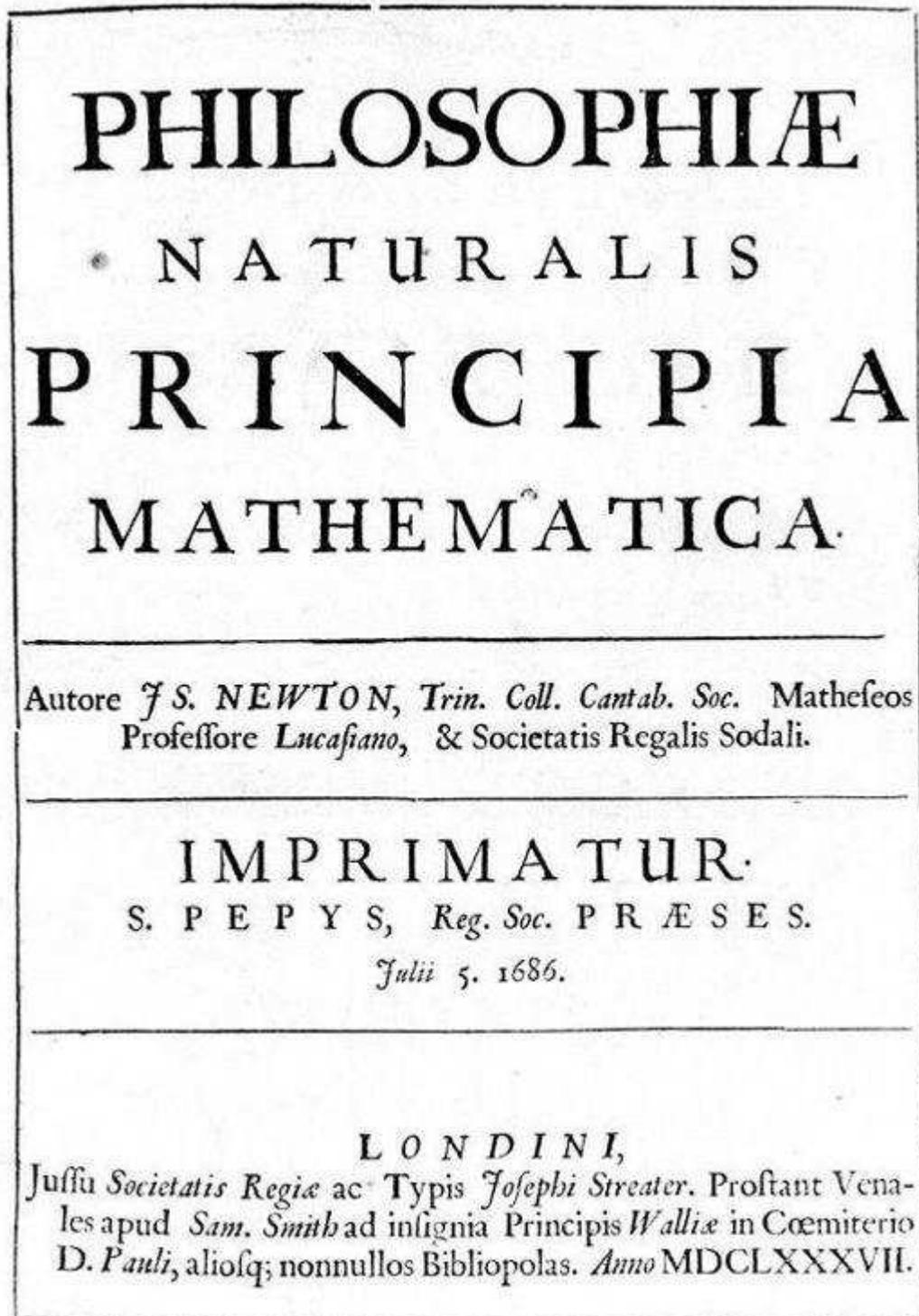
Página de Gottfried W. Leibniz, «Nova methodus pro maximis & minimis» (Acta Eruditorum, 1684).

Sus análisis de la dispersión y composición de la luz le sugirieron una forma de perfeccionar el telescopio, el instrumento indispensable para escudriñar el cosmos desde que Galileo lo introdujera para tales fines a comienzos de aquel siglo: comprendiendo que era, como escribió en la *Óptica*, «un intento desesperado el mejorar los telescopios de longitudes dadas, por refracción», construyó un telescopio *reflector*, que utilizaba dos espejos (uno curvo y otro plano) y que superaba a los hasta entonces en uso, eliminando la aberración cromática producida por las lentes. De hecho construyó dos: uno lo guardó para utilizarlo él mismo y el otro lo donó a la Royal Society, como reconocimiento por haberle elegido uno de sus miembros (el número 290) el 11 de enero de 1672. Llegaría el día en que sería el todopoderoso presidente de esa sociedad.

El anuncio realizado en el número del volumen correspondiente a 1672 de las *Philosophical Transactions* de sus observaciones e interpretaciones en el dominio

de los fenómenos ópticos, dio origen a una de las cosas que Newton más detestaba: la polémica. Y si la detestaba era, por encima de todo, porque significaba que su autoridad era cuestionada, algo que él no podía aceptar. Humilde, ciertamente, nunca fue; sí, por el contrario, huraño, susceptible y desconfiado (alguien dijo de él que padecía de un tipo de lo que vulgarmente llamamos neurosis aguda en grado extremo. «Uno de los más temerosos, cautos y suspicaces temperamentos que jamás conocí», aseguraba William Whiston, su sucesor, como ya señalé, en la cátedra lucasiana). Entró en conflicto, en particular, con Robert Hooke (1635-1703), el conservador (*curator*) de la Royal Society, magnífico científico él mismo (entre sus obras se encuentra la célebre *Micrographia* [1665], una de las obras fundacionales de la microscopía). Aquel agrio choque retraería aún más a Isaac de cualquier inclinación a publicar sus resultados, como se pondría de manifiesto más tarde a propósito de los *Principia*, y explica en parte también por qué tardó tanto en dar a la imprenta la obra en la que englobó sus investigaciones e ideas ópticas: hasta 1704 no apareció la *Óptica*, su «otro» gran libro.

La *Óptica* es una obra mucho más accesible que los *Principia*. Esto es debido a que su componente matemático es muy pequeño y elemental, fruto, naturalmente, de la inexistencia entonces de una teoría general de los fenómenos de que se ocupa. Aun así, se trata de un libro en el que se observa con prístina claridad un componente básico del método newtoniano: la relación dialéctica entre observación e interpretación teórica. Más que Newton, el matemático, el protagonista principal de este texto es Newton el hábil experimentador. Digno de reseñar es, asimismo, la inclusión de una serie de «Cuestiones» (ya he utilizado alguna) en las que proponía «algunos interrogantes para que otros emprendan ulteriores investigaciones». Independientemente de su valor para tan, en principio, noble fin como el de estimular a otros, las «Cuestiones» de la *Óptica* constituyen una de las raras ocasiones en las que Newton, el Newton que hizo norma de comportamiento el «Hypothesis non fingo» («No hago hipótesis») —aunque, por supuesto, las hiciese—, expresaba opiniones que no podía defender con argumentos firmes. No es, desde luego, frecuente encontrarse con textos publicados mientras vivía en los que se lean sentencias como: «¿Acaso el calor de la habitación templada no se transmite a través del vacío por las vibraciones de un medio más sutil que el aire y que permanece en el vacío una vez eliminado el aire?» (Cuest. 18; 2.^a edición), o «¿Acaso el movimiento animal no se debe a las vibraciones de este medio, excitadas en el cerebro por el poder de la voluntad y propagadas desde ahí a través de los capilamentos sólidos, transparentes y uniformes de los nervios hasta los músculos, a fin de contraerlos y dilatarlos?» (Cuest. 24).



Portada de la primera edición de los *Principia* de Newton (Londres, 1687).

Las investigaciones ópticas ofrecen una magnífica oportunidad para acceder a facetas de la personalidad de Newton que, sin ser ignoradas, han quedado con frecuencia en un segundo plano, debido, precisamente, a sus grandes éxitos como matemático y, como diríamos hoy, físico teórico. Además de las recogidas en las «Cuestiones», otra es su gran destreza manual y extraordinario poder de introspección concentrada y sostenida. Una destreza manual que llegó a aplicar a sí mismo: en algunos de sus experimentos tomó una aguja de zurcir y, utilizando su propia descripción del hecho, «la puse entre mi ojo y el hueso tan cerca como pude de la parte posterior de mi ojo». Luego, en un ensayo cuyo solo pensamiento le pone a uno enfermo, empujó la aguja contra el globo ocular una y otra vez hasta que aparecieron —le cito de nuevo— «varios círculos blancos, oscuros y coloreados», círculos que «siguieron haciéndose evidentes cuando seguí frotando mi ojo con el extremo del punzón; pero si mantenía mi ojo y el punzón quietos, aunque continuara apretando mi ojo con él, los círculos se hacían más débiles y a menudo desaparecían hasta que seguía el experimento moviendo mi ojo o el punzón».

¿Sorprenderá que pudiese ser cruel con otros, él, que fue cruel incluso consigo mismo?

Los *Principia*

Pero ya es hora de referirse a su obra suprema: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

Las circunstancias que rodean la génesis del contenido de este libro, así como el que Newton aceptase prepararlo y que fuese publicado, me llevarían demasiado lejos, aunque, ciertamente, hay que recordar —y agradecer— la participación decisiva de alguien cuyo nombre es recordado por otros, en última instancia menos trascendentales, menesteres: el astrónomo Edmond Halley (1656-1742), quien logró vencer la resistencia de Newton, pagando además de su propio bolsillo los gastos de la edición. Me limitaré a algunos apuntes relativos a sus contenidos.

Lo primero que hay que decir es que los *Principia* es una obra compleja y difícil. Entre sus múltiples aportaciones destaca, constituyendo lo que se puede denominar su núcleo central, el que en ella Newton desarrolló un sistema dinámico

basado en tres leyes del movimiento; leyes que, a pesar de que hoy sabemos —desde que Albert Einstein formulara en 1905 la teoría especial de la relatividad— que no son completamente exactas, constituyen el fundamento de la inmensa mayoría de los instrumentos móviles de que disponemos (incluyendo las sondas espaciales que investigan el espacio profundo). Jamás leyes de una teoría científica han influido más en la humanidad que estas tres leyes newtonianas. Hay que señalar, no obstante, que la historia de la mecánica newtoniana no terminó en 1687: los *Principia*, por ejemplo, no contienen principios como los de conservación del momento o de la energía, que hoy consideramos aspectos muy importantes de la mecánica teórica.

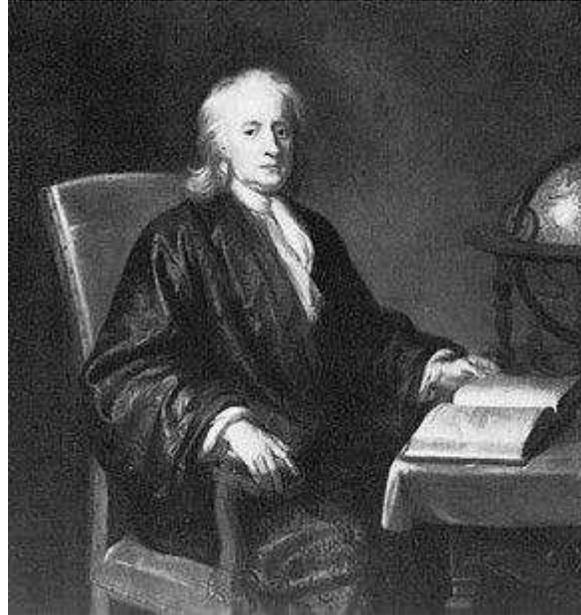
I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687): AXIOMAS O LEYES DEL MOVIMIENTO
 LEY I *Todo cuerpo persevera en su estado de reposo o movimiento uniforme y rectilíneo a no ser en tanto que sea obligado por fuerzas impresas a cambiar su estado. Los proyectiles perseveran en sus movimientos a no ser en cuanto son retardados por la resistencia del aire y son empujados hacia abajo por la gravedad. Una rueda, cuyas partes en cohesión continuamente se retraen de los movimientos rectilíneos, no cesa de dar vueltas sino en tanto que el aire la frena. Los cuerpos más grandes —cometas y planetas— conservan por más tiempo sus movimientos, tanto de avance como de rotación, realizados en espacios menos resistentes.*
 LEY II *El cambio de movimiento es proporcional a la fuerza motriz impresa y ocurre según la línea recta a lo largo de la cual aquella fuerza se imprime. Si una fuerza cualquiera produce un movimiento dado, doblada producirá el doble y triplicada el triple, tanto si se aplica de una sola vez como si se aplica gradual y sucesivamente. Si el cuerpo se movía antes, este movimiento (dado que se determina siempre en la misma dirección que la fuerza motriz) o bien se añade sumándose a él, o se resta si es contrario, o se añade oblicuamente, si es oblicuo, y se compone con él según ambas determinaciones.*
 LEY III *Con toda acción ocurre siempre una reacción igual y contraria. O sea, las acciones mutuas de dos cuerpos siempre son iguales y dirigidas en direcciones opuestas. El que empuja o atrae a otro es empujado o atraído por el otro en la misma medida. Si alguien oprime una piedra con el dedo, también su dedo es oprimido por la piedra. Si un caballo arrastra una piedra atada con una soga, el caballo es retroarrastrado (por así decirlo) igualmente, pues la soga estirada en ambas direcciones y con el propio impulso de contraerse tirará del caballo hacia la piedra y de la piedra hacia el caballo y tanto se opondrá al progreso de uno cuanto ayude al avance del otro. Si un cuerpo cualquiera golpeando sobre otro cuerpo cambiara el movimiento de éste de algún modo con su propia fuerza, él mismo a la vez sufrirá el mismo cambio en su propio movimiento y en sentido contrario por la fuerza del otro cuerpo (por la igualdad de la presión mutua). A tales acciones son iguales los cambios de*

movimientos, no de velocidades, y siempre que se trate de cuerpos no fijados por otra parte. Igualmente los cambios de velocidad en sentido contrario, puesto que los movimientos cambian igualmente, son inversamente proporcionales a los cuerpos. Se cumple esta ley también para las atracciones... Otra joya suprema de los *Principia* es la ley de la gravitación universal, que permitió contemplar como manifestaciones de un mismo fenómeno la caída de graves en la superficie terrestre y los movimientos de los planetas. Esta ley no hace su aparición en los *Principia* hasta el libro tercero, *Sobre el sistema del mundo*; más concretamente, y tras una elaborada gestación, en la «Proposición VII. Teorema VII» y sus dos corolarios («La gravedad ocurre en todos los cuerpos y es proporcional a la cantidad de materia existente en cada uno», y «La gravitación hacia cada partícula igual de un cuerpo es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de los lugares a las partículas»). Nunca volvería la humanidad a mirar al universo de la manera en que lo había hecho hasta entonces. La fuerza que atraía a los planetas entre sí y la responsable de la caída de los cuerpos en las proximidades de la superficie terrestre resultaban ser la misma, y una sencilla fuerza, la del inverso del cuadrado de la distancia (con la que, utilizando sus poderes matemáticos, Newton pudo deducir las trayectorias elípticas encontradas por Kepler), bastaba para explicar sus aspectos más fundamentales.

Estas eran las vigas maestras del sistema newtoniano del mundo, pero ¿qué instrumento/concepto introdujo Newton para explicar cómo se relacionan entre sí los cuerpos sometidos al imperio de las leyes que había diseñado? La respuesta que se da en los *Principia* es: mediante fuerzas «a distancia»; esto es, fuerzas que no necesitan ningún soporte (o medio) para ir de un cuerpo a otro. No es preciso elaborar mucho para darse cuenta de que se trata de una idea francamente contraintuitiva. Pero funcionaba, para horror de, entre otros, aquellos que defendían el sistema del mundo —basado en un *plenum* colmado de vórtices/remolinos— que Descartes había propugnado en diversos lugares, como en sus *Principia philosophiae* (1644). Y Newton fue lo suficientemente buen científico como para no renunciar a un instrumento conceptual que mostraba su valor predictivo, por muy extraño que fuese. Otra cosa es lo que él pensase, sin poderlo demostrar. Y qué pensaba acerca de esas misteriosas fuerzas a distancia es algo que sabemos a través de una carta que envió el 25 de febrero de 1693 a Richard Bentley (1662-1742), quien intervino en la preparación de la segunda edición de los *Principia*:

Es inconcebible que la materia bruta inanimada opere y afecte (sin la mediación de otra cosa que no sea material) sobre otra materia sin contacto mutuo, como debe ser si la gravitación en el sentido de Epicuro es esencial e inherente a ella. Y esta es la

razón por la que deseo que no me adscriba la gravedad innata. Que la gravedad sea innata, inherente y esencial a la materia de forma que un cuerpo pueda actuar a distancia a través de un vacío sin la mediación de otra cosa con la cual su acción o fuerza puede ser transmitida de [un lugar] a otro, es para mí algo tan absurdo que no creo que pueda caer en ella ninguna persona con facultades competentes de



pensamiento en asuntos filosóficos.

Isaac Newton en 1726, cuando se publicó la tercera edición de los *Principia*, que aparece abierto sobre la mesa.

Existe otro aspecto de los *Principia* que conviene destacar: el que constituye el ejemplo supremo de lo que puede denominarse el «método newtoniano». Y es que Newton nos legó en ese libro —en otras obras también, pero sobre todo en esta— lo que constituye la esencia del método científico moderno: la elaboración de modelos matemáticos simples que se comparan con los fenómenos naturales, comparaciones de las que surgen nuevas versiones, más complicadas, de los modelos previos. Con él, en definitiva, la matemática se encarnó verdaderamente en la esencia de la teoría física.

Un personaje poderoso

El, a la postre, inmenso poder explicativo y predictivo de sus contribuciones científicas, condujo a que Newton se convirtiese en un personaje poderoso. Ya en enero de 1689 fue elegido miembro del Parlamento en representación de su Universidad. Pero la gran oportunidad tardaría todavía siete años en llegar: en abril de 1696, como ya indiqué, tomaba posesión del puesto de *warden* (guardián) del Mint, la Casa de la Moneda inglesa, lo que implicaba trasladarse a vivir en Londres y, por supuesto, magníficas retribuciones. En febrero de 1700, ascendía en esta escala oficial, pasando a ocupar el puesto de *master* (maestro, el equivalente a director o presidente) del Mint. Finalmente, el 10 de diciembre de 1701 renunciaba a su cátedra de Cambridge. Su vida, sus aspiraciones, eran ya otras. Pero no renunciaba a acumular más poder: el 30 de noviembre de 1703 fue elegido presidente de la Royal Society. Y a fe que ejerció el poder que el puesto le confería: que le preguntasen si no a John Flamsteed (1646-1719), el astrónomo real, al que presionó con toda la dureza —y triquiñuelas— de que era capaz para obtener las tablas astronómicas que éste había preparado durante años, y que eran su principal tesoro, pero que Newton necesitaba para componer una teoría de las mareas, que añadir a una nueva edición de los *Principia*.

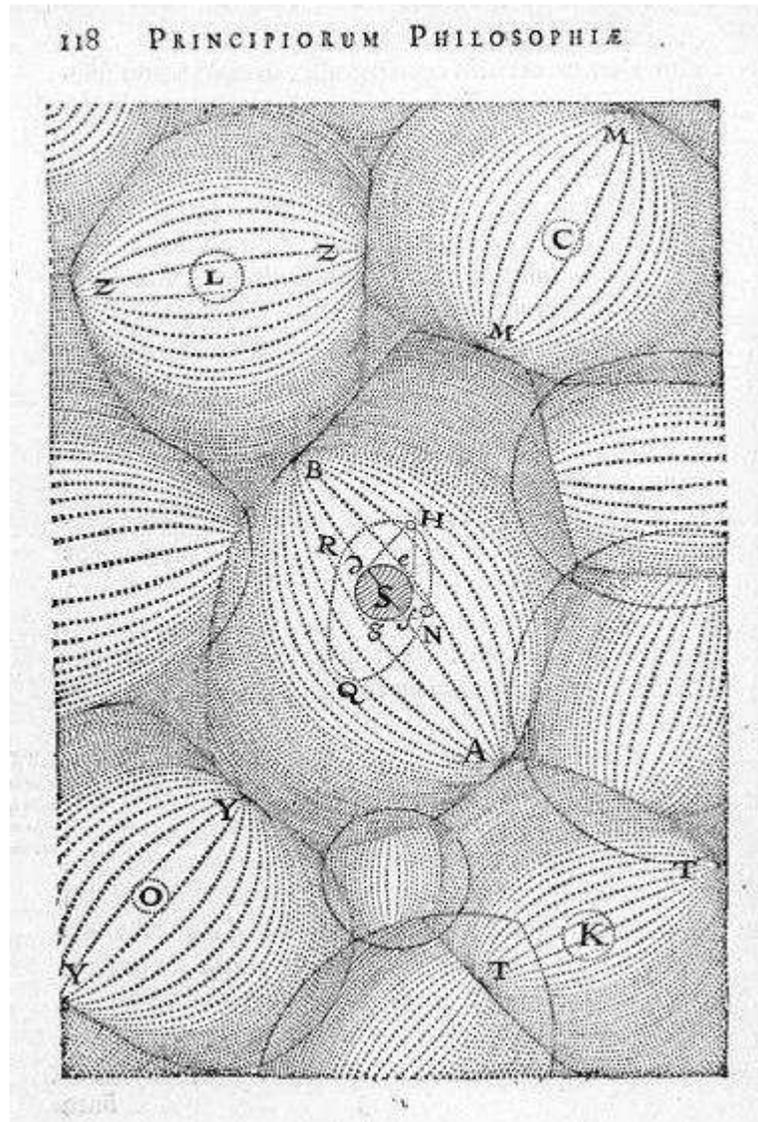
Pero ningún humano, por aparentemente sobrehumano —e inhumano— que parezca, escapa de ese final que es la muerte. Isaac Newton, el gran Isaac, murió el 20 de marzo de 1727. Era por entonces un hombre muy rico, y continuó recibiendo honores: el 4 de abril fue enterrado en la abadía de Westminster, donde todavía hoy se puede contemplar su tumba. Dos versos de Alexander Pope (1688-1744), inicialmente compuestos para ser inscritos en el monumento que se iba a erigir en su honor en la abadía, dan idea de los sentimientos de admiración y respeto que el autor de los *Principia* suscitaba ya entonces:

La Naturaleza y las leyes de la Naturaleza permanecían escondidas en la noche:

Dios dijo: ¡Hágase Newton!, y todo fue luz.

Seguramente él habría aceptado con gusto semejante caracterización, aunque en alguna ocasión dio muestras de alguna modestia, una circunstancia rara en él. «Si vi más lejos, fue porque permanecí a hombros de gigantes», escribió en 1676 a Robert Hooke. A mí, sin embargo, me gusta más otra de sus frases, igualmente famosa: «No sé lo que podré parecer al mundo, pero yo me veo a mí mismo únicamente como si hubiese sido un niño que juega en la orilla del mar, y que se divirtió encontrando de vez en cuando un guijarro más liso y una concha más bella que las normales, mientras que el gran océano de la verdad permanecía sin

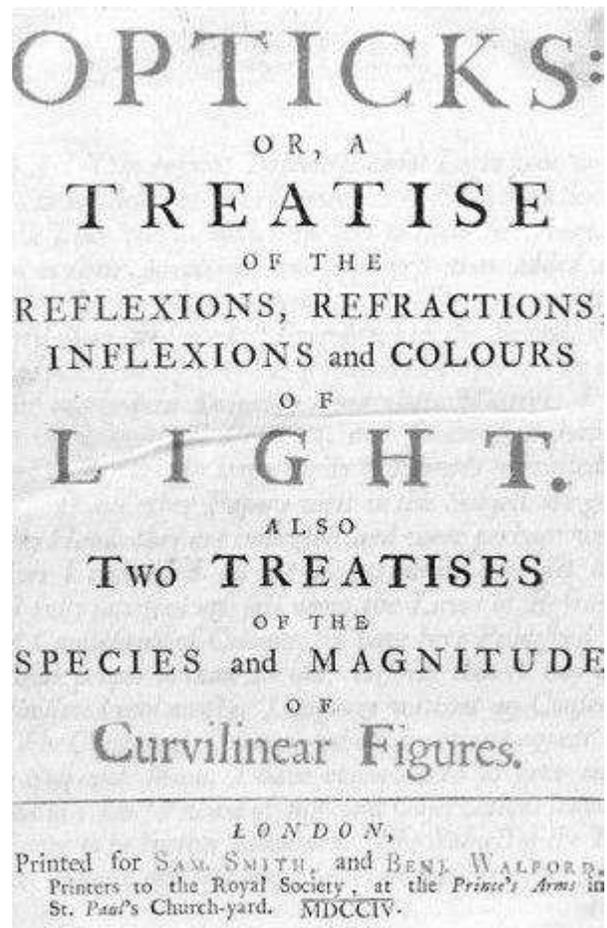
descubrir ante él».



El mundo como un continuo. Lámina representando los vórtices cartesianos, incluida en René Descartes, *Principia philosophiae* (Amsterdam, 1644).

Epílogo

Honramos a Isaac Newton como un gran científico, para algunos el más grande de la historia. No le recordamos como un profeta. Sin embargo, en otro tiempo, bajo otras circunstancias, acaso la historia le habría terminado considerando como tal. No pudo presumir, como su tan admirado Ezequiel (40:4), que un ángel le había visitado para decirle: «Hijo de hombre, mira bien, escucha atentamente y presta atención a todo lo que te voy a mostrar, porque has sido traído aquí para que yo te lo muestre». Pero en su ambición suprema, quiso alcanzar, mediante el incomparable instrumento de su inteligencia (probablemente lo más próximo a divino que se pueda encontrar en esta terrenal única tierra nuestra), el conocimiento que —según las Sagradas Escrituras— los ángeles habían ofrecido, gratuitamente, a los profetas. En la soledad de sus habitaciones, luchando con manuscritos oscuros y complejos, aquel Isaac —para mí mucho más grande que el bíblico— debió con frecuencia tronar, indignado, contra semejante injusticia. ¿Por qué se le negaba a él lo que otros tan fácilmente habían logrado? Su vida, sus millones de palabras escritas —y las muchísimas más que leyó—; las horas, los días, meses y años inacabables en los que pugnó por comprender los mensajes divinos, no son sino testimonio de cuánto se rebeló y cuánto deseó.



Portada de la primera edición de la *Opticks* (Londres, 1704) de Newton.

Y la química se hizo ciencia: Lavoisier

En los dos capítulos precedentes me he ocupado de ciencias básicas como son la matemática, la física y, en menor medida, la astronomía. Pero con ser importantes, es evidente que estas disciplinas no agotan el conjunto de las ciencias. Y entre las que faltan, hay una particularmente importante: la química, la disciplina que Lavoisier, el principal protagonista del presente capítulo, definió de la siguiente forma en su *Traité élémentaire de chimie* (*Tratado elemental de química*; 1789): «La química, experimentando con los diversos cuerpos de la naturaleza, tiene por objeto descomponerlos, de forma que se puedan *examinar separadamente las diferentes sustancias que entran en su combinación*». Es, ciertamente, una definición un tanto limitada —se olvida, por ejemplo, de que también es objeto de la química el estudio de las fuerzas que unen los elementos constitutivos de las sustancias—, pero sirve.

Si no he mencionado a la química hasta ahora, no es, naturalmente, porque en las épocas en las que me he centrado hasta el momento no se llevasen a cabo «actividades químicas», es decir, trabajos o investigaciones que tenían que ver con lo que hoy llamamos química, sino porque con anterioridad a mediados del siglo XVIII, esta ciencia no podía considerarse una disciplina científica independiente, o, dicho de otra manera, probablemente más conveniente, porque no existía un sistema estructurado, con un cierto poder predictivo, con el que fuese posible organizar de manera sistemática las relaciones entre cuerpos que al combinarse dan lugar a compuestos de todo tipo. Los historiadores de la química no tienen la fortuna de sus colegas los historiadores de la matemática o, aunque en un grado menor, los de la astronomía y la física: la fortuna de que una parte importante del pasado matemático se perdiese surgiendo reconstruido con la limpieza, rigor y claridad con que aparece en obras como los *Elementos* de Euclides. El historiador de la química anterior a, digamos, los siglos XVII y XVIII, se ve obligado a prestar atención a múltiples y muy variados temas e intereses, demasiados y excesivamente atomizados. Como, por ejemplo, las artes de la destilación, la obtención de esencias perfumadas, la fabricación de jabón, las aleaciones metálicas o los remedios farmacéuticos, a las que, en diferentes escenarios espacio-temporales, contribuyeron griegos, romanos, árabes y los europeos medievales y renacentistas.

Los anteriores ejemplos tienen que ver, evidentemente, con lo que podríamos denominar «prácticas tecnológicas» motivadas por necesidades sociales. Y aunque requerían de un cierto aparato teórico —nada es absolutamente

«práctico», «experimental» o «empírico»—, éste no fue, al menos al principio, grande. Sin embargo, también encontramos en los siglos anteriores al XVII, y en concreto en la civilización helena, desarrollos, reflexiones, teorías, que pertenecen al universo de lo que hoy denominamos química. En particular, en lo que se refiere a la constitución de la materia.

Pocas cuestiones, en efecto, surgen al espíritu de manera más inmediata que la de cómo están formados los cuerpos que nos rodean y de los que formamos parte. Ya he mencionado que Tales la formuló, dando preferencia en su respuesta al agua. Más refinadas fueron las respuestas que dieron Heráclito de Éfeso (540-480 a.C.) y Anaxágoras (500-428 a.C.), que sostuvieron la creencia de que toda la materia está formada por cuatro elementos: fuego, agua, aire y tierra, una doctrina que, como ya mencioné a propósito de Galileo, tendría una larga vida. De hecho, aunque Galileo sembrara de minas los territorios aristotélico-ptolemaicos, la teoría de los cuatro elementos (cinco si añadimos el éter) se defendió con cierta dignidad. Y es que el estudio de los componentes de la materia y, en general, de todo aquello que existe en la naturaleza, constituye un problema de extraordinaria dificultad. Acaso porque no nos damos cuenta de semejante complicación, tendemos a mirar en la actualidad con un apenas disimulado desprecio a intentos de profundizar en la composición de los cuerpos como el protagonizado por los alquimistas.

Una química primitiva: la alquimia

La alquimia, cuyos orígenes se remontan cuando menos a la Alejandría de los Ptolomeos, es un arte difícil de definir. Una definición que a mí me gusta es la que dio en 1970 E. J. Sheppard, en la que se recoge su dimensión de empresa filosófico-religioso-existencial: «La alquimia —señalaba Sheppard— es un arte cósmico mediante el cual se pueden liberar partes [del] cosmos —las partes mineral y animal— de su existencia temporal obteniendo estados de perfección, *oro* en el caso de los minerales, y para los humanos, longevidad, inmortalidad, y finalmente redención. Semejantes transformaciones pueden lograrse bien mediante la utilización de una sustancia material como la “piedra filosofal” o elixir, o bien a través de conocimiento revelado o iluminación psicológica».

La obra y pensamiento de Philippus Theophrastus (1493-1541), el médico y alquimista suizo más conocido como Paracelso, constituye un ejemplo casi paradigmático de esta forma de entender la alquimia. Como médico que era —y parece que cosechó algunos éxitos importantes (en la losa que cubre su tumba en la

iglesia de San Esteban de Salzburgo, se puede leer todavía el siguiente epitafio: «Aquí yace Theophrastus Bombastus von Hohenheim. Famoso doctor en medicina, que curó toda clase de heridas, la lepra, la gota, la hidropesía y otras varias enfermedades del cuerpo, con ciencia maravillosa»—; como médico, digo, que era estaba interesado en combatir las enfermedades. Cómo lo hacía, cuál era su concepción de la medicina, es algo complicado de establecer y explicar; aun así, diré que en tal concepción desempeñaba un papel importante el arte alquímico. En el capítulo tercero —«Sobre el método de acción de las tres primeras sustancias, el sujeto intermedio y la Alquimia»— de su *Liber Paramirum*, 1562 (*Libro Paramírico*), leemos: «Las enfermedades extrañas requerirán que el médico las estudie con métodos extraños, aplicándoles las concordancias que correspondan, preparando y separando las cosas visibles y reduciendo sus cuerpos a la última materia con ayuda del arte espagírico o de la Alquimia». Y unas pocas líneas más abajo añadía: «Aprended pues la Alquimia, también llamada Espagírica y ella os enseñará a discernir lo falso de lo verdadero. Con ella poseeréis la luz de la Naturaleza y con ella podréis probar todas las cosas claramente, discurriéndolas de acuerdo a la lógica y no por la fantasía, de la que nada bueno puede resultar».



Jan Van der Straet, llamado *Lo Stradano* («El alquimista»), 1570 (Florencia, Palazzo Vecchio).

Vemos que Paracelso hacía alquimia sinónimo de «espagírica», un término muy elocuente: *spagyria* proviene, en efecto, de las raíces griegas «sacar, extraer, separar» y «reunir», dos raíces etimológicas en las que se encuentran los dos conceptos u operaciones fundamentales de la química: el análisis y la síntesis. Una acepción de espagírica es «arte de depurar metales».

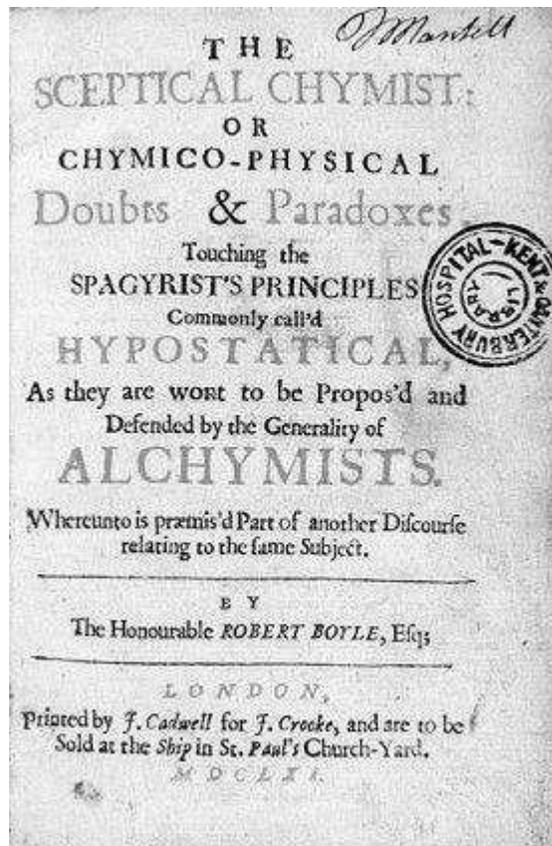
Una gran parte de los alquimistas eran, como Paracelso, médicos, también farmacéuticos. En esta tradición se inscriben algunas de las figuras más destacadas de la historia de la química de mediados del siglo XVII y del XVIII: como Hermann Boerhaave (1668-1738), Georg Ernst Stahl (1660-1734) o Joseph Black (1728-1799). Pero antes de entrar en esa época, y en particular en el período de la Ilustración, quiero mencionar el caso de Isaac Newton, que dedicó intensos esfuerzos a la investigación alquímica, hasta el punto de que es considerado como uno de los alquimistas más notables de la historia.



Paracelso.

Newton se vio atraído por los estudios alquímicos a finales de la década de

1660 y comienzos de la de 1670. Insatisfecho con las respuestas que sus estudios teológicos y de filosofía natural le proporcionaban, encontró en la alquimia una posible fuente de esperanzas, forjando una pasión por el tema que le duraría al menos treinta años. Llegó a pensar que la piedra filosofal, el principio activo de la alquimia, estaba unida estrechamente con Cristo: ambos eran, al fin y al cabo, agentes de perfección y redención. Ahora bien, lo que ahora deseo señalar, para reforzar la conexión existente entre alquimia y química en un sentido moderno, es que semejantes ideas e intereses no fueron obstáculo para que también se plantease problemas fundamentales, que hoy consideramos pertenecientes a la teoría de la afinidad química (la rama de la química que se ocupa de las fuerzas que unen los elementos para formar compuestos). En la *Óptica* encontramos evidencias de ello. Así, en la Cuestión 31 de la edición de 1718 (añadida en la edición de 1706 con el número 23), podemos leer: «¿No poseen las pequeñas partículas de los cuerpos ciertos poderes, virtudes o fuerzas con los que actúan a distancia no sólo sobre la luz, reflejándola e inflexionándola, sino también unos sobre otros, para producir una gran parte de los fenómenos de la naturaleza? En efecto, es bien sabido que los cuerpos actúan unos sobre otros por las acciones de la gravedad, magnetismo y electricidad. Estos ejemplos muestran el talante y curso de la naturaleza, haciendo que no sea improbable la existencia de otras potencias atractivas además de éstas». Y más adelante: «Cuando el *Aqua fortis* o el espíritu de vitriolo se vierten sobre limaduras de hierro y las disuelven con gran calor y ebullición, ¿acaso este calor y ebullición no están causados por un violento movimiento de las partes, y acaso no muestra ese movimiento que las partes ácidas del líquido se precipitan con violencia sobre las partes del metal, insinuándose enérgicamente en sus poros hasta que se sitúan entre sus partículas externas y la masa más importante del metal, y rodeando dichas partículas las liberan de la masa principal y las dejan flotar en el agua?».



Portada de *The Sceptical Chymist: or chymico-physical Doubts & Paradoxes* (Londres, 1661) de Robert Boyle.

No fue, por supuesto, Newton el único, ni siquiera el principal, de los *virtuosi* de la Revolución Científica interesado en las prácticas químicas. Ninguna exposición de la química del siglo XVII estaría completa sin mencionar a Robert Boyle, y en particular a su libro *The Sceptical Chymist* (*El químico escéptico*; 1661), todo un clásico de la literatura científica. Escrito en forma de diálogo, en él Boyle defendía la hipótesis (teoría corpuscular) de que la materia está formada por átomos y conjuntos de átomos en movimiento, y que cualquier fenómeno es el resultado de colisiones de partículas (átomos, en última instancia). En ese mismo libro se encuentra una definición de elemento químico que se ha mantenido básicamente inmutable hasta la actualidad:

Y, para evitar equivocaciones, debo advertirle que ahora quiero decir por Elemento... ciertos cuerpos Primitivos y Simples, o perfectamente no mezclados;

que no formados por ningún otro cuerpo, son los ingredientes de los que están compuestos todos aquellos denominados Cuerpos perfectamente mixtos, y en los que se disuelven en última instancia. De hecho, Boyle sospechaba que ninguno de los elementos entonces aceptados —tierra, aire, fuego y agua en el esquema aristotélico; sal, sulfuro y mercurio en el de los paracelsianos— era realmente elemental, aunque no avanzase mucho en identificar qué sustancias eran realmente «elementales». En este sentido, su aportación fue más importante por lo que estimuló la teoría corpuscular de la materia (que recibiría poco después un nuevo empuje de Newton), que por lo que añadió a las técnicas puramente químicas. Y es que Boyle no fue en modo alguno un químico puro: llegó a la química desde la medicina, siendo esta disciplina la que le condujo, a través de la preparación de medicamentos, a la química, convirtiéndose rápidamente en un hábil experimentador al igual que pensador original en las artes químicas.

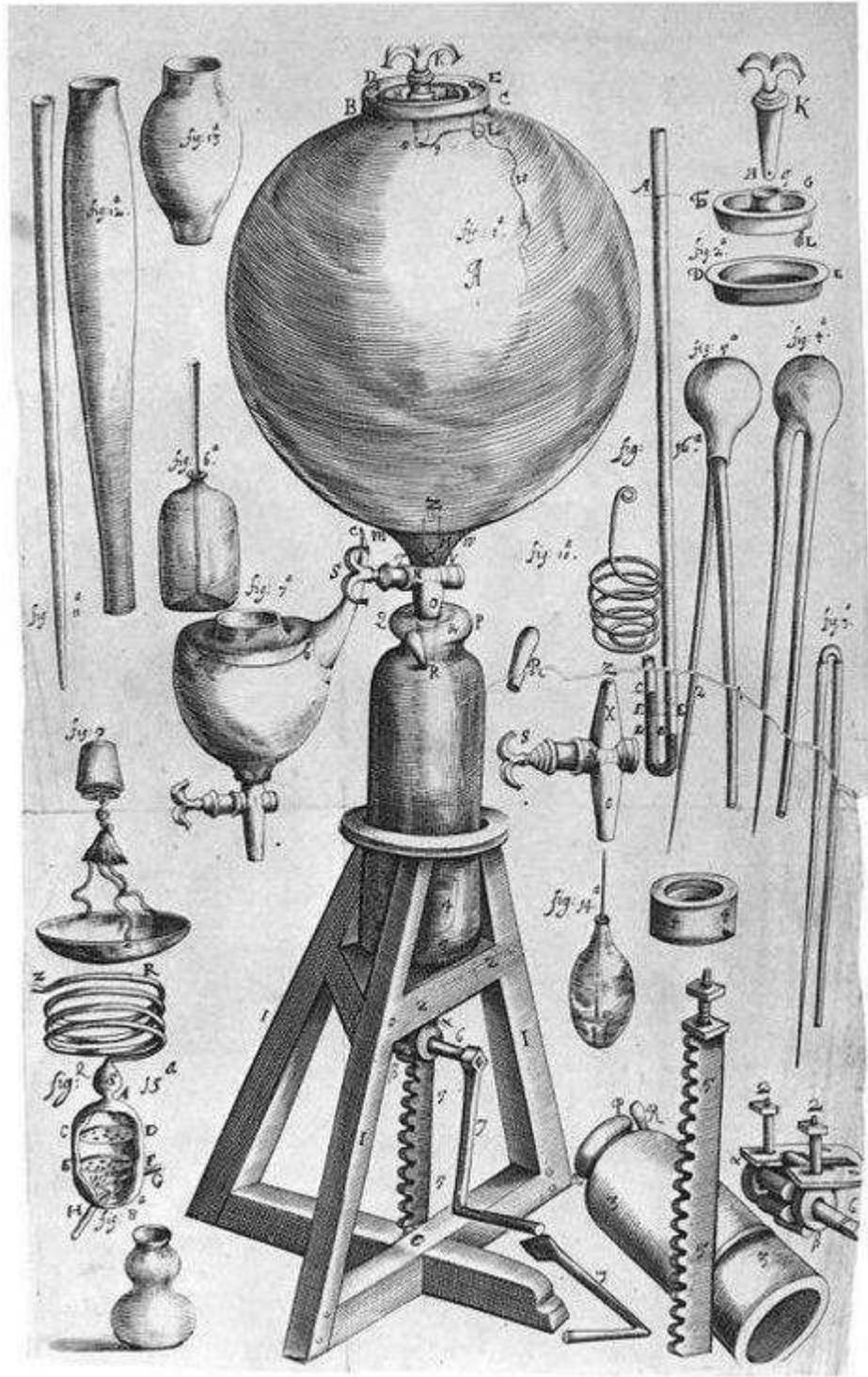
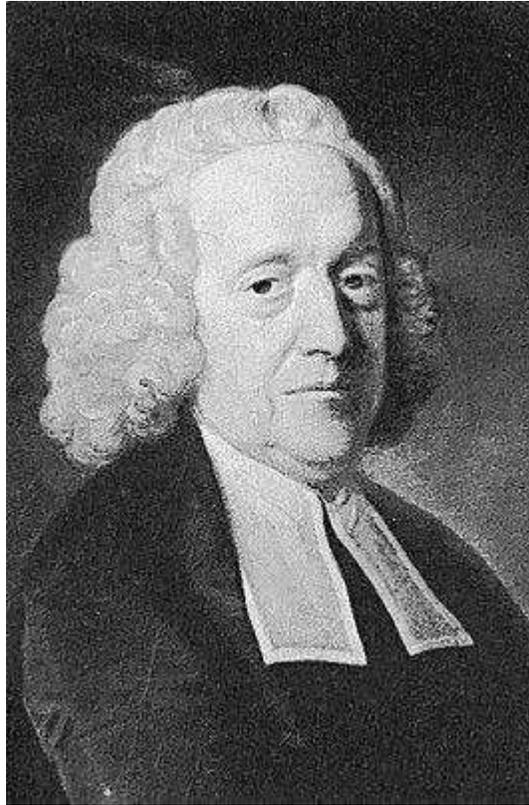


Lámina que representa diferentes instrumentos científicos: *New Experiments Physico*

mechanical (Oxford, 1662), de Robert Boyle.

Una de sus virtudes como investigador fue la manera en que combinó física y química, como muestran los experimentos que realizó utilizando una bomba de vacío, que le llevaron a concluir que el aire tenía peso. Semejante conclusión apareció en 1660 en *New Experiments Physico-mechanical, touching the Spring of the Air, and its Effects* (*Nuevos experimentos mecánico-físicos, referentes al peso del aire y sus efectos*), una idea que fue inmediatamente atacada por Franciscus Linus (1595-1675), y de la que Boyle se defendió en la segunda edición (1662) de su libro, en la que también incluyó la ley, desde entonces conocida por su nombre, de que el volumen ocupado por un gas es el recíproco de su presión.

Pero ya es hora de abandonar este sumario panorama de la historia de la química anterior al siglo XVIII y entrar en esta centuria, en la Ilustración (término introducido por Kant), en el Siglo de las Luces (el nombre preferido por los franceses); en definitiva, en el siglo que terminaría alumbrando una nueva revolución científica, que haría de la química una ciencia comparable a las demás. En el, en este sentido, «Siglo de Lavoisier», personaje, por otra parte, que representa de manera magnífica, en toda su grandeza y también en toda su tragedia, la centuria que terminó con otra revolución, ésta política: la Revolución Francesa.



Stephen Hales, según un grabado de *Vegetable Staticks, or an account of some statical experiments on the sap in vegetables* (Londres, 2 vols., 1727 y 1733).

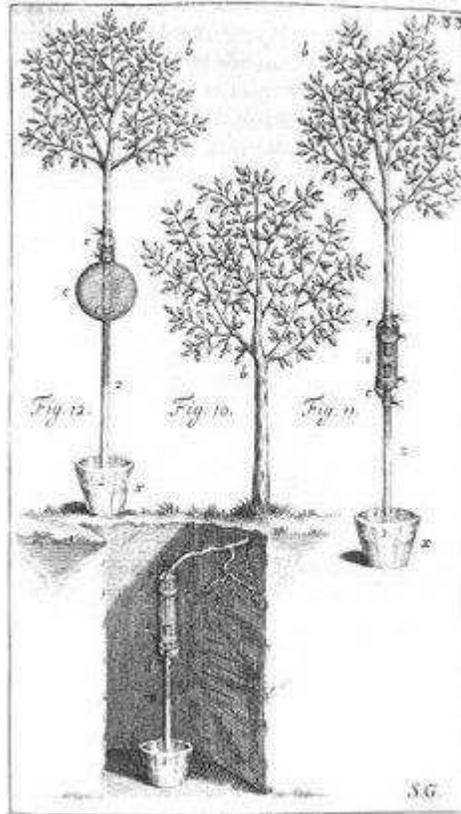


Lámina de *Vegetable Staticks* de Stephen Hales, en la que se muestra un experimento con un manzano y un peral para determinar el poder de absorción que eleva la savia en los árboles.

La Ilustración

Durante el Siglo de las Luces se consumó la transposición de la «propiedad» del concepto y estudio de la Verdad de la religión a la ciencia, de los teólogos y sacerdotes a los científicos y filósofos. En este sentido, se puede decir que terminaba la Era de la Cristiandad y comenzaba la de la Modernidad. Animados por la gran confianza que depositaron en la capacidad —científica y tecnológica— humana de comprender y utilizar la naturaleza, los ilustrados creyeron que era posible construir una sociedad más racional, justa y cómoda. Visto en retrospectiva, en su mayor parte el XVIII fue un siglo optimista, ilusionado, que veía en la ciencia y en la

razón sus principales valedores. Esta unión entre «razón» y «naturaleza», entre ciencia, tecnología y sociedad, queda clara a través del título de la obra más característica de aquella época: la *Enciclopedia o diccionario razonado de las ciencias, las artes y los oficios*, la *Encyclopédie* (1751-1768), coordinada por el filósofo Denis Diderot (1713-1784) y el físico y matemático Jean Le Rond d'Alembert (1717-1783), autor él mismo de obras tan fundamentales para la ciencia del movimiento (fue básica para el posterior desarrollo de la mecánica analítica) como *Traité de dynamique, dans lequel les lois de l'équilibre et du mouvement des corps sont réduites au plus petit nombre possible* (*Tratado de dinámica, en el cual las leyes del equilibrio y del movimiento de los cuerpos son reducidas al número más pequeño posible*; 1743). Con sus 35 tomos de voces (contiene 71.818 entradas) y láminas, la *Encyclopédie* constituye uno de los grandes monumentos editoriales dedicados al pensamiento.

El propio D'Alembert nos puede servir para familiarizarnos con los sentimientos de los ilustrados. En una de sus obras, *Essai sur les éléments de philosophie* (*Ensayo sobre los elementos de filosofía*), publicada en 1759 y ampliada en 1767, podemos leer:

La ciencia de la naturaleza adquiere día a día nuevas riquezas; la geometría ensancha sus fronteras y ha llevado su antorcha a los dominios de la física, que le son más cercanos; se conoce, por fin, el verdadero sistema del mundo, que ha sido desarrollado y perfeccionado. La ciencia natural ha cambiado su aspecto desde la Tierra hasta Saturno, desde la historia de los cielos hasta la de los insectos. Y, con ella, todas las demás ciencias han cobrado nueva forma... Todas estas causas han colaborado en la producción de una viva efervescencia de los espíritus. Esta efervescencia, que se extiende por todas partes, ataca con violencia a todo lo que se le pone por delante, como una corriente que rompe sus diques. Todo ha sido discutido, analizado, removido, desde los principios de las ciencias hasta los fundamentos de la religión revelada, desde los problemas de la metafísica hasta los del gusto, desde la música hasta la moral, desde las cuestiones teológicas hasta las de la economía y el comercio, desde la política hasta el derecho de gentes y el civil.



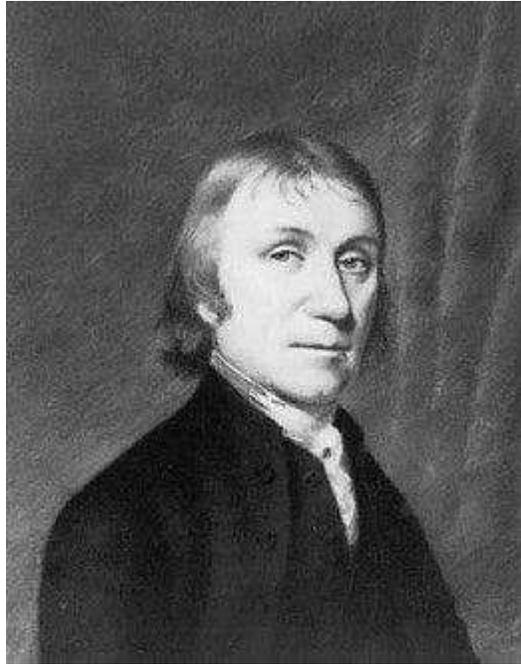
Henry Cavendish, según William Alexander (British Museum).

Estrictamente, no es verdad que todo fuese «discutido, analizado, removido». En el plano del desarrollo científico, y dejando al margen por el momento a la química, el siglo XVIII asistió a la encumbración de la física newtoniana. Era tal su poder explicativo, tantos sus éxitos, tanto lo que prometía, que, inevitablemente y tras una cierta resistencia de los seguidores del modelo vorticial de Descartes, se terminó por creer que en sus principios fundamentales, en las tres leyes de movimiento, se encontraba la llave para comprender el funcionamiento del universo. Otra cosa era ser *capaces de calcular* en detalle los diferentes movimientos, pero en principio ahí, en los movimientos de las partículas que se suponía

componían la materia (mecanicismo), estaba todo. Así, en su *Essai philosophique sur les probabilités* (*Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, 1814), Pierre-Simon Laplace (1749-1827), autor de obras tan importantes para esa física como el *Traité de mécanique céleste* (*Tratado de mecánica celeste*; 1799-1827), podía escribir: «Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero; nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos».



Joseph Black.



Joseph Priestley.

Pero no debemos pensar que el siglo XVIII se basó, en lo que a avance científico se refiere, únicamente en las ideas físicas del mecanicismo. El «espíritu matemático» se desarrolló también con gran intensidad; no en vano en el Setecientos vivieron matemáticos como Daniel Bernoulli (1700-1782), Leonhard Euler (1707-1783) o Joseph-Louis Lagrange (1736-1813). Y tampoco hay que olvidar que fue también en aquel siglo, en torno a 1780, cuando James Watt (1736-1819) introdujo sustanciales mejoras en las máquinas de vapor existentes, inaugurando una nueva era en la producción de energía mecánica, y dando origen de esta manera a la Revolución Industrial (terminó siendo la *Primera* Revolución Industrial), que cristalizó a partir de 1815, por lo que es en buena medida también un fenómeno decimonónico.

Pero de lo que yo quiero hablar aquí sobre todo es de Lavoisier y sus logros en la química, aunque para ello antes tengo que abordar otra cuestión.

Hay más «aires» de lo que parece

A lo largo de las tres primeras cuartas partes del siglo XVII, los químicos ampliaron el número de sustancias objeto de manipulación en el laboratorio, mejoraron los métodos para fabricar muchos productos de interés comercial y, este fue un desarrollo particularmente importante, lograron manejar e identificar «aires» distintos del aire común o atmosférico.

Hay que mencionar en este punto las aportaciones de diversos científicos. En primer lugar, las del médico de Bruselas Johannes Baptista Van Helmont (1577-1644), el creador de la palabra «gas» (puede que derive del término alemán *Gascht*, que denota la espuma que aparece tras la fermentación), quien, no obstante el misticismo que impregnaba sus investigaciones —fue seguidor de Paracelso—, observó que lo que denominó «gas silvestre» (muy probablemente dióxido de carbono; esto es, CO_2), producido en las fermentaciones que tenían lugar en las fábricas de cerveza al igual que en otros tipos de trabajos (por ejemplo, al tratar mármol con un ácido, o al quemar piedra de cal), era de una especie diferente al «gas común», o atmosférico.

Otros nombres a recordar son:

(1) El clérigo anglicano Stephen Hales (1677-1761), uno de los primeros estudiosos de la nutrición y fisiología de plantas (véase, en este sentido, su libro *Vegetable Staticks: or, an Account of some Statical Experiments on the Sap in Vegetables: Being an Essay towards a Natural History of Vegetation* [*Estática vegetal: o una descripción de algunos experimentos estáticos en la savia de vegetales: siendo un ensayo hacia una historia natural de la vegetación*]; 2 vols., 1727, 1733). En el curso de sus investigaciones, Hales desarrolló técnicas e instrumentos especiales (como la «cuba neumática») para recoger y estudiar diferentes gases (los emitidos, por ejemplo, en la transpiración de las hojas), que consideraba diferentes al aire común.

(2) Henry Cavendish (1731-1810), un rico noble inglés, uno de cuyos entretenimientos era la química. Su principal descubrimiento en este campo fue que cuando se quema «aire inflamable» (nuestro hidrógeno) —cuyas propiedades estudió— en aire común, se produce agua.

(3) El escocés Joseph Black, autor de obras como *Experiments upon magnesia alba*, incluida en *Essays and Observations, Physical and Literary* (*Ensayos y observaciones, físicos y literarios*; 1754-1756), en la que señalaba con claridad que existían gases diferentes al gas común.

(4) Joseph Priestley (1733-1804), un personaje interesante donde los haya:

nacido en Leeds, se dedicó al sacerdocio, como ministro no conformista. Fue predicador apasionado, tanto en religión como en lo que sus ideas políticas se refiere; ferviente admirador de la Revolución Francesa, en una ocasión en la que junto a unos amigos celebraba el aniversario de la toma de la Bastilla, su casa fue asaltada por la muchedumbre y su iglesia quemada, desapareciendo una buena parte de sus instrumentos y documentos científicos. Tuvo, en consecuencia, que emigrar a Norteamérica, instalándose en una población del estado de Pensilvania.

Como científico, su fama radica sobre todo en haber descubierto y aislado el oxígeno, que él denominó «aire desflogisticado», ya que era partidario de la teoría del flogisto, a la que me referiré enseguida (uno de sus escritos más importantes se titulaba *The Doctrine of Phlogiston Established [La doctrina del flogisto establecida]*; 1800). Expresado en términos analíticos, el hallazgo de Priestley —que difundió sobre todo en su libro *Experiments and Observations on Different Kinds of Air (Experimentos y observaciones sobre diferentes tipos de aires; 1774)*— se puede condensar en la reacción

cal de mercurio + calor → aire desflogisticado esto es, calentó óxido de mercurio, obteniendo oxígeno.

Durante sus experimentos, Priestley encontró que las velas ardían con más brillo en presencia de su aire desflogisticado; también que los ratones —y él mismo— lo podían respirar sin ningún problema. He aquí como se refirió a este hecho en *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*:

Mi lector no se sorprenderá de que, después de haberme asegurado de la superior cualidad del aire desflogisticado utilizando ratones y otras pruebas que ya he mencionado antes, tuviese la curiosidad de probarlo yo mismo. He satisfecho esta curiosidad respirándolo... El sentirlo en mis pulmones no es sensiblemente diferente de lo que sucede con el aire común, pero me dio la sensación de que mi respiración fue particularmente ligera y fácil durante algún tiempo después. ¿Quién puede decir si, en el futuro, este aire puro no se convertirá en un artículo de moda, en un lujo? Hasta el momento, sólo dos ratones y yo mismo hemos tenido el privilegio de respirarlo. (5) Aunque estrictamente Priestley fue el primero en anunciar el descubrimiento del gas (y elemento químico) que terminó siendo denominado oxígeno, otro científico que hay que mencionar es el sueco Carl Wilhelm Scheele (1742-1786), quien parece que llegó antes a este resultado, cuando entre 1770 y 1773 calentó pirolusita (dióxido de manganeso) con ácido sulfúrico concentrado, dando origen a la siguiente reacción, en la que se producía oxígeno (para él, «aire de fuego»)

$2 \text{MnO}_2 + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2 \text{MnSO}_4 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$ Sin embargo, la publicación de sus resultados (en un libro que tituló *Chemische Abhandlung von der Luft und dem Feuer* [Tratados sobre el aire y el fuego], que apareció en 1777) se demoró dos años, mientras esperaba recibir el prólogo del mineralogista Torbern Bergman (1735-1784), permitiendo así la prioridad de su colega inglés.

A pesar de avances como éstos, ninguno de los filósofos naturales involucrados consiguieron crear para la química un sistema teórico basado en el método experimental, ni elaborar un lenguaje metódico y preciso que sirviera de eficaz instrumento de comunicación. La química era, en consecuencia, una de las ciencias cuyo reflejo en la *Encyclopédie* aparecía como menos brillante. Gabriel-François Venel (1723-1775), redactor de la mayor parte de las voces químicas de aquella obra magna, ofrecía en el volumen tercero (1753) una panorámica bastante pesimista del desarrollo alcanzado por su disciplina al coronarse la primera mitad del siglo. Para Venel, el remedio consistía en que llegase un día en el que un buen químico revolucionase esta ciencia y la situase a la altura de las demás: «Esta revolución, digo, no puede ser realizada más que por un químico hábil, entusiasta y atrevido que, al encontrarse en una situación favorable y aprovechar hábilmente algunas circunstancias felices, sepa despertar la atención de los sabios, primero con una ostentación brillante, con un tono decidido y afirmativo, y después con argumentos si sus primeras armas hubieran atacado el prejuicio».

Los deseos de Venel no tardarían en cumplirse: Antoine-Laurent de Lavoisier (1743-1794) se llamaría el químico «hábil, entusiasta y atrevido».

Lavoisier

Como señalé con anterioridad, Lavoisier compendia toda la grandeza y tragedia de la Ilustración. Hijo de un próspero abogado de París, estudió Derecho como su padre, aunque desde el primer momento mostró interés por la ciencia, cuyos estudios compaginó con los legales (antes incluso de obtener el título de abogado, escribió —en 1763— su primer trabajo científico: sobre una aurora boreal observada en Villers Cotterets). Especialmente importante es el año de 1768, cuando fue elegido «adjunto supernumerario» de la Académie des Sciences e inició su actividad en la Ferme Générale, una de las principales instituciones existentes en el Antiguo Régimen para recoger impuestos. Se trataba de una organización financiera privada (lo que hizo Lavoisier para entrar en ella fue comprar un tercio de una participación), cuyo nombre podríamos traducir como Compañía General

de Arrendatarios. Como arrendatario (*férmier*), Lavoisier estaba obligado a realizar giras de inspección (por este motivo pasó fuera de París la mayor parte de 1769 y 1770) e informar de sus observaciones a los directores de la Compañía, *férmiers* más veteranos como Jacques Paulze, con cuya hija Marie Anne Pierrette Paulze (1758-1836) se casó en 1771, cuando Anne tenía sólo 13 años. No fue, está claro, no pudo ser, un matrimonio por amor, sino uno de tantos organizados por motivos o conveniencias diversos, lo que no quiere decir que la unión no diese frutos satisfactorios en este caso (en lo que se refiere a la ciencia, Anne se convertiría en una buena ayudante de su esposo). El mismo año de su matrimonio, Lavoisier incrementó su participación en la Ferme Générale: con una inversión de 780.000 francos, una fortuna desde luego.

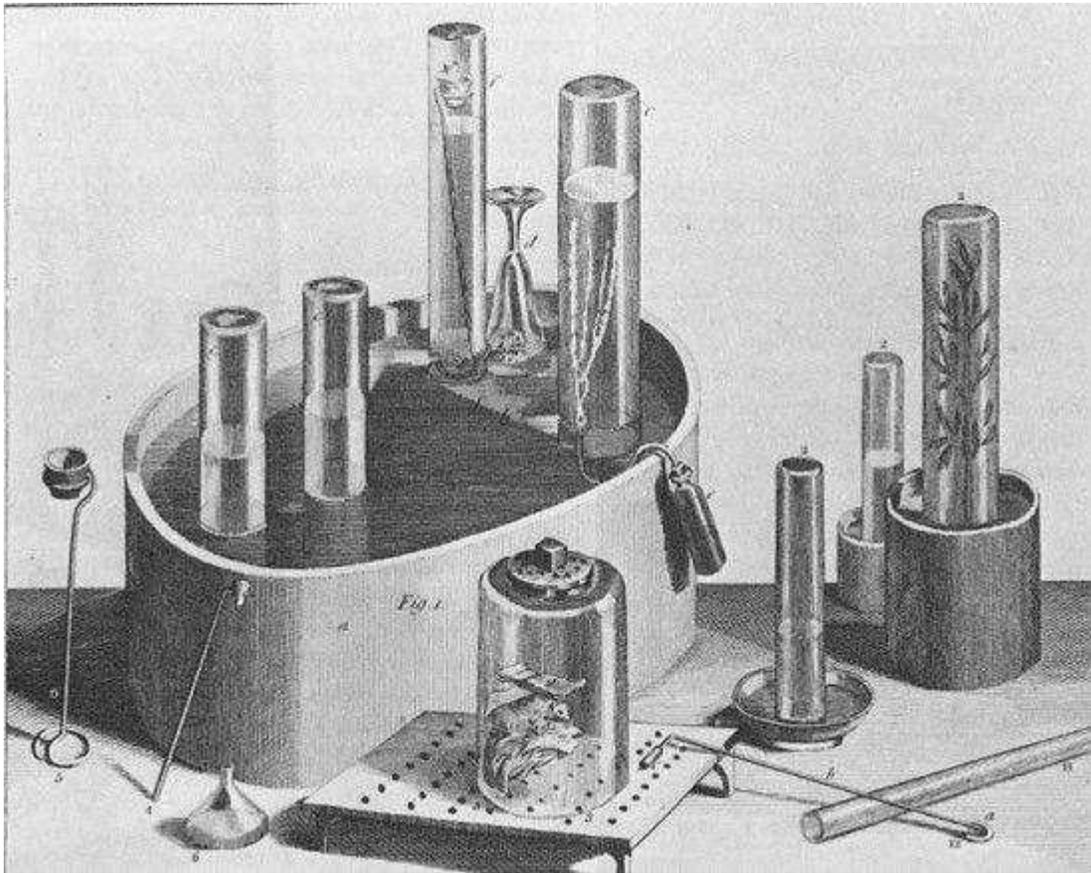


Lámina de «Observations on different kinds of air» (*Philosophical Transactions of the Royal Society*, 1772; también aparece en el libro titulado *Experiments and Observations on Different Kinds of Air*, publicado en 1774), de Joseph Priestley, que representa uno de sus experimentos para demostrar los efectos de la

combustión, putrefacción y respiración en una planta de menta (a la dcha.) y en ratones (en la parte delantera).



Lavoisier, según un grabado de Mlle. Brossard-Beaulieu.

No es, por supuesto, la presente ocasión para tratar la cuestión del sistema impositivo galo, importante para entender el derrumbamiento de la monarquía absoluta francesa. Recordaré únicamente unos datos que son necesarios para comprender mejor la biografía de Lavoisier: en la tradición medieval, los soberanos no tenían ningún derecho a gravar a sus súbditos de modo permanente; los impuestos eran considerados expedientes temporales y excepcionales para poner remedio a situaciones críticas. Fue a mediados del siglo XVI cuando se creó en Francia una categoría de «impuestos ordinarios», que, sin embargo, gravaban en general sólo a los miembros serviles y no privilegiados de la sociedad. Pero no era el rey quien recolectaba los impuestos, sino grupos privilegiados intermedios, entre los que se encontraban los arrendatarios generales, que se convirtieron en una de las principales fuentes de crédito del Gobierno, al que adelantaban fondos, a cambio de deducciones de interés sobre el montante de los contratos futuros; también emitían *billets des fermes* a corto plazo, documentos de crédito destinados al

público. ¿Sorprenderá que en el juicio que terminó con su condena a muerte, Lavoisier estuviese acompañado por otros 25 *fermiers* (uno de los cuales fue, por cierto, su suegro)?, ¿que, de hecho, aquel fuese en realidad un juicio contra la Ferme Générale?: «Todos los arrendatarios generales presentes —se lee en el texto de la sentencia (firmado el 19 floreal del año II, esto es, el 8 de mayo de 1794)— han sido traídos ante el tribunal revolucionario para ser juzgados conforme a la ley de delitos de dilapidación de las rentas del gobierno, conculcaciones y abusos, fraudes hacia el pueblo, traiciones hacia el gobierno y otras de las que han sido advertidos». Pero dejemos esto por el momento, ya que todavía no hemos llegado a la muerte de Lavoisier, y continuemos con otros detalles de su biografía.

Como buen ilustrado, Lavoisier no fue nunca ajeno a la actividad pública, un interés que en su caso se manifestó, al margen de su actividad como *fermier*, de al menos dos formas: una, con trabajos en lo que hoy denominaríamos «ciencia aplicada» (ya en 1766, concursó al premio convocado por la Académie des Sciences con una memoria sobre el alumbrado público); otra, a través de los cargos públicos que ocupó: en 1775 fue nombrado uno de los cuatro directores de la Régie des Poudres (la Administración de Pólvora), la institución estatal encargada de la producción de pólvoras y salitres, puesto que mantuvo hasta 1791; en 1787 fue elegido representante del Tercer Estado en la Asamblea Provincial de Orléans, y en 1789 diputado suplente por la nobleza de Bois en los Estados Generales y miembro de la Comuna de París.

Y ahora sí, es el momento de pasar a resumir sus principales contribuciones a la química.

La química de Lavoisier

En los años finales de la década de 1760, Lavoisier se sumió en investigaciones encaminadas a determinar el grado de pureza que el agua —uno de los protagonistas principales de su obra— podía alcanzar mediante destilaciones repetidas. Esto le llevó a plantearse uno de los problemas que ocupaban la atención de los químicos: la transmutación del agua en tierra. Recordemos una vez más que todavía estaba extendida entre los químicos la creencia en la teoría aristotélica de los cuatro elementos —agua, tierra, aire y fuego—, que por sus cualidades comunes podían transformarse unos en otros: el agua (fría y húmeda) podía transmutarse en tierra (fría y seca). Las medidas de densidades de muestras de agua en función de las materias disueltas, le hicieron sospechar que el depósito terroso que se formaba

en destilaciones (recurriendo al calor aportado por el fuego) sucesivas de una muestra de agua, cuya densidad no variaba apreciablemente en las últimas destilaciones, era un producto de las operaciones realizadas. Para dilucidar el problema, Lavoisier pensó, correctamente, que el único medio de comprobar su hipótesis era repetir las experiencias en recipientes herméticamente cerrados, con la precaución de tomar cuenta exacta del peso del recipiente y del agua empleados. Si el peso total, finalizada la experiencia, no variaba, «entonces necesariamente debía encontrarse una disminución de peso en una u otra de estas dos sustancias [el agua y el recipiente], y esta disminución debía ser precisamente igual a la cantidad de tierra separada». Si, por el contrario, el peso del conjunto aumentaba al final, entonces la «materia del fuego» que pasaba a través del vidrio y se combinaba con el agua, era la responsable de tal aumento.



Georg Stahl, según un grabado en *Opusculum chimico-physicomedicum* (Nuremberg, 1715).

Lavoisier pesó cuidadosamente (en este sentido para él fue tan importante la balanza como el matraz) un recipiente de vidrio y el agua que introdujo en él; lo cerró herméticamente y puso a hervir el agua por espacio de 101 días consecutivos. A medida que transcurría el tiempo, se formaba un residuo terroso. Una vez retirado el aparato del fuego, anotó de nuevo el peso del conjunto (recipiente y agua) y observó que no había variado. Comprobó entonces, en contra de la opinión

común, que el fuego no producía ningún aumento de peso. Después pesó el residuo seco e hizo lo mismo con el recipiente. El peso del residuo era prácticamente igual a la pérdida de peso experimentada por el recipiente, por lo que concluyó que el depósito terroso procedía del vidrio y no del agua. Como vemos, en un campo diferente, Lavoisier estaba socavando el universo aristotélico, al igual que más de un siglo antes lo había hecho Galileo con sus observaciones astronómicas.

Aunque no lo he dicho explícitamente, los procedimientos y conclusiones precedentes se basaban en una convicción que para nosotros es, en la actualidad (ampliada un tanto, de manera que incluya también la energía), casi un lugar común, pero que no lo era para los químicos de su época: la de la ley de la conservación de la masa, ley que Lavoisier no formularía explícitamente hasta la publicación de su *Tratado elemental de química* (1789). En efecto, en el capítulo XIII («De la descomposición de los óxidos vegetales por la fermentación viscosa»), podemos leer:

Para llegar a la solución de estos problemas, está claro que haría falta conocer primero el análisis y la naturaleza de los cuerpos susceptibles de fermentar y los productos de la fermentación; porque nada se crea, ni en las operaciones del arte, ni en las de la naturaleza, y se puede sentar como principio que, en toda operación, hay una cantidad igual de materia antes y después de la operación, que la cualidad y cantidad de los principios es la misma, y que no hay más que cambios y modificaciones.

Todo el arte de hacer experiencias en química está fundado sobre este principio: hay que suponer en todos los experimentos una verdadera igualdad o ecuación entre los principios del cuerpo que se examina y los que se sacan por el análisis.

Hoy recordamos esta contribución con la sencilla y un tanto burda expresión: «nada se crea ni se destruye».

Pasando ahora a otro aspecto de la revolución química asociada con el nombre de Lavoisier, tenemos que en ella el oxígeno desempeñaba un papel central. La combustión, uno de los procesos más notorios que se dan en la naturaleza y que ahora los diccionarios definen como «reacción química entre el oxígeno y un material oxidable, acompañada de desprendimiento de energía», pasó gracias a él a explicarse de una forma bien distinta a como se hacía en la teoría más influyente de la química precedente: la teoría del flogisto.

Según esta teoría, la capacidad que tiene un cuerpo para arder se debe a la existencia en su composición de una determinada sustancia llamada flogisto (del griego *filox*, esto es, «llama»; por consiguiente, literalmente «principio de la llama»), nombre que le dio su creador, Georg Stahl, médico del rey de Prusia y autor de obras como *Fundamenta chymiae dogmaticae & experimentalis* (*Fundamentos de químicas dogmática y experimental*; 1723). Igualmente, para que un metal llegara a calcinarse (de acuerdo con la visión actual, la calcinación es la transformación por oxidación de un metal a su mineral o cal), era indispensable que el flogisto formara parte de su composición.

En estas dos operaciones, combustión y calcinación, básicas dentro de la química, tenía lugar el mismo proceso: el desprendimiento de flogisto de las sustancias que lo contenían. Cuando la combustión y la calcinación se llevaban a cabo en recipientes cerrados, llegaba un momento en que el proceso se detenía; la teoría explicaba este hecho postulando que el aire contenido en el recipiente se saturaba del flogisto desprendido durante la operación y no admitía más adiciones. Por tanto, un metal no era una sustancia simple, sino que estaba compuesto por dos más simples: el flogisto y la tierra o ceniza que quedaba después de la calcinación, esto es, la «cal» del metal.

A comienzos de la década de 1770, Lavoisier emprendió sus investigaciones sobre el papel que desempeñaba el aire en el proceso de la combustión. A finales de 1772 ya pudo demostrar que tanto el fósforo como el azufre se combinaban con el aire durante la combustión, y que los productos que se producían (los ácidos fosfórico y sulfúrico) pesaban más que el fósforo y el azufre iniciales. Se trataba, por consiguiente, de un proceso de adición, en lugar de uno en el que se producía un desprendimiento (de flogisto). A lo largo de los dos años siguientes comprobó que la calcinación era un proceso similar a la combustión; esto es, que cuando un metal se calcinaba se unía a una parte del aire circundante, aumentando de peso. En octubre de 1774, el ya citado Joseph Priestley comunicó a Lavoisier que había estudiado recientemente un gas particular que era mucho más apto que el «aire común» para mantener la combustión. Por esta razón, le había dado el nombre de «aire desflogisticado», porque podía recibir mucho flogisto favoreciendo la combustión de otros cuerpos. Lavoisier pronto comprendió el papel fundamental que este nuevo gas desempeñaba en los procesos químicos de la combustión y la calcinación, que pasaron a convertirse en fenómenos que implicaban la absorción o combinación de un nuevo elemento, un aire al que bautizaría, como veremos enseguida, con el nombre de oxígeno. A partir de entonces, el aire común o atmosférico no fue ya una sustancia simple, sino que se compuso de dos o más elementales. En particular, Lavoisier demostró que estaba formado por dos gases,

uno —el «aire vital»— que sostenía la combustión, y otro «ázote», o «ázote» (nitrógeno), que no.

Tampoco el agua, el más universal componente de la naturaleza, superó indemne el paso de la vieja a la nueva química. Al igual que el aire atmosférico, dejó de ser considerada como una sustancia simple, logro en el que, como vimos, participó Henry Cavendish. «Hasta nuestros días —escribió Lavoisier en su *Tratado elemental de química*, en donde explicó el procedimiento que había seguido en este descubrimiento (que publicó en 1781)—, el agua se había considerado como un cuerpo simple, y los antiguos no tuvieron dificultad alguna en llamarla elemento. Para ellos era, sin duda, una sustancia elemental, puesto que no habían conseguido descomponerla o, al menos, porque las descomposiciones del agua que tenían lugar diariamente ante su vista escapaban de sus observaciones. Pero ahora... el agua ya no es para nosotros un elemento.»



Lavoisier y su esposa; retrato pintado por Jacques-Louis David en 1788
(Metropolitan Museum of Art, Nueva York).

Una nueva nomenclatura

Nos ha aparecido hace un instante la cuestión de la terminología. Y es importante detenerse en ella, ya que una parte básica de la revolución química asociada al nombre de Lavoisier tiene que ver con el desarrollo de una nueva nomenclatura. Hasta entonces se había dado un nombre arbitrario a las sustancias identificadas, nombres como vitriolo de estaño, álcali flogisticado, flor de arsenio, agua mercurial, alumbre nitroso, sal de Júpiter o polvos del conde de Palma de Santinelli; además, un mismo compuesto podía ser denominado de muchas formas diferentes (el caso, por ejemplo, del carbonato sódico, que recibió como nombres —empleando los términos del castellano de finales del siglo XVIII—: natrum o natrón, base de sal marina, alkali marino, alkali mineral, cristales de sosa, sosa gredosa, sosa ayreada, sosa efervescente, mefite de sosa, alkali fijo, mineral ayreado, alkali mineral efervescente, greda de sosa y barrilla). La asociación, en 1787, de Lavoisier con Guyton de Morveau (1737-1816), Claude Louis Berthollet (1748-1822) y Antoine François de Fourcroy (1755-1809) para compilar un *Méthode de nomenclature chimique* (*Método de nomenclatura química*), significó un paso decisivo en la racionalización de la química. Más aún, la nueva química, el edificio teórico que Lavoisier estaba construyendo, necesitaba para su consolidación elaborar un idioma propio, que fuese metódico y preciso.

En una época como es la nuestra en la que, en dominios cada vez más extensos los lenguajes, los idiomas, se degradan, siendo objeto de un descuido tal que más cabría emplear la expresión «desprecio», merece la pena recordar algunas de las manifestaciones que Lavoisier empleó al presentar la nueva nomenclatura química en una Junta pública de la Academia de Ciencias parisina celebrada el 18 de abril de 1787 («Sobre la necesidad de perfeccionar y reformar la nomenclatura de la química»):

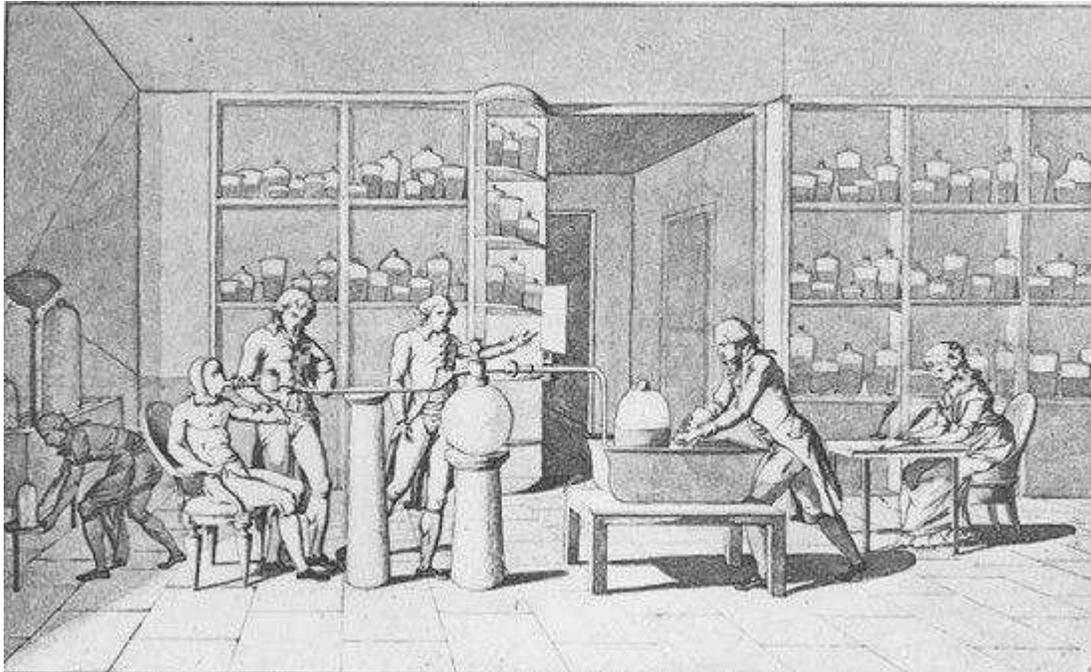
Las lenguas no sólo tienen por objeto, como se cree comúnmente, expresar por signos las ideas e imágenes; sino que además son verdaderos métodos analíticos, con cuyo auxilio procedemos de lo conocido a lo desconocido, y hasta cierto punto, al modo de los matemáticos: probemos a aclarar esta idea.

El álgebra es por excelencia el método analítico: fue inventado para facilitar las operaciones del alma, para abreviar el paso del raciocinio, para incluir en pequeño número de líneas lo que hubiera necesitado muchas páginas de disputa; finalmente, para conducir con más comodidad, prontitud y seguridad a la solución

de las cuestiones más complicadas. Pero un solo instante de reflexión convence fácilmente que el álgebra es una verdadera lengua: así como todas, tiene sus signos representativos, su método, su gramática, si se nos permite valernos de esta expresión: según esto, un método analítico es una lengua; una lengua es un método analítico, y estas expresiones son en cierta manera sinónimas.

La nueva química que él había diseñado necesitaba de todo esto. Necesitaba purificarse a través del lenguaje: «una lengua bien hecha y en la que se haya verificado el orden sucesivo y natural de las ideas, ocasionará una revolución necesaria y aun pronta en el modo de enseñar; no permitirá a los profesores apartarse de los pasos de la naturaleza; será preciso, o no admitir la nomenclatura o seguir sin remisión el camino que ella haya manifestado».

No resisto en este punto recordar un escrito poco conocido de Pedro Salinas. Es, ya lo sé, una pequeña digresión, pero, al fin y al cabo, el historiador debe ser algo más que un narrador y notario de historias; debe aprovechar cualquier momento para intentar hacer mejores a quienes lo leen o escuchan, que así también será mejor él mismo. El escrito en cuestión, lavoisieriano me atrevo a decir, de Salinas se titula *Defensa del lenguaje*. «El lenguaje es necesario al pensamiento —señalaba allí el poeta—, le permite cobrar conciencia de sí mismo. Y así se construye el objeto, en respuesta a la expectación del espíritu. El pensamiento hace el lenguaje, y al mismo tiempo se hace por medio del lenguaje... El pensamiento se orienta hacia el lenguaje como hacia el instrumento universal de la inteligencia.» Y, bastante más adelante, concluía su hermoso texto con un «Llamamiento» que nunca como hoy es tan necesario: «este discurso quiso ser un llamamiento a todos para que dediquen a su lengua el amor que se merece, para que vigilen su estado, sus pasos; para que la cuiden tal como nos la cuidaron los que desde siglos atrás vienen transmitiéndonosla... Este lenguaje que hablamos, nuestro es por unos años, recibido lo tenemos de los hombres de ayer, en él están, apreciables, todos los esfuerzos que ellos pusieron en mejorarlo. Pues bien, este es mi llamamiento: que cuando nosotros se lo pasemos a nuestros hijos, a las generaciones venideras, no sintamos la vergüenza de que nuestras almas entregan a las suyas un lenguaje empobrecido, afeado o arruinado. Este es el honor lingüístico de una generación humana, y a él apelo en estas mis últimas palabras».



Lavoisier en su laboratorio, experimentando sobre la respiración de un hombre en reposo (dibujo de Marie Anne Lavoisier, que aparece a la derecha, sentada, tomando notas).

Pienso que Lavoisier habría suscrito lo que manifestó Salinas. En realidad, en lo que él mismo escribió se encuentran las mismas ideas; ideas de amor y de rigor hacia el idioma.

Pero dejemos esta digresión y volvamos a la nueva nomenclatura química introducida por Lavoisier y sus colegas.

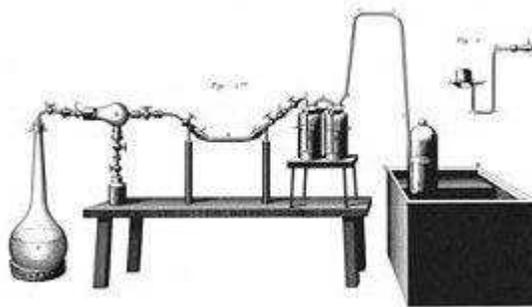
En cuanto a las normas introducidas por los químicos franceses, yo me atrevería a caracterizarlas como un ejercicio de lógica y sentido común. Entre sus supuestos metodológicos figuran que los nombres debían conformarse lo más estrechamente posible con las sustancias a las que designasen, que los cuerpos compuestos de otros más simples recibiesen nombres que expresasen su composición, mientras que los últimos recibiesen denominaciones sencillas; que los epónimos (que dan nombre a un pueblo, a una época, etc.) quedasen proscritos y que se utilizasen nombres con raíces procedentes de lenguas muertas bien conocidas que permitiesen recordar la palabra por su significado y viceversa.

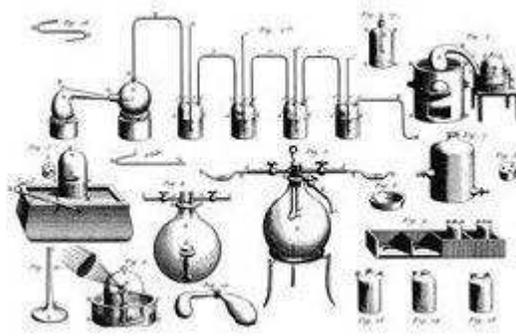
Recurriendo de nuevo al *Tratado elemental de química* (Primera parte, capítulo IV: «Nomenclatura de las diferentes partes constituyentes del aire atmosférico»):

Las palabras nuevas las hemos tomado principalmente del griego de tal forma que sus etimologías evocasen la idea de las cosas que nos proponíamos expresar y sujetándonos, sobre todo, a no admitir más que las palabras más cortas posibles que fuesen susceptibles de formar adjetivos y verbos.

Según estos principios y siguiendo el ejemplo de Macquer, hemos conservado el nombre de *gas* usado por Vanhelmont [Van Helmont] para denominar a la clase numerosa de fluidos elásticos aeriformes, con excepción del aire atmosférico. Por tanto, la palabra *gas* es para nosotros un nombre genérico que designa el último grado de saturación de cualquier sustancia por el calórico, es decir, la expresión de uno de los estados en que se pueden presentar los cuerpos. Para explicar después cada especie de gas, hemos agregado un segunda palabra tomada del nombre de la base...

Se ha visto que el aire atmosférico estaba formado principalmente por dos fluidos aeriformes o gases, uno respirable donde pueden vivir los animales, calcinarse los metales y arder los cuerpos combustibles, y otro con propiedades totalmente opuestas donde los animales no pueden respirar, ni mantenerse la combustión, etc. A la base de la parte respirable del aire le hemos dado el nombre de oxígeno, derivándolo de dos vocablos griegos, οξύς, *ácido*, y γείνομαι, *yo engendro*, porque, en efecto, una de las propiedades más generales de esta base es la de formar ácidos al combinarse con la mayor parte de las sustancias... Como las propiedades químicas de la parte no respirable del aire atmosférico no se conocen aún bien, nos hemos contentado con deducir el nombre de su base de la propiedad que tiene este gas de quitar la vida a los animales que lo respiran, llamándole ázoe [ahora nitrógeno], de la α privativa de los griegos y de ζωή, *vida*.





Dos grabados incluidos en el *Traité élémentaire de chimie* (1789), de Lavoisier.

Esto es, «oxí-geno» porque se trataba, según él, de un «generador de ácido»; ázoe, porque privaba de vida, «hidró-geno» por ser un «generador de agua».

Hay que hacer notar que la nueva nomenclatura presuponía, naturalmente, que la teoría del oxígeno era cierta. Así, se eligió la raíz *ico* para utilizar en sustancias en las que predominase el oxígeno; mientras que la terminación *oso* era para añadir a aquellas en las que la proporción de oxígeno fuese menor. Este hecho creó resentimiento entre los adversarios de la teoría lavoisieriana, sin dejar de lado la circunstancia de que químicos ya establecidos se vieran forzados a aprender un aspecto básico de su disciplina desde el principio. He aquí un signo genuino de una revolución: el tener que aprender de nuevo la disciplina.

Otro apartado importante a la hora de hablar de «revoluciones» (científicas, al igual que de cualquier otro tipo) es el desarrollo de medios propios para difundir las ideas que caracterizan al nuevo movimiento. En el caso de la química de Lavoisier, este medio fue una revista dedicada de manera casi exclusiva a ella: los *Annales de Chimie*, fundada en 1789. No es sorprendente que el equipo editorial de la revista estuviera formado por defensores de la nueva química: Guyton y Lavoisier, como editores principales, y Gaspard Monge, Berthollet, Fourcroy, Jean de Dietrich y Jean-Henri Hassenfratz. La nueva revista no era, desde luego, la única publicación que aceptaba trabajos de química en Francia: estaban, por ejemplo, las prestigiosas *Mémoires* de la Académie des Sciences, pero esta publicación tardaba con frecuencia entre dos y tres años en publicar los trabajos. Los *Annales de Chimie* contaban con la importante ventaja de ser mucho más rápidos en publicar los trabajos recibidos, además de aparecer con mayor frecuencia que las *Mémoires*.

El *Tratado elemental de química* y la Revolución

La ciencia revolucionaria se convierte en «ciencia normal» (recurriendo por una vez a la terminología de Thomas Kuhn) cuando llega a los libros de texto en los que aprenden las nuevas generaciones de estudiantes. No todas las revoluciones científicas están vinculadas con un libro que, inicialmente al menos, cumple tales funciones, pero algunas —y de las más importantes— sí. *Almagesto* de Ptolomeo, los *Principia* de Newton, los *Elementos de geología* de Lyell, *El origen de las especies* de Darwin y el *Tratado de electricidad y magnetismo* de Maxwell son algunas de esas obras. Y, por su supuesto, el *Tratado elemental de química* de Lavoisier.

Ya me he referido en varias ocasiones a esta obra, pero ahora sólo quiero recordar un dato: el año de su publicación. Fue porque en ellos se publicaron los *Principia*, los *Principios de geología* o *El origen de las especies* que muchos, o algunos, de nosotros recordamos los años de 1687, 1830-1833 o 1859. Por nada más. No sucede lo mismo con el *Traité élémentaire de chimie, présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes* (*Tratado elemental de química, presentado en un orden nuevo según los descubrimientos modernos*), que vio la luz en 1789, el mismo año en que, el 14 de julio, masas parisinas tomaron la Bastilla, el odiado símbolo de un régimen que ya no se quería —que acaso nunca fue querido—, poniendo en marcha de esta manera la Revolución Francesa. Lavoisier, entonces en la cumbre de su poder y prestigio, científico y público, no pudo permanecer al margen de aquel confuso y con frecuencia contradictorio proceso, en el que las ansias de libertad e igualdad a menudo se combinaron con la crueldad, el vandalismo y el Terror, el Terror con mayúscula. Difícilmente, por otra parte, podría haberlo hecho; su vida, al fin y al cabo, era como un tejido fina, sólidamente unido al mundo social, a la sociedad, al pueblo en definitiva (aunque él, como otros aristócratas de entonces, de antes y de después, no supiese calibrar lo que esto significaba). Y, como ha señalado uno de sus biógrafos (Arthur Donovan, *Antoine Lavoisier. Science, Administration and Revolution*; 1993), a partir de aquel momento su historia es sencilla: «se vio aprisionado por sucesos que ni él ni nadie pudo haber anticipado o controlado». De nada le sirvió todo su prestigio, todo su poder. En una nota que escribió durante los meses que pasó en prisión, Lavoisier defendió —refiriéndose a sí mismo en tercera persona— con orgullo su carrera como científico y ciudadano:

Lavoisier, miembro de casi todas las academias de Europa, ha consagrado su vida principalmente a trabajos relativos a la física y a la química.

Durante los veinticinco años que ha sido miembro de la Academia de Ciencias, ha hecho imprimir en sus Actas más de 80 memorias, de las que una gran parte contienen descubrimientos importantes para las artes, las ciencias y la humanidad. Ha consagrado a este fin una parte importante de su fortuna.

Se ha ocupado principalmente de experimentos de agricultura muy onerosos que ha continuado durante quince años y en los cuales ha sacrificado más de 120.000 libras; se propone incesantemente publicar una obra importante sobre este tema.

No esperó en ningún momento la época de la Revolución para manifestar sus principios sobre la libertad y la igualdad.

Seguramente creía lo que escribió. Que había amado la libertad y la igualdad siempre. Sólo que la libertad e igualdad de los *férmiers généraux* no eran, claro, la libertad e igualdad del pueblo llano, de los *sans-culottes* que tomaron la Bastilla el mismo año que se publicó su *Tratado elemental de química*, una obra que, como la Revolución, también contribuyó a cambiar el mundo, pero que ellos, los revolucionarios que se unieron en la entrada del suburbio de Saint-Antoine para marchar hacia la Bastilla, no habían leído, entre otros motivos porque muchos —la mayoría seguramente— no sabían leer.

Y así su cabeza cayó segada por la guillotina el 8 de mayo de 1794, junto a otros veintiocho acusados de conspirar contra el pueblo de Francia. «Sólo un instante para cortar esa cabeza. Puede que cien años no basten para darnos otra igual», se cuenta que dijo Lagrange.

El día antes del ajusticiamiento, Lavoisier escribió a su primo Augez de Villers que «había disfrutado de una vida razonablemente larga, y de bastante éxito, y creo que mi memoria será acompañada con algunos lamentos, acaso con alguna gloria. ¿Qué más podría haber deseado pedir? Los sucesos de los que me encuentro rodeado probablemente me evitarán los inconvenientes de la vejez».

Fue, como vemos, el suyo un final digno, con un toque de fina ironía e, inevitablemente, melancolía. Un final que no impidió —no lo impide nunca— que la ciencia a la que se había dedicado con pasión continuase progresando.

Apéndice

A. L. de Lavoisier, «Discurso preliminar» del *Tratado elemental de química*: La imposibilidad de aislar la nomenclatura de la ciencia y la ciencia de la nomenclatura, se debe a que toda ciencia física se forma necesariamente de tres cosas: la serie de hechos que constituyen la ciencia, las ideas que los evocan y las palabras que los expresan. La palabra debe originar la idea, ésta debe pintar el hecho: he aquí tres huellas de un mismo cuño. Y como las palabras son las que conservan y transmiten las ideas, resulta que no se puede perfeccionar la lengua sin perfeccionar la ciencia, ni la ciencia sin la lengua; y por muy ciertos que fuesen los hechos, por muy justas que fuesen las ideas que originasen, sólo transmitirán impresiones falsas si careciésemos de expresiones exactas para nombrarlos. Aquellos que lean con atención la primera parte de este tratado encontrarán repetidamente comprobadas estas verdades; pero, como me he visto forzado a seguir en él un orden diametralmente distinto al que se ha adoptado hasta el momento en todas las obras de química, manifestaré los motivos que he tenido para ello. Es un principio constante, cuya generalidad está bien verificada tanto en las matemáticas como en los demás saberes, que para instruirnos debemos pasar siempre de lo conocido a lo desconocido. Durante la primera infancia nuestras ideas proceden de nuestras necesidades, la sensación de éstas origina la idea de los objetos apropiados para satisfacerlas, y por una serie de sensaciones, observaciones y análisis, se genera de forma insensible una sucesión de ideas ligadas entre sí, donde un observador atento puede, hasta cierto punto, encontrar el hilo y encadenamiento, que constituyen el conjunto de nuestro saber. Cuando nos disponemos por primera vez a realizar el estudio de una ciencia, nos encontramos con relación a ella en un estado muy similar a aquel en que se hallan los niños, y el camino que debemos seguir es precisamente el que sigue la naturaleza en la formación de sus ideas. Así como en el niño la idea es un efecto de la sensación, y es ésta quien produce la idea, de la misma forma para aquel que se dispone a iniciar el estudio de las ciencias físicas, las ideas no deben ser más que una consecuencia, el resultado inmediato de una experiencia o una observación. Séame permitido añadir que la situación del que entra en la carrera de las ciencias es menos ventajosa que la del niño que adquiere sus primeras ideas; si éste se engaña respecto a los efectos saludables o nocivos de los objetos que le rodean, la naturaleza le suministra multiplicados medios para rectificar. Cualquier juicio que forme se ve a cada instante corregido por la experiencia. La privación o el dolor suceden a un juicio falso; la alegría y el placer a un juicio adecuado. No se tarda con tales maestros en llegar a ser consecuentes y pronto se razona de forma justa cuando no puede hacerse de otro modo bajo pena de privación o sufrimiento. No ocurre igual en el estudio y práctica de las ciencias: los juicios falsos que formamos no involucran a nuestra existencia y bienestar. Por el contrario, la imaginación que siempre tiende a llevarnos más allá de los límites de la verdad, el amor propio y la confianza que nos inspira en nosotros mismos, nos

inducen a sacar consecuencias que no se derivan inmediatamente de los hechos; de suerte que parecemos estar, de algún modo, interesados en seducirnos. No es extraño, pues, que en las ciencias físicas, en general, se hayan comúnmente realizado conjeturas en lugar de conclusiones, que estas conjeturas al transmitirse de época en época hayan llegado a ser cada vez más dominantes por el peso de la autoridad que adquirieron y que, en fin, hayan sido adoptadas y consideradas como verdades fundamentales incluso por hombres de gran inteligencia. Para evitar estos desvaríos, el único medio consiste en suspender o, al menos, simplificar todo lo posible el razonamiento que, por proceder de nosotros, solamente él puede engañarnos; en someterlo continuamente a la prueba de la experiencia; en no conservar más que los hechos que son datos de la naturaleza y no pueden equivocarnos, en no buscar la verdad más que en el encadenamiento natural de las experiencias y observaciones, al igual que los matemáticos llegan a la solución de un problema por la simple ordenación de los datos, reduciendo el razonamiento a operaciones tan sencillas, a juicios tan breves, que nunca pierdan de vista la evidencia que les sirve de guía. Convencido de estas verdades, me he impuesto la ley de no pasar nunca más que de lo conocido a lo desconocido, de no deducir ninguna consecuencia que no se derive inmediatamente de las experiencias y observaciones, y de encadenar los hechos y verdades químicas en el orden más apropiado que facilite la comprensión a los principiantes. Pero al sujetarme a este plan era imposible que no me desviase de los caminos ordinarios. Pues es un defecto común a todos los cursos y tratados de química suponer desde la primera lección que el alumno o el lector poseen unos conocimientos que sólo podrán adquirir en las lecciones siguientes. En casi todos ellos se empieza por hablar de los principios de los cuerpos y explicar la tabla de afinidades, sin advertir que por ese camino es necesario recorrer desde el primer día los principales fenómenos de la química, utilizar expresiones que no han sido definidas aún y suponer ya formados en esta ciencia a quienes se trata de enseñarla. Igualmente es un hecho que sólo se aprende poca cosa en un primer curso de química, que un año apenas es suficiente para familiarizar el oído con la terminología, la vista con los aparatos, y que es casi imposible formar un químico en menos de tres o cuatro años. Como estos inconvenientes se deben más a la naturaleza de las cosas que a la forma de la enseñanza, me he impuesto dar a la química un rumbo que me parece más conforme con el que sigue la naturaleza. No se me oculta que al querer evitar un género de dificultad me meta en otro y que me sería imposible superarlas todas, pero creo que las que queden por allanar no se deben al orden que me he propuesto, sino que son más bien consecuencia del estado de imperfección en que aún se encuentra la química. Esta ciencia presenta numerosas lagunas que interrumpen la serie de los hechos y que exigen enlaces embarazosos y difíciles. No tiene la ventaja, como la geometría elemental, de ser una ciencia completa cuyas partes están todas

ligadas entre sí, pero, sin embargo, su marcha actual es tan rápida y los hechos se adecuan tan satisfactoriamente a la doctrina moderna, que podemos esperar verla, incluso en nuestros días, muy cerca de alcanzar el grado de perfección de que es susceptible. Esta ley rigurosa que no debo transgredir, de no deducir nada más allá de lo que las experiencias muestren, de no suplir nunca lo que los hechos silencien, no me ha permitido incluir en esta obra aquella parte de la química más susceptible quizá de llegar a ser un día una ciencia exacta: la que trata de las afinidades químicas o atracciones electivas. Geoffroy, Gellert, Bergman, Scheele, Morveau, Kirwan y muchos otros ya han reunido una multitud de hechos singulares a los que sólo falta colocarlos en sus lugares correspondientes. Pero no tenemos aún datos básicos o, al menos, los que poseemos no son lo bastante precisos y exactos todavía como para que puedan llegar a ser el apoyo fundamental sobre el que descansa una parte tan importante de la química. Por otra parte, la ciencia de las afinidades es a la química ordinaria lo que la geometría superior a la geometría elemental, y he creído que no debía complicar con grandes dificultades unos elementos sencillos y fáciles que serán comprendidos, espero, por un gran número de lectores... No dejaré de extrañar que en un tratado elemental de química no aparezca un capítulo sobre las partes constituyentes y elementales de los cuerpos, pero he de advertir aquí que la manía que tenemos de que todos los cuerpos naturales se compongan únicamente de tres o cuatro elementos se debe a un prejuicio heredado de los filósofos griegos. Admitir que cuatro elementos componen todos los cuerpos conocidos sólo por la diversidad de sus proporciones es una mera conjetura imaginada mucho antes de que se tuviesen las primeras nociones de la física experimental y de la química. Se carecía aún de hechos y sin ellos se creaban sistemas, y hoy que los poseemos parece que nos empeñamos en rechazarlos cuando no se adaptan a nuestros prejuicios; tan es así que aún se deja sentir el peso de la autoridad de los padres de la filosofía humana y que sin duda continuará pesando sobre las generaciones venideras. Es digno de señalar que ninguno de los químicos partidarios de la doctrina de los cuatro elementos no haya admitido, forzado por los hechos, un mayor número de ellos. Los primeros químicos que escribieron después de la renovación de las letras, consideraron el azufre y la sal como sustancias elementales que entraban en la composición de gran número de cuerpos y así reconocieron la existencia de seis elementos en vez de cuatro. Becher admitía tres tierras, de cuya combinación en proporciones distintas deducía la diferencia existente entre las sustancias metálicas. Stahl modificó este sistema y todos los químicos que le han sucedido se han permitido imaginar o introducirle algunos cambios; pero todos ellos se han dejado arrastrar por la mentalidad de su época que se contentaba con aserciones sin pruebas o, al menos, consideraba como tales las probabilidades menos fundadas. Todo lo que puede decirse sobre el número y naturaleza de los elementos se reduce, en mi opinión, a puras discusiones metafísicas; sólo se intenta

resolver problemas indeterminados susceptibles de infinitas soluciones, ninguna de las cuales, con toda probabilidad, será acorde con la naturaleza. Me contentaré, pues, con decir que si por el nombre de elementos queremos designar a las moléculas simples e indivisibles que componen los cuerpos, es probable que las ignoremos; pero sí, por el contrario, unimos al nombre de elementos o principios de los cuerpos la idea del último término al que se llega por vía analítica, entonces todas las sustancias que hasta ahora no hemos podido descomponer por cualquier medio serán para nosotros otros tantos elementos; con esto no queremos asegurar que los cuerpos que consideramos como simples no se hallen compuestos por dos o mayor número de principios, sino que como nunca se ha logrado separarlos o, mejor dicho, faltándonos los medios para hacerlo, debemos considerarlos cuerpos simples y no compuestos hasta que la experiencia y la observación no demuestren lo contrario.

El fin de una quimera: Charles Darwin y la teoría de la evolución

De muy pocos descubrimientos, teorías o científicos se puede decir lo que se puede manifestar a propósito de Charles Darwin: que generó una revolución intelectual que fue mucho más allá de, en su caso, los confines de la biología, o, de forma más general, las ciencias naturales, provocando el derrumbamiento de algunas de las creencias más fundamentales de su época. Creencias como la de que cada especie fue creada individualmente, «a imagen y semejanza de Dios», se añade en algunas religiones. Si Copérnico separó a nuestro hábitat, la Tierra, del centro del universo, Darwin despojó a la especie humana del lugar privilegiado que hasta entonces había ocupado en la naturaleza. Depurada por el paso del tiempo, la idea básica de la teoría darwiniana de la evolución de las especies, o de la selección natural, es que no hay una tendencia intrínseca que obligue a las especies a evolucionar en una dirección determinada, que no existe una fuerza que empuje a las especies a avanzar según una jerarquía predeterminada de complejidad, ni tampoco una escala evolutiva por la que deban *ascender*. Se puede hablar de «evolución de las especies», es cierto, pero se trata de un proceso básicamente abierto, sin final único. Si se trasladan especies a lugares diferentes y aislados, cada una de ellas cambiará sin referencia a las otras, y el resultado sería un grupo de especies distintas aunque «filialmente» relacionadas.

Fue durante el siglo XIX cuando Darwin —y Wallace— llegó a semejante conclusión, pero, recurriendo a la expresión newtoniana, si pudo hacerlo fue porque estuvo subido a hombros de gigantes; o si parece exagerado emplear esta expresión (perfectamente adecuada, de todas maneras, en algunos casos): porque se apoyó en los esfuerzos de hombres —todavía, ¡ay!, las mujeres estaban muy apartadas, salvo contadas excepciones, de los menesteres científicos— que, antes que él, se dedicaron con pasión y denuedo al estudio de la vida presente en la naturaleza. Sería, en consecuencia, injusto no mencionar, aunque sea brevemente, a algunos de estos *naturalistas*, sin los cuales no habría existido el Darwin al que la humanidad honra. Antes, sin embargo, quiero efectuar un pequeño comentario.

Vida y Naturaleza

Hasta ahora he hecho hincapié sobre todo en aquellas ramas de la ciencia

que más fácilmente se acomodan al molde que suministra la matemática, disciplinas como la física o la astronomía, o a aquellas en las que la cuantificación —aunque acaso no la expresión analítica, la integral o la ecuación diferencial— constituye pieza primordial, como es el caso de la química. Dije en su momento que la necesidad de utilizar la herramienta más básica de la matemática, contar, se debió hacer patente a los humanos casi en los primeros momentos del inicio de su camino intelectual-razional, como denotan las muescas encontradas en huesos. Ahora bien, por muy necesario que les resultase contar, más debió serlo relacionarse con la vida, vegetal y animal, que encontraban a su alrededor. Lo que quiere decir que el aprendiz de botánico o zoólogo, el naturalista principiante, tuvo obligatoriamente que preceder al matemático en ciernes (por cierto, otro tanto cabe decir, con pequeñas diferencias, de la medicina, pero de ella me ocuparé en otro capítulo, aunque ya nos haya aparecido de pasada a propósito de Vesalio). Relevante en este sentido es lo que escribió el antropólogo y etnólogo polaco Bronislaw Malinowski (1884-1942) en las primeras páginas de su ensayo titulado *Magia, ciencia y religión*: «Un momento de reflexión basta para mostrarnos que no hay arte ni oficio, por primitivo que sea, ni forma organizada de caza, pesca, cultivo o depredación que haya podido inventarse o mantenerse sin la cuidadosa observación de los procesos naturales y sin una firme creencia en su regularidad, sin el poder de razonar y sin la confianza en el poder de la razón; esto es, sin los rudimentos de lo que es ciencia».

Así que, si me he ocupado de la matemática, la astronomía, la física o la química, ¿por qué no lo he hecho antes de las ciencias de la vida, si a ellas debieron atender en primer lugar nuestros antepasados lejanos, más interesados en saber de plantas y animales que de estrellas, movimientos o números? Reconozco que esta es una crítica fundada. Mi única respuesta es la organización de este libro, que tiende a escudarse en algunos personajes, y así Darwin, al que he elegido como estandarte de las ciencias naturales, es posterior a los Euclides, Newton y Lavoisier. Pero dicho esto, admitida la culpa (o la incoherencia), y reconocido que no fue, ni mucho menos, Darwin el pionero en ese ámbito tan próximo a los de nuestra especie —de hecho, a los de cualquier especie en este planeta llamado Tierra—, repasemos brevemente, como anunciaba hace un momento, los nombres y méritos principales de algunos de los gigantes sobre cuyos hombros se subió Charles Darwin.

Naturalistas anteriores a Darwin

Precisamente por la inmediatez y espontaneidad de la relación de la flora y fauna con los humanos, encontramos conocimientos naturalistas en todos los

continentes, en todos los tiempos y en todas las culturas que, de una forma u otra han dejado rastros que hemos sido capaces de identificar. Así, el que yo mencione ahora unos cuantos nombres no quiere decir, en absoluto, que puedan enorgullecerse de haber inaugurado nuevos campos de indagación y síntesis; sin duda que aportaron mucho, pero en gran medida fueron, sobre todo los más antiguos, herederos y deudores de unos saberes y tradiciones que se pierden en la noche de la historia. Su gran ventaja fue el haber sido bendecidos por el don de la escritura, en formas y en épocas que permitieron que superasen mejor el paso del tiempo.

No fue, en los sentidos que acabo de precisar, el primero, pero cualquier historia de naturalistas debe detenerse en un nombre que ya nos ha aparecido con relación a otros intereses: Aristóteles. Este gigante, de todos los tiempos y de todos los universos intelectuales, también se ocupó de la vida presente en la naturaleza, como muestra uno de los aproximadamente treinta tratados suyos que han sobrevivido (se cree que fue autor de más de ciento cincuenta), *Investigación sobre los animales*, *De historia animalium* según su título latino (fue traducida al latín por Theodorus Gaza [c. 1400-1475], un griego residente en Italia, que publicó su versión en 1476; la *editio princeps* —es decir, la primera edición de una obra que ya estaba en circulación antes de la invención de la imprenta— griega es de 1497), «el mejor libro que nos queda de la Antigüedad» para Voltaire (*Diccionario filosófico*), en el que recorrió el reino animal, describiendo los diferentes órganos y funciones de unas cuatrocientas especies de animales, aunque no trató de realizar ningún tipo de clasificación sistemática (esto es algo que tendría que esperar a Linneo), un aspecto que se refleja en que no intentase crear ningún tipo de nomenclatura científica, limitándose a emplear las denominaciones entonces habituales.



Láminas de la traducción al castellano de De la Huerta de la *Historia natural* de Plinio.

Segundo tras Aristóteles, entre los antiguos, fue un romano, Cayo Plinio Segundo (23-79), más conocido como Plinio el Viejo. Su origen constituye en sí un hecho bastante raro, ya que el Imperio Romano destacó más en el derecho o en la técnica que en la ciencia. Su voluminosa *Historia natural*, la que haría que su nombre superase esa difícil prueba que es el paso del tiempo, está dividida en treinta y siete libros, en los que analizaba y, sobre todo, describía el mundo, los elementos, países, pueblos, animales, plantas, medicamentos, geología, mineralogía e inventos varios; constituía, en suma, una ambiciosa enciclopedia de todos los conocimientos que había acumulado el mundo clásico. El gran naturalista español Francisco Hernández (1517-1587), médico de cámara de Felipe II, que dedicó más de una década a la no pequeña empresa de verter al castellano la obra de Plinio, que acompañó

Cayo Plinio Segundo, *Historia natural*, traducción de Francisco Hernández, Libro Octavo, Capítulo XXV («Del crocodilo, scinco o estinco e hipopótamo»):Cría el río Nilo crocodilos [para nosotros, por supuesto, *cocodrilos*], pestilencia de cuatro pies, perjudicial en el río y en la tierra. Sólo éste entre todos los animales terrestres carece del uso de la lengua; sólo éste muerde moviendo la quixada superior, siendo fuera desto terrible por tener las ringleras de los dientes ásperas, a manera de púas de peine. Tiene muchas veces más de 18 cobdos en largo. Pone huevos, tamaños como los de los gansos y échase sobre ellos en lugares a los cuales sabe con cierta adivinación que, por más que crezca el Nilo aquel año, no allegará. No hay animal que, de menor origen y principio, crezca en mayor grandeza. Está armado de uñas y cuero tan rezio que no admite herida. Vive los días en la tierra y las noches en el agua, lo uno y lo otro por razón del abrigo o templanza. Estando, pues, este animal harto de peces y, con la boca suzia de lo que se le apega del manjar, dormido en la ribera, una pequeña ave llamada allí trochilo y, en Italia, rey de las aves, le incita y convida a que abra la boca, limpiándole primeramente unas partes y otras della por razón de su propio mantenimiento, y después los dientes y adentro la garganta. Estando ellos muy boquiabiertos, con la dulcedumbre que sienten de que los estén desta manera rascando, en el cual deleite viéndole el ichneumon agravado de sueño, se entra como una saeta por la garganta y le rompe a bocados el vientre. de abundantes comentarios, escribió en la

«Dedicatoria» al Rey Prudente que añadió a su traducción que «la divina Historia de Plinio, donde (como él dize en el Prohemio) comprehendió 20 mil cosas notables, de las cuales tocan pocas los estudiosos, con lección de dos mil libros, sacadas de 100 autores exquisitos y raros de que hoy apenas tenemos algunos y, esto, tan elegante, ordenada y diligentemente, con tanto compendio y sustancia, que no hay capítulo que no pudiese dilatarse en un cumplido volumen. De donde es que no me espanta haver algunos notado a Plinio de hombre que excede a ratos los límites de la verdad, por escribir cosas tan raras y admirables y que tiene Naturaleza tan ocultadas a los más de los hombres, que no es maravilla parecerles a los que no las han visto mentirosas e increíbles, pues como ninguna, casi, afirma Plinio, que no señale causa o autor». Más modestas, pero expresadas con una belleza que todavía, poco menos de dos mil años después, conmueve el espíritu, eran las pretensiones del propio Plinio, como queda reflejado en las siguientes palabras que incluyó en el «Prólogo» que dedicó al emperador Tito Flavio Sabino Vespasiano: «Arduo es dar novedad a las cosas antiguas, a las nuevas autoridad, lustre a las no usadas, a las pesadas gracia, a las dudosas crédito, a todas naturaleza y a su naturaleza todas».



Leonard Fuchs, según aparece en uno de sus libros: *New Kreüterbuch* [*Nuevo herbario*], 1543.

Más famosa tal vez (desde luego en España, gracias a la edición que de ella hizo el médico segoviano Andrés Laguna [1511-1559]), aunque más limitada, fue una obra casi contemporánea a la de Plinio: *De materia medica*, de Pedacio Dioscórides Anazarbeo (c. 4090), médico griego instalado en Roma que sirvió en las legiones de Nerón. Sus largos viajes con el ejército —por Grecia, España, norte de África, las Galias y Siria— le dieron ocasión para reunir una gran cantidad de conocimientos, que reunió en *De materia medica*, conocida por muchos como, simplemente, «el Dioscórides», básicamente una enciclopedia farmacológica, en la

que trataba de las propiedades medicinales de plantas (de las que describía más de 600), animales (90) y minerales (90).



Uno de los aspectos que dan importancia al libro de Leonard Fuchs, *De Historia stirpium* (Basilea, 1542), son sus ilustraciones. Para destacar este aspecto, la

obra incluyó una lámina especial dedicada a la preparación de las ilustraciones.

Albrecht Meyer, que dibujó las plantas, aparece a la derecha, mientras Heinrich Füllmaurer, que llevó esos dibujos a bloques de madera, se encuentra a la izquierda.

Abajo, un retrato de Veit Rudolph Speckle, responsable de la preparación final de las planchas de madera para la imprenta.

Siguiente en esta breve lista de naturalistas es Leonard Fuchs (1501-1566), médico alemán, uno de los primeros en intentar establecer una terminología botánica, cuyo nombre se ha mantenido en, por ejemplo, un género de plantas: las fuchsiáceas. En su *De historia stirpium (Sobre la historia de las plantas; 1542)*, ordenó alfabéticamente, por sus nombres griegos, alrededor de quinientas plantas, incluyendo grabados coloreados de extraordinaria belleza, creados por tres artistas de su tiempo: Heinrich Füllmaurer, Albrecht Meyer y Veit Rudolph Speckle, quien se encargó de la preparación final de las planchas de madera para la imprenta.

Contemporáneo de Fuchs fue Konrad Gessner (1516-1565), autor de una *Historia animalium (1551-1558)*, en cinco volúmenes tamaño folio, que marcó el inicio de la zoología moderna (se le considera el primer tratado auténticamente zoológico). En ella cada animal era listado alfabéticamente, por su nombre latino, con información detallada y un grabado. Gessner fue también el primero en preparar un libro ilustrado dedicado a los fósiles, *De omni rerum fossilium genere (1565)*, en el que también participaron otros autores (como su amigo, el médico Johannes Kentmann, responsable del ensayo titulado *Nomen claturae rerum fossilium*, un catálogo de su colección personal de fósiles, formada por unas seiscientas piezas de restos de minerales, animales y plantas).



Georges Louis Leclerc de Buffon.

Un paso sustancial fue el dado por el médico y botánico italiano Andreas Caesalpinus (1519-1603), o, simplemente, Cesalpino, quien en *De plantis* (1583) describió unas mil quinientas plantas, clasificadas por géneros en quince grupos. Linneo lo consideró el primer verdadero sistematizador de la botánica, aunque, podemos añadir nosotros, muy lejos aún de lo que conseguiría el gran botánico sueco. Al prestar poca atención a los usos médicos de las plantas, elevó la botánica al nivel de una verdadera ciencia independiente.

Con Carl Linnaeus (1707-1778), o Linneo, médico y naturalista sueco, se llega a una de las cumbres de la botánica. Con él, la taxonomía botánica, la clasificación de las plantas, alcanzó una posición nunca antes lograda. Su gran contribución fue la nomenclatura binaria, que da a cada especie dos nombres, el genérico (común a todas sus congéneres) y el específico (que sirve para concretar, dentro del género, a qué especie pertenece). De sus obras, mencionaré: *Systema naturae* (1735), un esbozo

de su esquema de clasificación de toda especie vegetal y animal, incluyendo al hombre; *Philosophia botanica* (1751), y la que él consideraba su mejor obra, *Species plantarum* (*Especies de plantas*; 1753).

El mismo año en que nació Linneo, vio la luz otro nombre importante de las ciencias naturales: el francés Georges-Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788). Fue, sin embargo, más un divulgador que un investigador que hiciese avanzar sustancialmente el conocimiento. Sus libros, como *Histoire naturelle* (1749-1789) o *Époques de la nature* (1779), en el que analizaba el desarrollo de la historia de la Tierra, dividiéndola en siete épocas, no poseen un gran valor científico, aunque sin duda sirvieron para estimular el estudio de la naturaleza, algo que, es preciso insistir en ello, también forma parte del mundo de la ciencia.

Clasificar, encontrar rasgos comunes en especies diferentes, es una tarea muy importante, pero en modo alguno agota el universo de los problemas que plantea el estudio de la vida; es, simplemente, uno de sus primeros estadios. Inevitables son también preguntas que surgen de manera natural, casi inevitable, a un espíritu medianamente inquieto: ¿cómo han llegado a producirse las especies que vemos, al igual que otras que, parece, las han precedido?, o ¿cómo se han generado los diversos órganos que existen en los seres vivos, sean éstos vegetales o animales?, sin olvidar una mucho más primaria y compleja, una que ha estado dominada —secuestrada acaso sería una expresión más adecuada— por las religiones, la de cómo surgió en primera instancia la vida.

Por supuesto, a esas cuestiones —no la del origen de la vida— se dirigió Charles Darwin; terminó dirigiéndose, mejor dicho, pero no fue el primero en hacerlo, como él mismo reconoció en las primeras líneas de su gran libro, *Sobre el origen de las especies*. Uno de los que mencionaba, el principal, fue Jean-Baptiste-Pierre-Antoine de Monet, caballero de Lamarck (1744-1829).

La función crea el órgano: Lamarck

El menor de los once hijos de una familia aristocrática venida a menos, Lamarck se alistó en el ejército cuando tenía dieciséis años, abandonándolo por motivos de salud tras haber servido en la guerra de los Siete Años. Estudió entonces medicina, aunque pronto se interesó por la botánica y la meteorología, introduciendo una técnica simplificada de clasificación de plantas, que le sirvió para ser nombrado, en 1781, botánico del rey. En 1788 consiguió una plaza de

ayudante de botánica en el Jardin des Plantes de París. Cuando la Convención reorganizó este centro, transformándolo en el Muséum d'Histoire Naturelle, creó doce cátedras y en 1793 adjudicó a Lamarck la de animales inferiores. Entre 1799 y 1810 publicó los once volúmenes de sus *Annales météorologiques*, en 1801 el *Système des animaux sans vertèbres, ou tableau général des classes, des ordres et des genres de ces animaux* (*Sistema de animales invertebrados, o tabla general de clases, órdenes y géneros de estos animales*), en donde estableció un orden de clasificación según los sistemas respiratorio, circulatorio y nervioso; incluido en este libro se encuentra el «Discours d'ouverture» con el que inauguró el curso de invertebrados que dictó en el Muséum d'Histoire Naturelle en 1800 y en el que presentó por primera vez su teoría de la evolución de los caracteres adquiridos, teoría que desarrolló de manera más completa en *Recherches sur l'organisation des corps vivants* (*Investigaciones sobre la organización de los cuerpos vivos*; 1802).



Retrato de Lamarck, viejo y ciego.

Para Lamarck los cambios producidos en las especies a lo largo del tiempo eran resultado de dos factores: el primero, una tendencia natural en el mundo orgánico hacia una complejidad cada vez mayor y, en segundo lugar, a la influencia del entorno. A este esquema general añadía dos hipótesis: (a) la generación espontánea como medio de dar lugar a las formas de vida más sencillas, y (b) como

el medio de producir especies más complejas, el desarrollo, mediante su empleo repetido, de nuevos órganos heredables. Esta segunda hipótesis —que son las circunstancias las que introducen cambios en los seres vivos, y que los nuevos caracteres adquiridos de esta manera se mantienen en la descendencia, convirtiéndose así en hereditarios— se hizo especialmente popular: «la función crea el órgano» —una frase esta que todavía forma parte de la cultura popular— o, recíprocamente, «la falta de uso produce su degeneración».

Un lugar en el que Lamarck defendió con especial concisión y claridad sus ideas fue en un libro que tituló *Philosophie zoologique* (*Filosofía zoológica*), publicado en 1809. En él encontramos las dos leyes siguientes:

(I) *En todo animal que no ha traspasado el término de sus desarrollos, el uso frecuente y sostenido de un órgano cualquiera lo fortifica poco a poco, dándole una potencia proporcionada a la duración de este uso, mientras que el desuso constante de tal órgano lo debilita y hasta lo hace desaparecer.* **Charles Darwin**, «**Noticia histórica del desarrollo de las ideas acerca del origen de las especies antes de la publicación de la primera edición de esta obra**» (*Sobre el origen de las especies*, 1859): Daré aquí una breve noticia del desarrollo de las ideas acerca del origen de las especies. Hasta hace poco tiempo, la gran mayoría de los naturalistas creía que las especies eran creaciones inmutables y que habían sido creadas separadamente. Esta opinión ha sido hábilmente sostenida por muchos autores. Unos pocos naturalistas, por el contrario, han creído que las especies sufren modificaciones y que las formas orgánicas existentes son deficientes, por verdadera generación, de formas preexistentes. Pasando por alto las alusiones a este asunto en los escritos clásicos [aquí, en una nota a pie de página, Darwin mencionaba a Aristóteles y a su libro *Physicae Auscultationes*], el primer autor que en los tiempos modernos lo ha tratado con espíritu científico fue Buffon; pero como sus opiniones fluctuaron mucho en diferentes períodos y no entra en las causas o modos de transformación de las especies, no necesito entrar aquí en detalles. Lamarck fue el primero cuyas conclusiones sobre este asunto despertaron mucho la atención. Este naturalista, justamente celebrado, publicó primero sus opiniones en 1801, y las amplió mucho en 1809, en su *Philosophie Zoologique*, y después, en 1815, en la Introducción a su *Histoire naturelle des animaux sans vertèbres*. En estas obras sostuvo la doctrina de que las especies, incluido el hombre, han descendido de otras especies. Fue el primero que prestó el eminente servicio de despertar la atención acerca de la probabilidad de que todos los cambios, tanto en el mundo orgánico como en el inorgánico, sean el resultado de una ley y no de una interposición milagrosa. Lamarck parece haber sido llevado poco a poco a su conclusión sobre el cambio gradual de las especies por la dificultad de distinguir entre especies y variedades, por la gradación casi

perfecta de formas en ciertos grupos y por la analogía con las producciones domésticas. Respecto a los medios de modificación, atribuyó algo a la acción directa de las condiciones físicas de la vida, algo al cruzamiento de las formas ya existentes y mucho al uso y desuso, esto es, a los efectos de la costumbre. A este último agente parece atribuir todas las hermosas adaptaciones existentes en la naturaleza, tales como el largo cuello de la jirafa para ramonear en las ramas de los árboles. Pero Lamarck creyó igualmente en una ley de desarrollo progresivo; y como todas las formas orgánicas tienden de este modo a progresar, para explicar la existencia en el día presente de seres sencillos sostuvo que estas formas se engendran en la actualidad espontáneamente.



El Museo de Historia Natural de París.

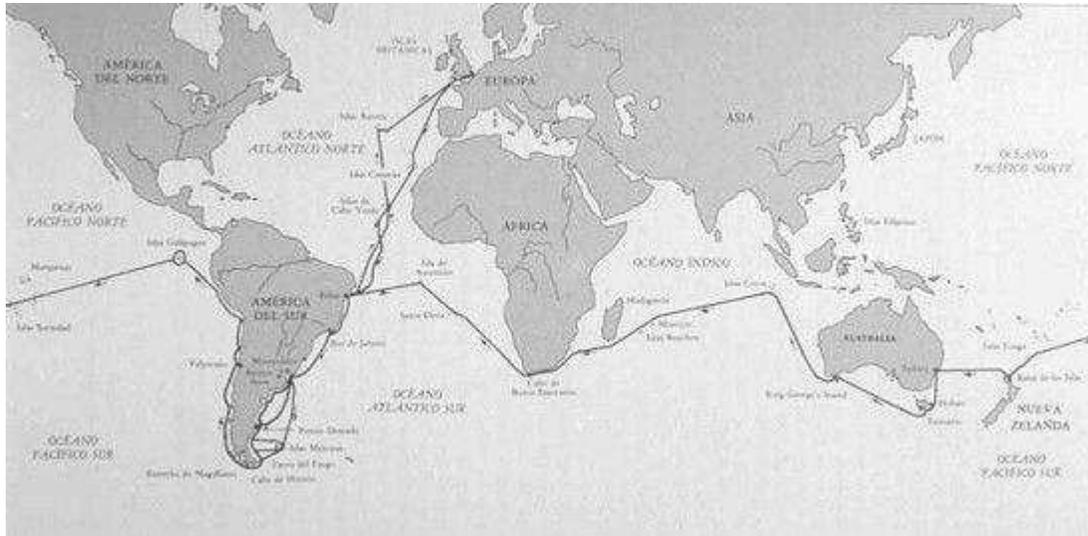
(II) Todo lo que la Naturaleza hizo adquirir o perder a los individuos por la influencia de las circunstancias en que su raza se ha encontrado colocada durante largo tiempo, y consecuentemente por la influencia del empleo predominante del tal órgano, o por la de su desuso, la Naturaleza lo conserva por la generación en los nuevos individuos, con tal de que los cambios adquiridos sean comunes a los dos sexos, o a los que han producido estos nuevos individuos. Leyes de las que extraía, como un simple corolario, la siguiente proposición:

No son los órganos, es decir, la naturaleza y la forma de las partes del cuerpo de un animal, los que han dado lugar a sus hábitos y a sus facultades particulares, sino que, por el contrario, sus hábitos, su manera de vivir y las circunstancias en las cuales se han encontrado los individuos de que proviene son los que con el tiempo han constituido la forma de su cuerpo, el número y estado de un órgano y las facultades, en suma, de que goza. Darwin, como vemos, no inventó la idea de trasmutación o de evolución; en este sentido, fue más heredero que inventor del concepto de que la vida evoluciona, una idea ésta que, de hecho, era consistente —si se prefiere, se vio favorecida, estimulada— con la cosmología evolutiva que tiene como uno de sus puntos principales de partida la hipótesis nebular de Laplace (1796) sobre el origen del sistema solar. Al igual que Lamarck, Darwin llegó a la conclusión de que las especies pueden variar, lo que no quiere decir, no obstante, que aceptase lo que el naturalista francés sostenía con respecto a los mecanismos de variabilidad: en lugar de la «función crea el órgano», él utilizó la idea de «selección natural». Lamarck se contentaba con explicar —es un ejemplo muy conocido— que los cuellos de las jirafas se hicieron más largos debido a que estos animales tenían que alcanzar las copas de los árboles para alimentarse, pero no podía decir nada, absolutamente nada, con relación a la pregunta de cómo, o por qué, se transmitían cambios como éstos a generaciones sucesivas. Aun sin poseer tampoco él una teoría de la herencia y sin que necesitase efectuar hipótesis alguna sobre el origen de su punto de vista, la teoría de Darwin, el mecanismo que introdujo (la supervivencia de los más aptos), era más satisfactoria, más poderosa: las jirafas que habían nacido (por razones que no podía determinar) con cuellos más largos eran capaces de sobrevivir mejor que las que no los tenían.

Explicaciones de Lamarck sobre la forma de las serpientes (*Philosophie zoologique*, capítulo VII: «De la influencia de las circunstancias sobre las acciones y los hábitos de los animales y la de las acciones y los hábitos de estos cuerpos vivientes como causas que modifican su organización y sus partes»): En los moluscos acéfalos, el gran desarrollo de la envoltura de estos moluscos ha hecho innecesarios sus ojos y hasta su cabeza. Aunque ambos órganos formaban parte del plan de organización de dichos animales, debieron desaparecer por falta de uso. En último, entraba en el plan de los reptiles, como en el de los otros animales vertebrados, la distribución de cuatro patas dependientes de su esqueleto. Por consecuencia, las serpientes debieron tenerlas; pero habiendo adquirido el hábito de arrastrarse sobre la tierra y de ocultarse entre las hierbas, su cuerpo, por efecto de los esfuerzos repetidos para alargarse, con el fin de pasar por espacios angostos, adquirió una longitud considerable y no proporcionada a su anchura. En consecuencia, en tal caso, las patas hubiesen sido inútiles para estos animales, tanto que habrían resultado incapaces para mover su cuerpo. Así, la falta constante de

estas partes las hizo desaparecer totalmente, aunque estriban en el plan de organización de los animales de su clase...Las serpientes que se arrastran por la superficie de la tierra tenían necesidad de ver principalmente los objetos elevados o que están por encima de ellos. Esta necesidad debió influir sobre la situación del órgano de la vista de estos animales y, en efecto, tienen los ojos colocados en las partes laterales y superiores de la cabeza para advertir fácilmente lo que está por encima de ellos o a sus lados, pero apenas ven lo que está delante y a corta distancia. No obstante, obligados a suplir este defecto de la vista para reconocer los cuerpos que se encuentran delante de su cabeza y que podrían herirlos al avanzar, se vieron precisados a palpar estos cuerpos con la ayuda de su lengua, que alargan extraordinariamente. Este hábito no sólo ha contribuido a hacer esta lengua delgada, muy larga y muy contráctil, sino que la obligó también a dividirse para palpar muchos objetos a la vez. Charles Darwin: infancia y educación

Charles Darwin (1809-1882) nació el 12 de febrero de 1809, el segundo hijo varón del médico Robert Darwin y Susannah, hija mayor de Josiah Wedgwood, el fundador de la célebre dinastía de ceramistas. Fue siempre un hombre de medios y precisamente por ello pudo realizar la obra que llevó a cabo. Su abuelo paterno, Erasmus Darwin (1731-1802), médico próspero, además de poeta, filósofo y botánico, fue también uno de los precursores de la teoría evolucionista, anterior incluso a Lamarck. Su libro *Zoonomia; or the Laws of Organic Life* (*Zoonomía; o las leyes de la vida orgánica*; 1794-1796), contiene, en efecto, párrafos como el siguiente: «¿Sería demasiado atrevido imaginar que todos los animales de sangre caliente han surgido a partir de un filamento vivo... con la capacidad de adquirir partes nuevas, dotadas con nuevas inclinaciones, dirigidas por irritaciones, sensaciones, voliciones y asociaciones?; y poseyendo así la facultad de continuar mejorando mediante su propia actividad inherente, y de transmitir esas mejoras a su posteridad, ¡un mundo sin fin!».



Ruta que siguió el *Beagle*.

En cuanto a la educación recibida por Charles, tenemos que en 1825 se matriculó en la Universidad de Edimburgo, con la intención de estudiar medicina. En 1827 abandonó esa idea, al igual que la universidad escocesa, trasladándose a la de Cambridge, con el propósito, no demasiado definido, de prepararse para entrar en la Iglesia de Inglaterra como sacerdote. En Cambridge, sin embargo, Darwin profundizó en los intereses, hasta entonces puramente *amateurs*, que había desarrollado en el campo de las ciencias naturales.

Como alumno, no fue demasiado brillante; él mismo escribió en su autobiografía: «Durante los tres años que pasé en Cambridge perdí el tiempo, en lo que a estudios académicos se refiere, tan completamente como en Edimburgo o en la escuela». Pero no debemos dejarnos llevar demasiado lejos con manifestaciones como la anterior. Así, en Cambridge entró en contacto con el sacerdote y geólogo Adam Sedgwick (1785-1873), *woodwardian professor* de Geología en la universidad, quien le enseñó los elementos básicos de geología. Sedgwick continuó siendo amigo de Darwin toda su vida, a pesar de las fuertes críticas que posteriormente haría a *Sobre el origen de las especies*.

Nada más finalizar sus estudios universitarios, encontró la oportunidad ideal de avanzar en esos intereses naturalistas: fue aceptado como acompañante del capitán —y con la posibilidad de aprovechar el viaje para recoger especímenes de

historia natural— en un barco de la marina británica que debía cartografiar ciertos tramos del litoral sudamericano, el *Beagle*, que zarpó del puerto de Portsmouth el 27 de diciembre de 1831, en un viaje que le llevó a las islas de Cabo Verde, Río de Janeiro, Montevideo, Bahía Blanca, Buenos Aires, Santa Fe, la Patagonia y la Tierra del Fuego, el estrecho de Magallanes, Valparaíso, Perú, el archipiélago de las Galápagos, Tahití y Nueva Zelanda, Australia, el cabo de Buena Esperanza, las islas de Ascensión, Canarias y Azores, antes de regresar a Inglaterra, cinco años después (octubre de 1836), siendo por entonces una persona muy distinta, humana y, sobre todo, intelectualmente.

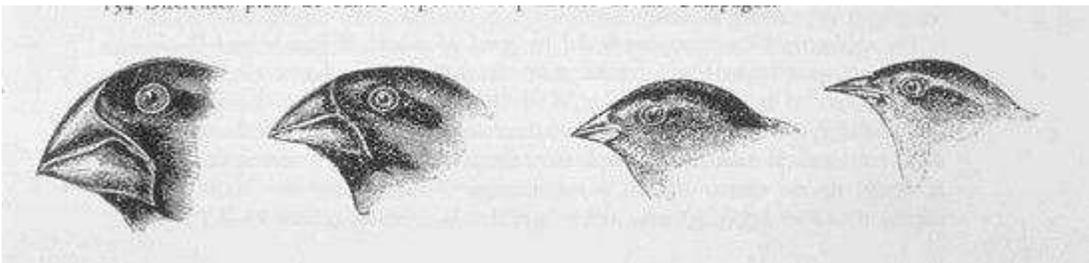
El viaje en el *Beagle*

El *Beagle* era un barco pequeño, una corbeta bergantín de 242 toneladas, con 74 personas a bordo. Su capitán era Robert FitzRoy (1805-1865), un personaje complejo, que además de marino fue, en mayor o menor grado, explorador, topógrafo, cartógrafo y meteorólogo, sin olvidar que llegó a ser gobernador de Nueva Zelanda.

La expedición en la que participó Darwin (que no recibió ningún tipo de salario, teniendo que costearse él mismo los gastos en que incurrió durante el viaje) no fue la primera ni para FitzRoy, ni para el *Beagle*. Entre 1826 y 1830 el *Beagle*, junto al navío *Adventure*, había estado recorriendo la costa de Sudamérica, bajo el mando del capitán Stokes, que se suicidó en 1828, el mismo final que en su momento eligió FitzRoy. Debido a este hecho, FitzRoy, hasta entonces en otro barco, fue puesto al mando del *Beagle*. Fue precisamente durante aquella expedición cuando FitzRoy, en febrero de 1830, tomó como rehenes a varios nativos de Tierra del Fuego como castigo por haber robado uno de los botes para cazar ballenas. De estos rehenes, FitzRoy llevó consigo cuatro a Inglaterra, con la idea de sacar a aquellos «salvajes» de la «creación bruta», enseñarles inglés y que participaran de los beneficios de la civilización británica. Estos fueguinos recibieron los singulares nombres de Jemmy Button, Fuegia Basket, Boat Memory y York Minister. En el viaje que comenzó en 1831, FitzRoy se llevó a estos indígenas, y en el *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H.M.S. Beagle from 1832 to 1836* (1839), traducido habitualmente al castellano bajo el título de *Viaje de un naturalista alrededor del mundo*, en el que Darwin narró sus principales experiencias durante la travesía, se refirió a ellos, incluyendo algunos dibujos realizados por el propio FitzRoy.

Aunque en sus descripciones de los fueguinos Darwin no hizo ninguna alusión al trato (en este caso paternalista, especialmente) que éstos recibían, en otros momentos de su viaje tuvo ocasión sobrada para encontrarse con dimensiones más dramáticas de la relación que colonos y visitantes europeos (o norteamericanos) mantenían con los indígenas: la esclavitud, que Darwin aborrecía, mientras que FitzRoy la defendía. De nuevo, en el *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* narró algunas de las experiencias a las que se enfrentó en este sentido.

Así, el 14 de abril de 1832, mientras estaba visitando una gran hacienda en las márgenes del río Macae, en Brasil, estuvo «a punto de presenciar uno de esos actos atroces que sólo pueden ocurrir en un país donde reina la esclavitud. A consecuencia de una querrela y de un proceso, el propietario estuvo a punto de separar a los esclavos varones de sus mujeres y de sus hijos para ir a venderlos en subasta pública en Río. El interés, y no un sentimiento compasivo, fue lo que impidió que se perpetrara este acto infame. Hasta creo que el propietario nunca pensó que pudiera ser una inhumanidad eso de separar así a treinta familias que vivían juntas desde hacía muchos años; y, sin embargo, afirmo que su humanidad y su bondad le hacían superior a muchos hombres. Pero, en mi opinión, puede añadirse que no tiene límites la ceguera producida por el interés y el egoísmo. Voy a referir una insignificante anécdota que me impresionó más que ninguno de los rasgos de crueldad que he oído contar. Atravesaba yo una balsa con un negro más que estúpido. Para conseguir hacerme comprender, hablaba alto y le hacía señas; al hacerlas, una de mis manos pasó junto a su cara. Creyóse, me figuro, que estaba encolerizado y que iba a pegarle, pues inmediatamente bajó las manos y entornó los ojos, echándome una mirada temerosa. Nunca olvidaré los sentimientos de sorpresa, disgusto y vergüenza que se apoderaron de mí al ver a ese hombre asustado con la idea de parar un golpe que creía dirigido contra su cara. Habíase conducido a ese hombre a una degradación más grande que la del más ínfimo de nuestros animales domésticos».



Picos de cuatro especies de pinzones de las Galápagos (del *Viaje de un naturalista alrededor del mundo*).

Charles Darwin tuvo por tanto motivos sobrados para, como mencioné antes, madurar como persona durante los años de su viaje en el *Beagle*.

En las Galápagos

Un momento central del viaje de Darwin tuvo lugar cuando llegó al archipiélago de las Galápagos, en el océano Pacífico, frente al norte de América del Sur. Pasó únicamente cinco semanas explorando sus islas, entre septiembre y octubre de 1835, pero la impresión que produjeron en él aquellas semanas fue duradera y la teoría de la evolución que posteriormente elaboró debe mucho a lo que vio allí.

En el *Viaje de un naturalista alrededor del mundo* encontramos pasajes que muestran que, efectivamente, en las Galápagos Darwin observó detalles que le serían de gran utilidad más adelante. Aparecen éstos en cuanto llegó, el 8 de octubre de 1835, a la isla James, en donde permaneció ocho días:

Muy curiosa es la historia natural de estas islas, y merece la mayor atención. La mayor parte de las producciones orgánicas son esencialmente indígenas y no se las encuentra en ninguna parte; hasta entre los habitantes de las diferentes islas aparece cierta diversidad. Todos los organismos tienen, sin embargo, cierto grado de parentesco más o menos marcado con los de América, aun cuando separan al archipiélago del continente 500 o 600 millas de océano... Viendo todas las colinas coronadas por sus cráteres, y perfectamente marcados todavía los límites de cada corriente de lava, hay motivo para creer que, en una época geológicamente reciente se extendía el océano donde se encuentran ellas hoy. Así pues, tanto en el tiempo como en el espacio nos encontramos frente a frente del gran fenómeno, del misterio de los misterios: la primera aparición de nuevos seres sobre la tierra...

El fenómeno más curioso es la perfecta graduación en el grueso de los picos, en las diferentes especies de *Geospiza*, que varía entre el tamaño del de un pico-gordo y el de un pinzón... El pico del *Cactornis* se parece algo al del estornino; el del cuarto subgrupo, *Camarhynchus*, adopta en cierto modo la forma del papagayo. Al considerar esta graduación y diversidad de conformaciones en un

grupito de pájaros tan próximos unos a otros, podría creerse que en virtud de una pobreza original de pájaros en el archipiélago, se había modificado una sola especie para llegar a fines diferentes.

Es preciso, no obstante, introducir algunos matices. Es cierto que Darwin encontró en las Galápagos indicios que apuntaban en la dirección de que se había producido una evolución diferencial entre algunas especies que habitaban en islas diferentes. Pero inicialmente tales evidencias no fueron tantas como a veces se dice. Instalado en Londres tras regresar de su viaje, Darwin pidió al ornitólogo John Gould (1804-1881) que clasificase algunas aves que había capturado en algunas islas. En enero de 1837, Gould le informó que un grupo de esas aves que Darwin pensaba pertenecían a especies diferentes *sin origen común*, eran en realidad todos pinzones, aunque de variedades (finalmente convertidas en especies) distintas, como atestiguaban sus picos. Semejante información fue muy importante para que Darwin pensase que era la separación entre islas, con medios naturales distintos, lo que había producido la variación de especies observada.

Fuese cual fuese la secuencia temporal de sus razonamientos, lo que es indudable es que lo que vio en las Galápagos constituyó un paso notable en el camino que le condujo a su teoría de la evolución. Una impresión esta que confirma el contenido de una carta que el 11 de enero de 1844 Darwin envió al botánico Joseph Dalton Hooker (1817-1911), y que contiene una de mis frases favoritas: «Me impresionó tanto la distribución de los organismos de las Galápagos... y... el carácter de los mamíferos fósiles de América... que decidí reunir a ciegas toda suerte de hechos que pudieran tener que ver de alguna forma con lo que son las especies. He leído montones de libros de agricultura y horticultura, y no he parado de recoger datos. Por fin han surgido destellos de luz, y estoy casi convencido (totalmente en contra de la opinión con la que empecé) de que las especies no son (es como confesar un crimen) inmutables. El cielo me libre del disparate de Lamarck de “una tendencia al progreso”, “adaptaciones debidas a la paulatina inclinación de los animales”, etc.».

«Es como confesar un crimen», escribía. Más de siglo y medio después, todavía podemos imaginarnos cuáles debieron ser sus sentimientos ante la idea, ante la evidencia, que se imponía a su cerebro. Una idea que iba en contra no sólo de la mayoría de las creencias científicas aceptadas hasta entonces, sino también, algo que seguramente era más doloroso para él, en contra de las «divinas». Más adelante volveré a esta cuestión, la de los conflictos emocionales que se debieron de producir en el espíritu de Darwin. Ahora tengo que abordar otro punto: el del papel que desempeñó en su obra la geología.

Charles Lyell

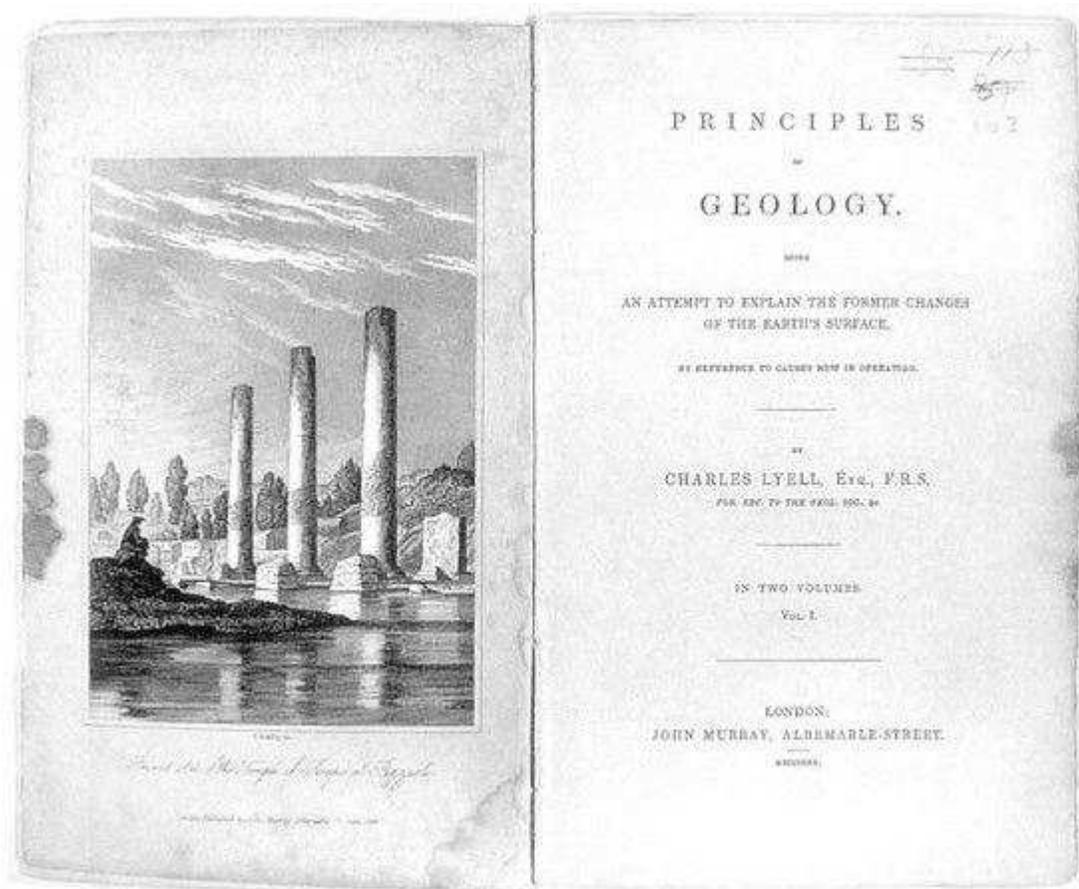
La teoría de la evolución darwiniana adquiere su significado principal en el dominio de la biología, de los seres vivos, pero para llegar a ella no es suficiente con los hechos que surgen de ese ámbito científico, es preciso también utilizar lo que revela la naturaleza geológica de la Tierra. También en este sentido, el viaje en el *Beagle* constituyó una experiencia única para Darwin. Y no sólo por lo que vio, sino porque fue entonces cuando se familiarizó con las ideas geológicas de Charles Lyell (1797-1875), la persona que, más que ningún otro, estableció la geología como una auténtica ciencia, como una disciplina en la que no tenían lugar las especulaciones, en la que el peso de las ideas recibidas no era una carga que agostaba el surgimiento de opiniones diferentes o enfoques críticos, lo que no quiere decir, desde luego, que Lyell fuese el fundador de la disciplina; en una lista superficial, antes que él realizaron

Definición de la geología según Lyell (*Principles of Geology*, inicio del capítulo I [1830]): La geología es la ciencia que investiga los sucesivos cambios que han tenido lugar en los reinos orgánico e inorgánico de la naturaleza; investiga las causas de estos cambios y la influencia que han ejercido en modificar la superficie y estructura externa de nuestro planeta. aportaciones significativas a la geología (ya me referí de pasada a las contribuciones de Gessner y Buffon): Nicolaus Steno (1638-1686), un danés que pasó la mayor parte de su vida en Italia y que en 1669 publicó un libro, *De solido intra solidium naturaliter*, basado en sus observaciones en la Toscana, que constituye una de las piezas fundacionales de la geología, paleontología y cristalografía (fue el primero en demostrar que la corteza de la Tierra está formada por estratos); James Hutton (1726-1797), el escocés que defendió —sobre todo en *Theory of the Earth* (*Teoría de la tierra*; 1788)— la denominada teoría «plutónica», según la cual la causa de los cambios observados en la Tierra (como la erosión, las erupciones volcánicas o los movimientos terrestres) se deben a su calor interno, teoría que se oponía a la «neptuniana», que sostenía que tales cambios tenían un origen acuoso, y que defendió, entre otros, el alemán Abraham Gottlob Werner (1750-1817), quien pensaba que hacía miles de años el agua cubrió la Tierra y las rocas se formaron a partir de la cristalización de sus minerales; igualmente notable contribuyente al avance de la geología fue el naturalista francés Georges Cuvier (1769-1832), uno de los fundadores de la paleontología de vertebrados, enemigo de cualquier idea de evolución, incluida la de que los cambios que se detectan en la superficie de la Tierra pudiesen ser debidos a una acción gradual de elementos geo-meteorológicos cotidianos: por el

contrario, él creía que las modificaciones en las formas de vida tanto del mundo orgánico como del inorgánico eran el resultado de sucesos catastróficos repentinos, justo lo contrario de lo que se esforzó en articular y defender Lyell.



Charles Lyell, fotografiado por Ernest Edwards (1863).



Principles of Geology, de Lyell (tomo I, 1830).

Charles Lyell nació en Kinnordy, Kirriemuir (Escocia) en 1797. Hombre de medios económicos, viajó extensamente desde su juventud, prestando especial atención a las características geológicas de los lugares que visitaba. Estudió derecho en Oxford a finales de la década de 1810, practicando esta profesión entre 1825 y 1827. En 1826 fue elegido miembro de la Royal Society y en 1831 catedrático de Geología en el King's College de Londres. Recibió prácticamente todos los honores que su patria podía ofrecer (sus restos reposan en la abadía de Westminster).

Lyell fue, en efecto, el principal responsable de que fuera aceptado el denominado «principio del uniformismo», que mantiene que las rocas y las formaciones geológicas terrestres son resultado de procesos ordinarios que ocurren paulatinamente, día a día, sumando a la postre largos períodos de tiempo. En 1830,

publicó el primer tomo de sus *Principles of Geology* (el tercero, y último, apareció en 1833), significativamente subtulado *An Attempt to Explain the Former Changes of the Earth's Surface* (*Un intento de explicar los cambios precedentes en la superficie de la Tierra*), en donde aplicaba ese principio a la explicación de muchas de las formaciones geológicas que había descubierto a lo largo de sus viajes por Europa y América. Da idea de la influencia que llegó a ejercer esta obra, uno de los clásicos indiscutibles de la literatura científica de todos los tiempos, el que Lyell viviese para ver la publicación de trece ediciones revisadas de su libro.

Ahora bien, las ideas de Lyell no fueron aceptadas por todos. Existían, además, serios argumentos en su contra; argumentos que provenían del estado de conocimientos en otras disciplinas, como la física,

Argumentos de William Thomson (Lord Kelvin, 1824-1907) en contra del principio del uniformismo: «The “doctrine of uniformity” in Geology briefly refuted» («La “doctrina de la uniformidad” en geología refutada brevemente»), *Proceedings of the Royal Edinburgh Society* (1865):La «doctrina de la uniformidad» en geología, según es sostenida por muchos de los más eminentes geólogos británicos, supone que la superficie de la Tierra y su corteza superior han sido, aproximadamente, como son en la actualidad, en temperatura y otras propiedades físicas, durante millones de millones de años. Pero el calor que sabemos, por observación, emite ahora la Tierra es tan grande que si *esta* acción hubiese operado con algún grado de uniformidad durante 20.000 años, la cantidad de calor perdida por la Tierra habría sido casi tanta como la que calentaría, a 100° centígrados, una cantidad de roca de superficie ordinaria del tamaño de 100 veces la masa de la Tierra. Esto sería más que suficiente para fundir una masa de roca de superficie igual en magnitud a *toda la Tierra*. Ninguna hipótesis relativa a acción química, fluidez interna, efectos de la presión a gran profundidad o carácter posible de las sustancias del interior de la Tierra, que posea el menor vestigio de probabilidad, puede justificar la suposición de que la corteza superior de la Tierra ha permanecido aproximadamente como es en la actualidad, mientras que a través de toda o de parte de la Tierra se ha perdido una cantidad de calor tan grande.

una ciencia más avanzada entonces que la geología. De hecho, en algunos aspectos la situación que se produjo entonces recuerda a la que surgió cuando Copérnico propuso el sistema heliocéntrico, sin saber cómo contestar a las objeciones que se le planteaban acerca de por qué no se detectaba el movimiento de la Tierra. Entonces hubo que esperar, como ya hemos visto, a que se desarrollase la mecánica newtoniana para responder a semejantes preguntas, mientras que en el caso de la geología de Lyell hubo que aguardar al descubrimiento de la radiactividad y de la física cuántica.

Volviendo ya a Darwin, tenemos que el reverendo John Stevens Henslow (1796-1861), catedrático de Mineralogía y de Botánica en Cambridge, y uno de los profesores de Darwin allí, además de su amigo mientras vivió, recomendó a éste que llevara consigo en el viaje del *Beagle* el primer tomo de los *Principios* lyellianos. Como confesó en su «Autobiografía», lo leyó «atentamente, y me resultó de gran ayuda en muchos aspectos. El primer lugar que examiné, Santiago, en el archipiélago de Cabo Verde, me demostró claramente la maravillosa superioridad del método que Lyell aplicaba a la geología, en comparación con el de los autores de cualquiera de las obras que yo llevaba conmigo o que haya leído después». Antes, en una carta que dirigió el 29 de agosto de 1844 al geólogo aficionado (y suegro de Lyell), Leonhard Horner (1785-1864), Darwin había manifestado: «Siempre tengo la sensación de que mis libros salen a medias del cerebro de Lyell».

Naturalmente, sus trabajos geológicos de campo llevaron a Darwin a los fósiles. Y sabemos que el estudio de los fósiles constituye una pieza fundamental para cualquier historia natural, y para cualquier teoría de la evolución. También, por cierto, se interesó por los corales. «Durante el último medio año —escribía el 29 de abril de 1836 desde Puerto Lewis en Mauricio a su hermana Caroline—, el tema de la formación del coral ha sido una cuestión de particular interés para mí. Espero ser capaz de expresar algunos de los hechos desde un punto de vista más sencillo y coherente que aquel desde el cual se ha considerado hasta ahora. Siempre me ha parecido monstruosa la idea de que una isla lagunar, de 30 millas de diámetro, se basara en un cráter submarino de iguales dimensiones.» De hecho, en 1842, publicaría un libro, *Coral Reefs (Arrecifes de coral)*, en el que sostenía que estas formaciones se debieron al crecimiento ascendente del coral durante la subsidencia gradual del lecho marino adyacente a las islas volcánicas. Fue, como vemos, más que el autor de *El origen de las especies*.

Regreso a Inglaterra, matrimonio e ideas religiosas

Tras su viaje en el *Beagle*, el prestigio de Darwin aumentó con rapidez, incluso antes de que comenzasen a ser publicados los libros en que se daba cuenta de los resultados de la expedición, libros como los tres volúmenes de *Narrative of the Surveying Voyages of His Majesty's Ships Adventure and Beagle between the Years 1826 and 1836 (Descripción de los viajes de reconocimiento de los barcos de Su Majestad Adventure y Beagle entre 1826-1836)*, de los cuales el tercero fue escrito por el propio Darwin (fue reimpresso como obra aparte con el título, ya citado, de *Journal of Researches into the Natural History of Geology of the Countries Visited by H.M.S. Beagle*

from 1832 to 1836), y no apareció hasta 1839, la Zoology of the Voyage of the H.M.S. Beagle (1838-1843), dirigida por Darwin, o los tres tomos de Geology of the Voyage of the Beagle (1842-1846).



Charles Darwin en 1840 (acuarela de George Richmond).



Emma Darwin a la edad de 32 años (retrato de George Richmond).

Un acontecimiento importante en su vida fue su matrimonio. Un científico es también un ser humano, y en este sentido parecería una trivialidad señalar que semejante acontecimiento fue para él un momento importante. Siempre lo es... o lo debería ser. Pero en el caso de Darwin lo fue especialmente, ya que por motivos de salud pasaría la mayor parte de su vida en su finca familiar, rodeado de su esposa e hijos.

Fue en enero de 1839 cuando Charles se casó con Emma Wedgwood (1808-1896), una de sus primas carnales. Emma aportó al matrimonio no sólo una fortuna considerable, sino —todos los datos apuntan en la misma dirección— una relación armónica y gratificante.

Hay un aspecto que conviene reseñar y que tiene que ver con la cuestión de los conflictos emocionales que se debieron de producir en la mente de Darwin a causa del encuentro, ni fácil ni, a la postre, armonioso, entre sus convicciones científicas y las creencias religiosas imperantes en su tiempo y entorno, en las que él

mismo había sido educado, y de las que participó durante una parte de su existencia. Emma Darwin fue a lo largo de toda su vida una mujer profundamente religiosa y contempló con preocupación algunos de los desarrollos intelectuales de su esposo en este dominio. De hecho, fue ella la responsable de las omisiones introducidas en la edición que su hijo Francis Darwin (1848-1925) hizo de la «Autobiografía» de su padre, titulada *Recollections of the Development of my Mind and Character* (*Memorias del desarrollo de mi pensamiento y mi carácter*), omisiones que tienen que ver, precisamente, con las ideas religiosas a las que llegó Charles, y que no serían identificadas y restauradas hasta 1958, cuando una nieta suya, Nora Barlow, preparó una edición completa.

Muy poco después de su boda, en febrero de 1839, Emma escribió a Charles una carta en la que le comunicaba algunas de sus preocupaciones al respecto:

El estado de pensamiento que deseo conservar con respecto a ti es sentir que mientras estás actuando conscientemente y deseando sinceramente, y tratando de conocer la verdad, no puedes estar equivocado; pero existen algunas razones que se me imponen y que me impiden que te pueda ofrecer siempre este apoyo. Me atrevo a decir que tú mismo a menudo has pensado en ellas antes, pero escribiré lo que ha estado en mi cabeza, sabiendo que mi propio amado me perdonará. Tu mente y tiempo están llenos de interesantes temas y pensamientos de la clase más absorbente, esto es, los que se siguen de tus propios descubrimientos, pero que hacen que te sea muy difícil evitar considerar como interrupciones otros tipos de pensamientos que no tienen relación con lo que estás buscando, o que seas capaz de prestar toda tu atención a los dos lados de la cuestión. Existe otra razón que produciría un gran efecto en una mujer, pero no sé si tanto en un hombre —pienso en Erasmus [hermano de Charles], de cuyo entendimiento tienes tan alta opinión y al que tanto afecto profesas, que ha pasado por esto antes que tú—... También me parece que la dirección de tus investigaciones puede haberte conducido a considerar las dificultades principalmente desde un lado, y que no has tenido tiempo de considerar y de estudiar la cadena de dificultades desde el otro, pero creo que no consideras tus opiniones como formadas. Espero que la costumbre de las investigaciones científicas de no creer nada hasta que no está probado, no influya tu mente demasiado en otras cosas que no se pueden probar de la misma manera, y que si son verdaderas es probable que estén por encima de nuestra comprensión.



Charles Darwin y su hijo mayor, William, según un daguerrotipo fechado el 23 de agosto de 1842.

Darwin recordaría toda su vida esta misiva. Tras su muerte, fue encontrada, muy manoseada y con este comentario escrito: «Muchas veces la he besado y llorado sobre ella».



La casa de Darwin en Down, en 1872.

Una gran cantidad de documentos que se han conservado muestran con claridad que el gran naturalista inglés tuvo que luchar duramente, consciente e inconscientemente, con sus ideas religiosas mientras daba forma a sus ideas evolucionistas y escribía *El origen de las especies*. Como no deseaba alarmar —y enfrentarse— a la conservadora sociedad victoriana, puso mucho cuidado en minimizar los aspectos materialistas de su teoría al presentarla públicamente, intentando dar la impresión de que la evolución natural opera a la larga en beneficio de los seres vivos. Incluso parece que llegó a manejar la idea de presentar la selección natural como manifestación de un poder cuasidivino supervisor que podía seleccionar las variantes útiles, tal como un criador de animales lo hace con especies domésticas. De hecho, algunos biógrafos de Darwin sostienen que en las dudas religiosas producidas por sus investigaciones científicas se encuentra el origen de las tensiones emocionales que pudieron exacerbar su predisposición a trastornos estomacales y palpitaciones cardíacas, trastornos que le impedían trabajar durante largos períodos, y que contribuyeron a hacer de él casi un recluso

en la casa georgiana de Down, un pueblecito situado a 25 km de Londres, en donde Charles y Emma Darwin vivieron desde 1842. (Otros, sin embargo, piensan que acaso contra la enfermedad de Chagas durante sus viajes por Sudamérica.)

En realidad, Darwin fue modificando sus creencias religiosas poco a poco, paulatinamente, aunque terminó rompiendo definitivamente con el pasado, con su formación y tradición religiosa. Dos pasajes extraídos de su autobiografía, de la sección titulada «Creencia religiosa», que, como señalé, su hijo Francis eliminó al publicarla, muestran la radicalidad de las ideas a las que llegó. Recordando épocas en las que al contemplar, por ejemplo, la grandeza de la selva brasileña llegaba al «firme convencimiento de la existencia de Dios y de la inmortalidad del alma», el autor de *El origen de las especies* escribía, ya próxima, de hecho, su muerte: «No concibo que esas convicciones y sentimientos íntimos tengan valor alguno como evidencia de lo que realmente existe. El estado mental que las escenas grandiosas despertaban en mí años atrás, y que estaba íntimamente relacionado con la creencia en Dios, no difería en su esencia de lo que a menudo denominamos sentido de lo sublime; y por difícil que sea explicar el origen de este sentido, mal puede ofrecerse como un argumento a favor de la existencia de Dios; pues no lo es más que los poderosos, aunque indefinidos, sentimientos similares evocados por la música».



Estudio de Darwin en Down.

Refiriéndose a continuación al argumento de la extrema dificultad, o casi imposibilidad, de concebir el universo como resultado de la casualidad o necesidad ciegas, Darwin ofrecía una posible explicación que no se apartaba del razonar científico, y que preludiva la esencia de los argumentos de la sociobiología de la segunda mitad del siglo XX: «Al reflexionar sobre ello me siento compelido a considerar una Causa Primera con una mente racional análoga en cierto grado a la del hombre; y merezco ser llamado teísta. Pero entonces surge la duda, ¿se puede confiar en la mente del hombre —que, estoy convencido, se desarrolló a partir de una mentalidad tan primitiva como la que poseía el más primitivo de los animales— cuando infiere conclusiones tan sublimes? ¿No pudieran ser éstas el resultado de la relación entre causa y efecto, que aunque nos parece necesaria probablemente depende sólo de la experiencia heredada? Tampoco podemos pasar por alto la probabilidad de que la inculcación constante de la creencia en Dios en la mente de los niños produzca un efecto tan pronunciado, y quizás heredado, en sus cerebros no totalmente desarrollados, que les resulte difícil liberarse de su creencia en Dios, como a un mono liberarse de su miedo y aversión a una serpiente».

Pero retornemos al proceso del desarrollo de sus ideas científicas.

La idea de la Selección Natural

Las experiencias que extrajo en el viaje en el *Beagle*, lo que aprendió en libros como el de Lyell, al igual que sus observaciones sobre la evolución producida por la selección artificial de animales domésticos, fueron sin duda importantes para la formación de su teoría evolutiva, pero todavía eran necesarios otros elementos. Uno de ellos, el principal, el mecanismo que impulsaba la evolución, lo encontró en las ideas del economista Thomas Robert Malthus (1766-1834).

Recurriendo de nuevo a su «Autobiografía», encontramos en ella los siguientes pasajes: «En octubre de 1838, esto es, quince meses después de haber empezado mi estudio sistemático, se me ocurrió leer por entretenimiento el ensayo de Malthus sobre la población y, como estaba bien preparado para apreciar la lucha por la existencia que por doquier se deduce de una observación larga y constante de los hábitos de animales y plantas, descubrí enseguida que bajo estas condiciones las variaciones favorables tenderían a preservarse, y las desfavorables a ser destruidas. El resultado sería la formación de especies nuevas».

De manera algo más detallada, la historia es como sigue. A mediados de marzo de 1837, aparentemente como resultado de las conclusiones a que llegó con respecto al significado de las ya citadas identificaciones de John Gould, y también a las del conservador del Museo Hunteriano del Royal College of Surgeons de Londres y *Hunterian professor* en esta institución, Richard Owen (1804-1892), relativas, respectivamente, a los especímenes de los pájaros y mamíferos fósiles que había traído de la expedición con el *Beagle*, Darwin llegó a la convicción de que la especie eran mutables. Se puso entonces a reunir datos y a tomar notas en todas las direcciones que pensó le podían conducir a explicar por qué las especies llegaron a ser lo que son. Entre abril de 1837 y septiembre de 1838, llenó varios cuadernos de notas con observaciones e ideas sobre un amplio rango de temas. Entonces, en septiembre de 1838, el *An Essay on the Principle of Population (Un ensayo sobre el principio de población; 1826)*, de Malthus, le proporcionó un mecanismo causal clave para explicar los cambios en las especies.

En el mismo *The Origin of Species* (capítulo III, sexta edición) se encuentran pasajes que muestran la deuda de Darwin con Malthus:

De la rápida progresión en que tienden a aumentar todos los seres orgánicos resulta inevitablemente una lucha por la existencia. Todo ser que durante el curso natural de su vida produce varios huevos o semillas tiene que sufrir destrucción durante algún período de su vida, o, durante alguna estación, o de vez en cuando en algún año, pues de otro modo, según el principio de la progresión geométrica, su número sería pronto tan extraordinariamente grande que ningún país podría mantener el producto. De aquí que, como se producen más individuos que los que pueden sobrevivir, tiene que haber en cada caso una lucha por la existencia, ya de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas, ya con las condiciones físicas de vida. Esta es la doctrina de Malthus, aplicada con doble motivo al conjunto de los reinos animal y vegetal, pues en este caso no puede haber ningún aumento artificial de alimentos, ni ninguna limitación prudente por el matrimonio. Con la base teórica que le proporcionó Malthus, Darwin continuó tomando notas y explorando nuevas avenidas de pensamiento. En el verano de 1842 pensaba que sus investigaciones habían llegado a un punto tal que estaba preparado para escribir un esbozo (cosa que hizo) de su teoría de las especies, basada en un principio al que denominó «selección natural». Dos años más tarde, esto es, en 1844, preparó una versión más larga y detallada. Sin embargo, todavía pasarían quince años hasta que fuese publicado *El origen de las especies*, aunque el ensayo de 1844 — que pidió a su esposa se encargase de publicar si moría antes de escribir la gran obra que planeaba — se puede considerar como una primera versión de su gran libro de 1859.

La razón por la que pasaron tantos años hasta la escritura y publicación de *El origen de las especies* es que el exigente espíritu de Darwin no se conformaba con algunos indicios, por muy claros que éstos pareciesen. Deseaba estar seguro, y así se convirtió en un infatigable, casi obseso, buscador de hechos, de detalles, que completasen el gran rompecabezas que quería componer: nada más y nada menos que la historia natural de la vida en la Tierra. En este punto reside precisamente su singularidad: como hemos visto, algunos antes que él pensaron en la existencia de procesos evolutivos, pero únicamente propusieron —el caso de Lamarck— mecanismos imposibles, sin prácticamente datos que los sustentaran sistemáticamente, mientras que Darwin disponía de una idea plausible y de una enorme cantidad de datos que la sustentaba. En este sentido, durante la década de 1850 llevó a cabo estudios y experimentos de todo tipo: sobre, por ejemplo, hibridación, paleontología, variación y cría de palomas y otros animales domésticos, modos de transporte natural que pudiesen explicar la distribución geográfica de los organismos después del origen evolutivo de cada forma en una sola región, un problema que a su vez le condujo a diseñar experimentos del tipo de cuánto tiempo podrían flotar las semillas en agua salada y después germinar; si las semillas y los huevos pequeños podrían ser transportados en el barro incrustado en las patas de los pájaros o qué semillas podrían atravesar el sistema digestivo de un ave y sobrevivir. Su correspondencia da fe de lo intenso y diverso de sus intereses y pesquisas: «[haz] el favor, si tienes la oportunidad cuando estés en Derbyshire, de preguntar por mí a alguna persona de las que me hablaste si la descendencia del pato almizclado macho y el pato común hembra se parece a la descendencia del pato almizclado hembra y el macho común», preguntaba el 25 de enero de 1841 a un primo segundo suyo, William Darwin Fox (1805-1880). «Si su amigo reside cerca de las partes donde el chetah se utiliza para cazar —escribía el 11-12 de julio de 1845 a Joseph Dalton Hooker, director adjunto de los Reales Jardines Botánicos de Kew, especialista en taxonomía y geografía de plantas y amigo íntimo suyo—, estoy *especialmente* interesado en saber si *alguna vez* los han criado en domesticación; o si nunca o rara vez, y si copulan, y de cuál se piensa es el fallo, del macho o de la hembra. También, si reside en los distritos donde se cultiva el gusano de seda, cualquier información relativa a si varían en algo las polillas, las orugas o los capullos, si los habitantes ponen especial cuidado en seleccionar buenos individuos para criar, si hay alguna creencia tradicional sobre el origen de cualquier cría, es decir, si en diferentes distritos se encuentran diferentes formas de cría de la misma especie. O cualquier información de este tipo. Esto sería incalculablemente valioso para mí.» Y, de nuevo a Fox, el 7 de mayo de 1855 (es mi último ejemplo): «Odiarás la simple visión de mi letra; pero después de esta vez te prometo que no te pediré nada más, al menos durante mucho tiempo. Dado que vives en un suelo arenoso, ¿tenéis ahí lagartos completamente comunes? Si los tenéis, ¿crees que sería

demasiado ridículo ofrecer una recompensa por huevos de lagarto a los niños de tu escuela?... Si te llevaran por equivocación huevos de serpiente estaría muy bien, porque también los necesito: y no tenemos ni lagartos ni serpientes por aquí». Y a continuación explicaba a su primo el porqué de tales peticiones: «Mi objetivo es ver si esos huevos flotarán en el agua de mar, y si se mantendrán vivos flotando durante un mes o dos en mi sótano. Estoy realizando experimentos sobre el transporte de todos los seres orgánicos que puedo; y los lagartos se encuentran en todas las islas y, por consiguiente, tengo muchas ganas de ver si sus huevos soportarán el agua de mar».

Alfred Russel Wallace

Inmerso en sus investigaciones, esforzándose por sustanciar de la forma más completa posible la idea de la selección natural, Darwin sufrió uno de los mayores contratiempos que pueden aquejar a un científico que persigue un gran descubrimiento, que se da cuenta que tiene prácticamente en sus manos: constatar que otro investigador se le adelanta. En el caso de Darwin ese «otro investigador», que llegó a la misma conclusión, y la puso en circulación (restringida) antes de que Darwin pensase en publicar sus pensamientos, se llamaba Alfred Russel Wallace (1823-1913).

Natural de Usk, una pequeña localidad inglesa próxima a la frontera con Gales, y de origen humilde, el primer trabajo de Alfred Wallace consistió en ayudar a su hermano John en trabajos de agrimensura para un ferrocarril. Antes de cumplir 30 años trabajó como maestro de escuela en Leicester. Por entonces ya mostraba su interés por la historia natural: leyendo, por ejemplo, la descripción del viaje del *Beagle*. La fama de Wallace, explorador y zoólogo, no se debe únicamente a su aportación a la teoría de la evolución, sino también a sus descubrimientos de nuevas especies tropicales y a haber sido el primer europeo que estudió simios en condiciones de libertad, a ser un precursor en etnografía y zoogeografía (distribución de los animales), y autor de excelentes libros de viajes e historia natural, como *A Narrative of Travels on the Amazonas and Río Negro* (*Narración de viajes por el Amazonas y el río Negro*; 1853) y *The Malay Archipelago* (*El archipiélago malayo*; 1869). Entre sus descubrimientos se encuentra la denominada «línea de Wallace», una frontera natural que atraviesa Malasia (y que, como sabemos en la actualidad, coincide con la unión de dos placas tectónicas), que separa los animales derivados de Asia de los que evolucionaron en Australia.

Como recolector tampoco tuvo nada que envidiar al Darwin que recogió y envió a la metrópoli miles de especímenes. En el «Prólogo» de *The Malay Archipelago* señalaba:

Como el propósito principal de todos mis viajes consistía en obtener especímenes de historia natural, tanto para mi colección particular como para suministrar duplicados a los museos y aficionados, paso a especificar el número de especímenes que recogí y que llegaron a casa en buen estado. Pero debo indicar antes que solía contratar a uno, dos y en ocasiones tres criados malayos para que me ayudasen... Permanecí ocho años ausente de Inglaterra, pero como recorrí unas catorce mil millas dentro del Archipiélago y realicé sesenta o setenta viajes distintos, cada uno de los cuales entrañaba cierta pérdida de tiempo debido a los distintos preparativos, no creo que dedicara más de seis a coleccionar.

Según mis números, mis colecciones orientales ascienden a:

310 especímenes de mamíferos

100 especímenes de reptiles

8.050 especímenes de aves

7.500 especímenes de crustáceos

13.100 especímenes de lepidópteros

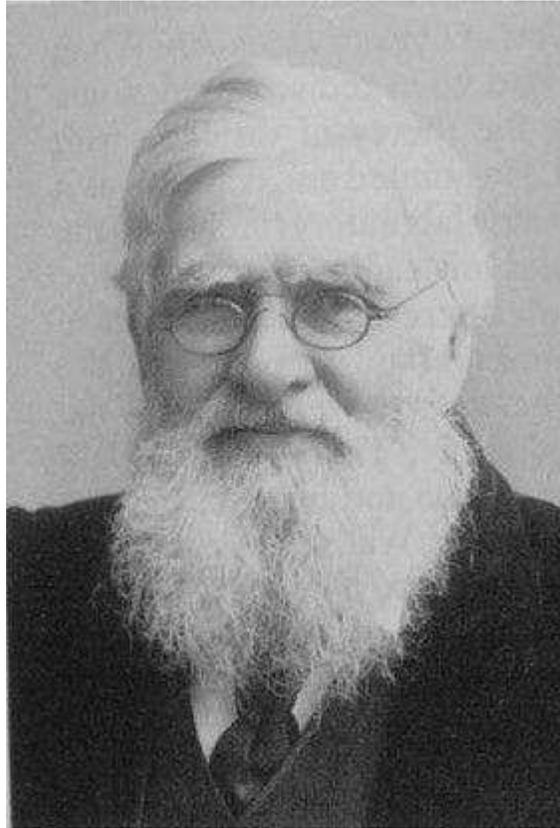
83.200 especímenes de coleópteros

13.400 especímenes de otros insectos

125.660 especímenes de historia natural

Ya en 1855, Wallace publicó un primer artículo teórico («On the law which has regulated the introduction of new species» [«Sobre la ley que ha regulado la introducción de nuevas especies»]), en el que argumentaba que una especie nueva siempre empieza a existir en un área ya ocupada por especies emparentadas, una idea con claras implicaciones evolucionistas, aunque su autor no ofrecía ninguna explicación de cómo se forman las nuevas especies. Darwin leyó este artículo, pero no parece que pensase que Wallace tuviera algo que ofrecer sobre el problema de

un mecanismo evolutivo.

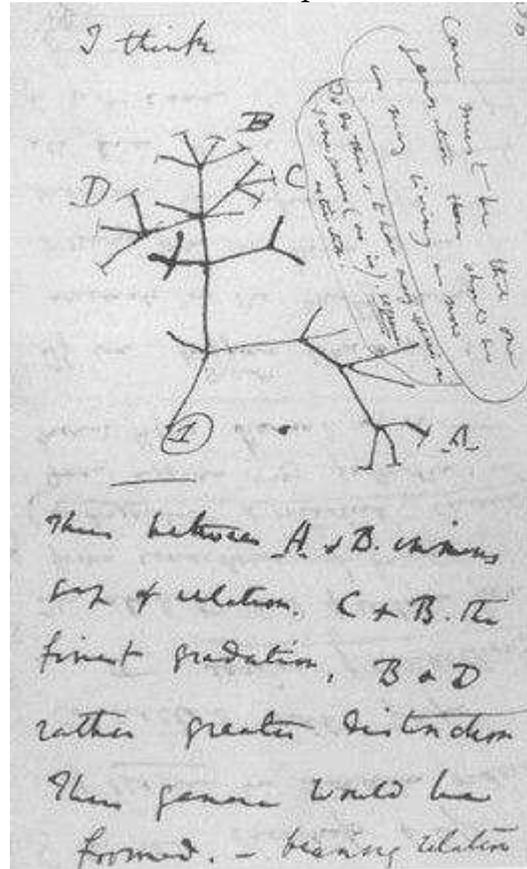


Alfred Russel Wallace en su vejez.

Sin embargo, en febrero de 1858, mientras soportaba un ataque de fiebre en la pequeña isla volcánica de Ternate, al norte de las Molucas, Wallace llegó a la misma idea esencialmente de la selección natural que por lo común se adjudica en exclusiva a Darwin. Y, es curioso (o significativo), utilizando algunos de los mismos elementos a los que recurrió Darwin. He aquí cómo describió más tarde Wallace la génesis de su idea (*My Life [Mi vida]*; 1905):

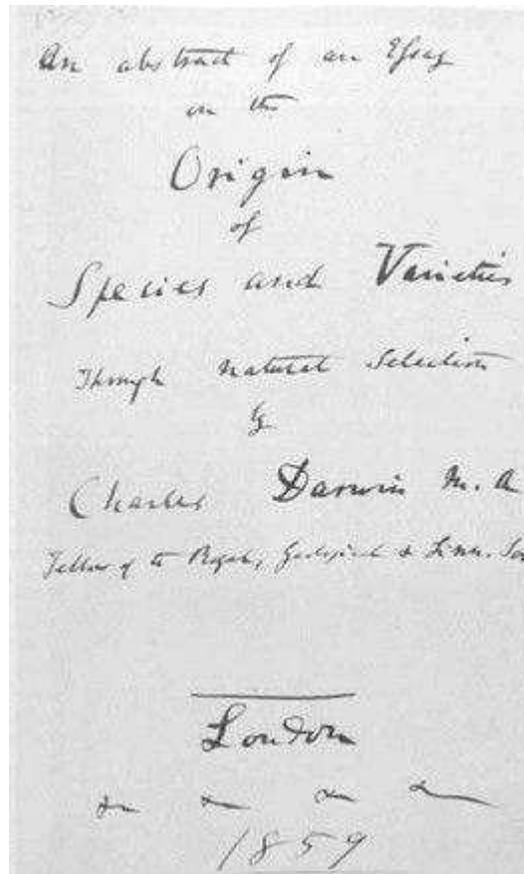
En el curso de uno de estos accesos, mientras pensaba en cómo podían originarse nuevas especies, mis pensamientos se dirigieron de alguna manera hacia las «trabas reales» que se imponían al crecimiento de los salvajes y otros grupos, descritos en el famoso *Essay on Population* de Malthus... que había leído unos doce años antes. Estas trabas —enfermedades, hambrunas, accidentes, guerras, etc.— son lo que

mantiene la población en cifras bajas... [Entonces], de pronto, brilló en mí la idea de la supervivencia de los más aptos... según la cual, en cada generación, los inferiores serían inevitablemente eliminados y los superiores se mantendrían... y, considerando el cúmulo de variación individual cuya existencia me había mostrado mi experiencia como recolector... me convencí de que, al fin, había dado con la ley natural tan largamente buscada que resolvía el problema del origen de las especies... En las dos tardes siguientes la puse cuidadosamente por escrito a fin de



enviarla a Darwin en el siguiente correo.

Página de uno de los cuadernos de notas (iniciado en junio o julio de 1837) de Darwin en la que aparecen sus primeras ideas sobre la evolución.



Título provisional de *Sobre el origen de las especies*, en una carta de Darwin a Lyell del 28 de marzo de 1859.

Se trataba del artículo «On the tendency of varieties to depart indefinitely from the original type» («Sobre la tendencia de las variedades a alejarse indefinidamente del tipo original»).

Cuando Darwin recibió el manuscrito de Wallace (debió de ser por los alrededores del 18 de junio de 1858; el manuscrito y la carta que lo acompañaba se han perdido), consultó inmediatamente con Lyell y con Hooker. De hecho, Lyell ya le había urgido antes a que diese a conocer públicamente su teoría, requerimiento al que Darwin contestaba el 3 de mayo de 1856: «Con respecto a su sugerencia de un esbozo de mi punto de vista, no sé qué pensar, pero reflexionaré sobre ello; sin embargo, va en contra de mis principios. Realizar un boceto adecuado sería absolutamente imposible, dada la gran colección de hechos que exige cada

proposición. Si hiciera algo, sólo podría referirse al principal agente del cambio, la selección, y quizá señalar unos pocos rasgos directivos que sancionan dicho punto de vista, y unas pocas de las dificultades principales. Pero no sé qué pensar: antes bien, odio la idea de escribir por conseguir la prioridad, sin embargo, por supuesto, me irritaría que alguien publicara mis doctrinas antes que yo». Integridad y respeto por la ciencia, se llama semejante actitud.

Pero en 1858, ante la situación que se había creado y respondiendo a la petición de ayuda por parte de Darwin, Lyell y Hooker arreglaron todo para que el artículo de Wallace se publicara (en el *Journal of the Proceedings of the Linnean Society*, vol. III, n.º 9, pp. 45-62) junto con algunos materiales suministrados por Darwin. Firmado por ambos (en orden alfabético) y bajo el título conjunto de «On the tendency of species to form varieties; and on the perpetuation of varieties and species by natural means of selection» («Sobre la tendencia de las especies a formar variedades; y sobre la perpetuación de las variedades y especies por selección natural»), el comunicado fue leído ante la Sociedad Linneana el 1 de julio de 1858 (ni Darwin ni Wallace estuvieron presentes). Precediendo a los escritos de los dos naturalistas (el de Darwin constaba de un breve extracto de uno de sus manuscritos y de un resumen de una carta que había escrito en octubre de 1857 al botánico estadounidense y catedrático de Historia Natural en la Universidad de Harvard, Asa Gray [1810-1888], a quien conoció personalmente en la década de 1850, durante una visita de éste a Kew, y que se convirtió en el principal defensor de su teoría en Norteamérica), se incluía la siguiente nota de Lyell y Hooker:

Mi querido señor:

Los artículos adjuntos, que tenemos el honor de comunicar a la Sociedad Linneana, y que se refieren al mismo tema, a saber, las Leyes que afectan a la Producción de Variedades, Razas y Especies, contienen los resultados de las investigaciones de dos infatigables naturalistas, Mr. Charles Darwin y Mr. Alfred Wallace.

Habiendo estos señores, independientemente y sin saber el uno del otro, concebido la misma muy ingeniosa teoría para explicar la aparición y perpetuación de variedades y de formas específicas en nuestro planeta, pueden ambos razonablemente reclamar el mérito de ser pensadores originales en esta importante línea de investigación; pero ninguno de ellos ha publicado sus puntos de vista, aunque durante muchos años Mr. Darwin ha sido repetidamente urgido por nosotros a que lo hiciera, y habiendo ambos autores puesto sin ninguna reserva sus artículos en nuestras manos, pensamos que impulsaría de la mejor manera los

intereses de la ciencia el que una selección de ellos se presentase ante la Sociedad Linneana.

A pesar de que no habría sido difícil que surgiesen recelos, especialmente por parte de Wallace, el carácter de éste no provocó semejante resultado. De hecho, Wallace llevó su modestia hasta el extremo de titular un libro que años después, en 1889, publicó sobre la evolución: *Darwinism: An Exposition of the Theory of Natural Selection with Some of its Applications* (*Darwinismo: Una exposición de la teoría de la selección natural con algunas de sus aplicaciones*). Y Darwin reconoció estos hechos, como prueba la carta que dirigió a Wallace el 6 de abril de 1859, cuando estaba a punto de publicar *El origen de las especies*:

Mi querido Wallace: ...

La primera parte de mi manuscrito está en las manos de Murray [el editor] para ver si quiere publicarlo. No hay prefacio, únicamente una breve Introducción, que debe leer todo aquel que lea mi libro. He copiado, *verbatim*... el segundo párrafo de la Introducción y verá, espero, que he dado una información razonable de su artículo en Linn. Transacts. Debe recordar que ahora estoy publicando solamente un resumen y no doy referencias. Por supuesto, aludiré a su artículo sobre Distribución; y he añadido que sé a través de correspondencia que la explicación que da de su ley es la misma que yo ofrezco. Tiene usted razón en que yo llegué a la conclusión de que la Selección era el principio de cambio a partir del estudio de producciones domesticadas; y leyendo entonces a Malthus vi inmediatamente cómo aplicar este principio. Las distribuciones geográficas y relaciones geológicas de habitantes extintos o recientes de Sudamérica me condujeron en primer lugar al tema. Especialmente el caso de las islas Galápagos.

Espero [que el libro] entre en la imprenta a comienzos del próximo mes. Será un pequeño volumen de unas 500 páginas, o así. Le enviaré, por supuesto, una copia. He olvidado si le dije que Hooker, que es nuestro mejor botánico británico, y acaso del mundo, es un converso *completo*, y ahora va a publicar inmediatamente su confesión de fe; y espero uno de estos días recibir las pruebas. Huxley ha cambiado y cree en la mutación de las especies: si es o no un *converso* a [nuestras ideas], es algo que no sé realmente. Viviremos para ver a todos los hombres *más jóvenes* convertidos.

Y en una posdata añadía: «No puedo decirle cuánto admiro su espíritu, el modo en que ha tomado todo lo que se ha hecho relativo a la publicación de nuestros artículos. De hecho, le había escrito una carta, diciendo que yo *no* debería

publicar nada antes de que lo hubiese publicado usted. No había puesto esa carta en el correo cuando recibí una de Lyell y Hooker, *urgiéndome* a enviarles algún manuscrito y a que les permitiese actuar como considerasen correcto y honorable para nosotros dos. E hice eso».

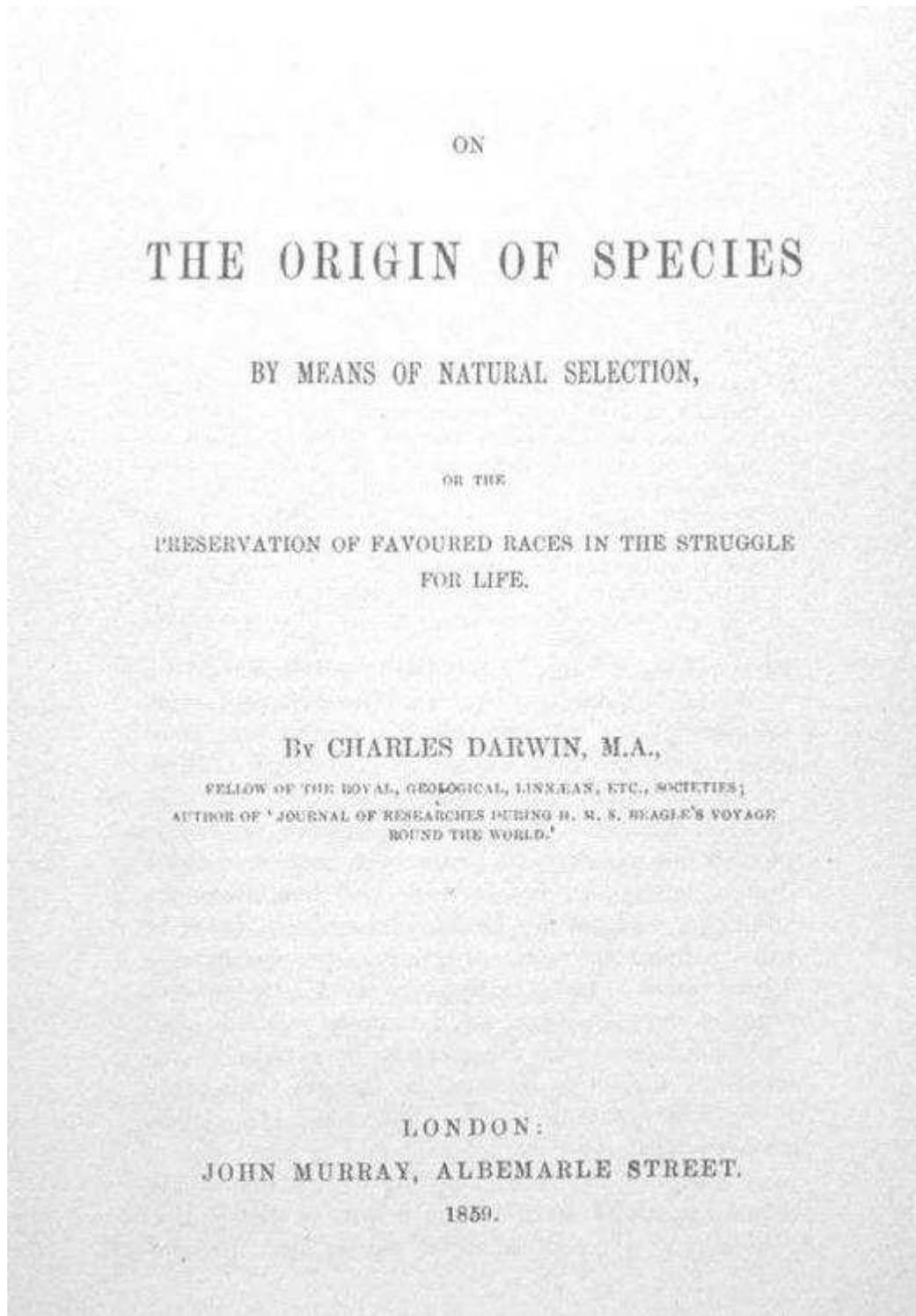
En realidad, la historia real no fue así, aunque desde luego el comportamiento de Darwin fue bastante decente y digno. Podemos hacernos una idea mucho más correcta de ese comportamiento recurriendo a una carta que escribió a Lyell el 25 de junio de 1858, cuando se encontraba agobiado tras haber recibido las noticias de Wallace:

No hay nada en el esbozo de Wallace que no esté escrito de una manera mucho más completa en mi borrador copiado en 1844, y leído por Hooker hace unos 12 años. Hace alrededor de un año envié un corto esbozo, del que tengo copia, de mis puntos de vista... a Asa Gray, de manera que podría decir con la mayor sinceridad y probar que no he cogido nada de Wallace. Me alegraría *sobremano* publicar *ahora* un esbozo de mis opiniones generales en aproximadamente una docena de páginas más o menos. Pero no consigo persuadirme a mí mismo de que puedo hacerlo de manera honorable. Wallace no dice nada sobre publicación, y yo adjunto su carta. Pero, puesto que no tenía pensado publicar nada, ¿puedo hacerlo con honor porque Wallace me ha enviado un esbozo de su doctrina? Quemaría todo mi libro antes de que él o cualquier otro pudiera pensar que me he comportado indignamente. ¿No cree que el hecho de que él me haya enviado este esbozo me ata las manos?...

Si pudiera publicar con honorabilidad explicaría que me he visto inducido ahora a publicar un esbozo (y me alegraría mucho que me permitiera decir que siguiendo un consejo que usted me dio hace mucho tiempo) al haberme enviado Wallace un esbozo de mis propias conclusiones generales. Solamente diferimos en que yo llegué a mis opiniones a partir de lo que la selección artificial ha hecho con los animales domésticos.

Darwin, en otras palabras, estaba *rogando* a Lyell que le ayudase a publicar sus ideas junto a las de Wallace. ¿Sorprenderá a alguien que después de leer su carta Lyell propusiera que ambos, Wallace y Darwin, compartieran el honor de la presentación pública de sus respectivas ideas sobre la evolución? En cualquier caso, qué diferente fue este caso del que protagonizaron Newton y Leibniz a propósito de la polémica, a la que ya me referí, relativa a la prioridad en la invención del cálculo infinitesimal. Fue, además, una solución justa. Darwin se había retrasado en publicar, pero sólo por su propia autoexigencia, que le imponía buscar más y más

evidencias, mientras que Wallace no padecía de estos sentimientos. La solución fue buena, pero, desde luego, Darwin sufrió: «Siempre pensé —escribió a Hooker (13 de julio de 1858)— que era posible que alguien se me anticipara, pero suponía que iba a tener la suficiente grandeza de espíritu como para que no me importara; pero me he encontrado a mí mismo castigado y equivocado».



Portada de la primera edición de *Sobre el origen de las especies* (1859).

El origen de las especies

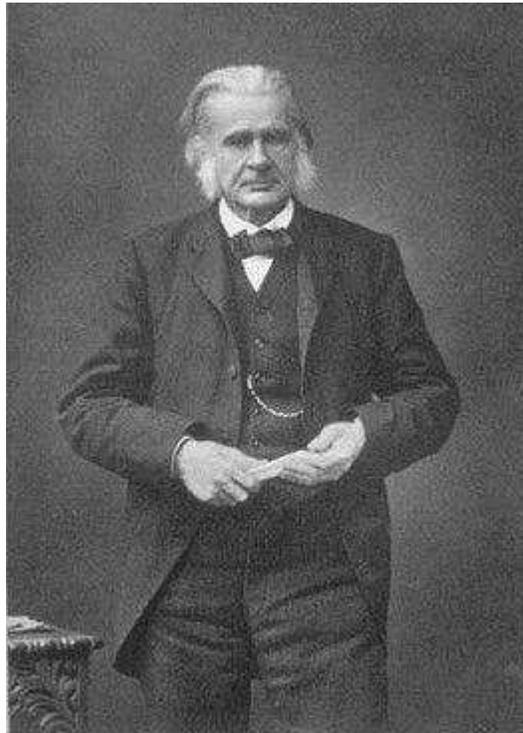
No se puede añadir mucho en un libro como el presente a lo que ya he dicho sobre *On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (*Sobre el origen de las especies por medio de selección natural, o la preservación de especies favorecidas en la lucha por la vida*), uno de los textos más famosos y paradigmáticos de la historia del pensamiento universal, cuya aparición tuvo lugar el 24 de noviembre de 1859. El éxito de la obra fue inmediato (la primera edición —1.250 ejemplares— se agotó el mismo día en que se puso a la venta, o mejor dicho, los libreros agotaron con sus pedidos todos los libros impresos, aunque en semejante éxito hay que tener en cuenta que Darwin era un personaje y escritor famoso desde la aparición del *Journal* del viaje en el *Beagle*). Y no tardó demasiado en ser traducida a otros idiomas, incluyendo el español: *Origen de las especies por medio de la selección natural o conservación en su lucha por la existencia* (traducción de Enrique Godínez; Madrid, 1877).

El «principio de selección natural» tal y como aparece en *The Origin of Species* (Capítulo IV, sexta edición): La lucha por la existencia ... ¿cómo obrará en lo que se refiere a la variación? El principio de la selección, que hemos visto es tan potente en las manos del hombre, ¿puede tener aplicación en las condiciones naturales? ... Involuntariamente, el hombre somete a los seres vivientes a nuevas y cambiantes condiciones de vida, y sobreviene la variabilidad; pero cambios semejantes de condiciones pueden ocurrir, y ocurren, en la naturaleza. Tengamos también presente cuán infinitamente complejas y rigurosamente adaptadas son las relaciones de todos los seres orgánicos entre sí y con las condiciones físicas de la vida y, en consecuencia, qué infinitamente variadas diversidades de estructura serían útiles a cada ser en condiciones cambiantes de vida. Viendo que indudablemente se han presentado variaciones útiles al hombre, ¿puede pues parecer improbable el que, del mismo modo, para cada ser, en la grande y compleja batalla de la vida, tengan que presentarse otras variaciones útiles en el transcurso de muchas generaciones sucesivas? Si esto ocurre, ¿podemos dudar —recordando que nacen muchos más individuos de los que acaso pueden sobrevivir— que los individuos que tienen ventaja, por ligera que sea, sobre otros tendrían más probabilidades de sobrevivir y procrearse su especie? Por el contrario, podemos estar seguros de que toda variación en el menor grado perjudicial tiene que ser rigurosamente destruida. A esta conservación de las diferencias y variaciones

individualmente favorables y la destrucción de las que son perjudiciales la he
llamado yo *selección natural* o *supervivencia de los más adecuados*.



Charles Darwin, cuadro de John Collier (1883).



Thomas Henry Huxley, fotografiado por Downey en 1890.

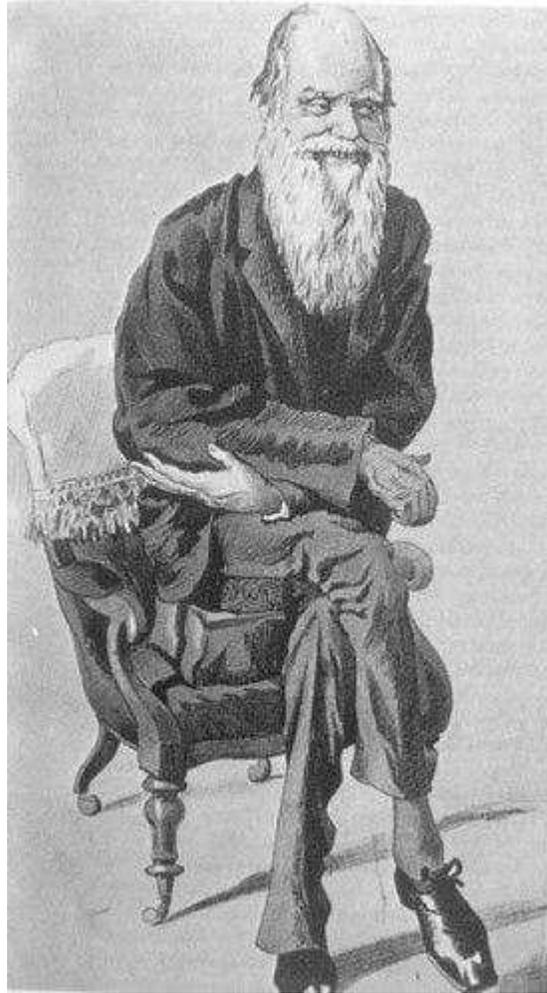
Puede ser interesante mencionar que el término «evolución», en la actualidad asociado a la teoría de Darwin, no aparecía en la primera edición de *Sobre el origen de las especies* (allí Darwin hablaba de «transmutaciones»). Darwin lo empleó por primera vez en su libro *The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex* (*El origen del hombre, y la selección en relación con el sexo*; 1871), y en la sexta —y última— edición de *El origen* (1872), la misma en la que se eliminó el adverbio *On* del título, con lo que se acentuaba la pretensión de carácter definitivo. Todavía hoy

leemos con facilidad y aprovechamiento este libro, este clásico del pensamiento, lo mismo que *El origen del hombre*, en el que aplicó a los humanos las tesis de *El origen de las especies* (en 1859 no se atrevió a tanto).

La recepción de la teoría darwiniana

La teoría de la evolución no fue solamente un acontecimiento científico de primer orden, también constituyó un suceso social de parecida magnitud. En pocos lugares fue ignorada; de hecho, suscitó grandes pasiones, en las que los argumentos científicos se mezclaban con consideraciones de índole política y religiosa.

Abundan los ejemplos en este sentido. Uno de ellos, célebre, es el debate público que tuvo lugar en Oxford el 30 de junio de 1860, durante una de las sesiones de la multitudinaria reunión anual de la British Association for the Advancement of Science. En aquella ocasión se enfrentaron el obispo de Oxford, Samuel Wilberforce (1805-1873) y Thomas Henry Huxley (1825-1895), especialista en anatomía comparada y paleontología, quien ha pasado a la historia de la ciencia, junto con sus distinguidas contribuciones a las ciencias naturales, como el campeón en la defensa de la teoría de la evolución.



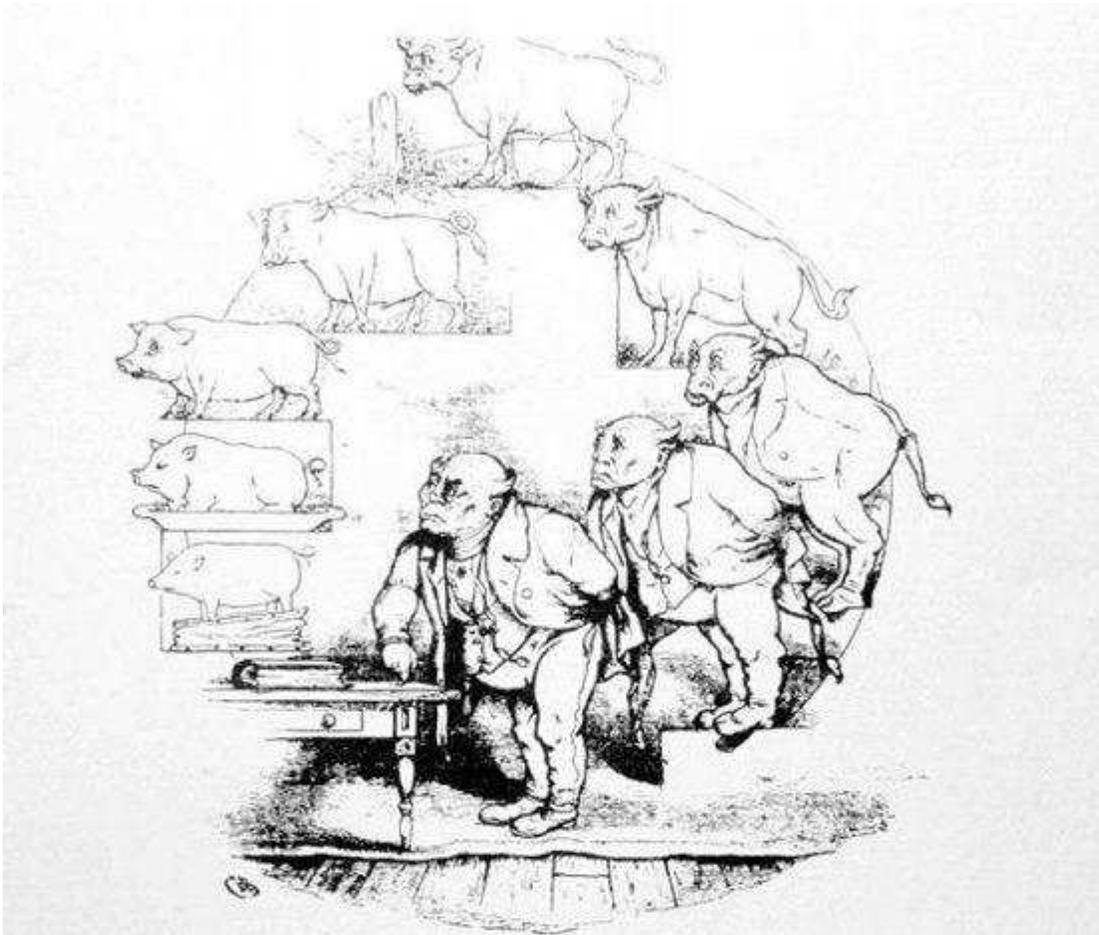
Caricatura de Darwin, publicada en *Vanity Fair*.

El reverendo W. H. Freemantle, que asistió a aquella confrontación, nos dejó un resumen de ella: «El obispo de Oxford —escribió— atacó a Darwin, al principio de manera informal, pero después con inexorable formalidad... “¿Qué ha aportado [la teoría darwiniana]?”, exclamó... Y entonces comenzó a burlarse: “Querría preguntar al profesor Huxley, que está sentado a mi lado, y está dispuesto a hacerme picadillo en cuanto me siente, acerca de su creencia de que desciende de un mono. ¿Procede esta ascendencia del lado de su abuelo o del de su abuela?”. Y entonces, adoptando un tono más grave, afirmó, en una solemne perorata, que las ideas de Darwin eran contrarias a lo revelado por Dios en las Escrituras. El profesor Huxley no tenía ganas de responder; pero fue solicitado, y habló con su habitual

penetración y con algo de desdén: “Estoy aquí solamente en interés de la ciencia —dijo— y no he oído nada que pueda perjudicar los intereses de mi augusto defendido” ... Por último, con relación a descender de un mono, dijo: “No sentiría ninguna vergüenza de haber surgido de semejante origen; pero sí que me avergonzaría proceder de alguien que prostituye los dones de cultura y elocuencia al servicio de los prejuicios y la falsedad”».

El propio Darwin se manifestó en términos parecidos en algunos lugares, como en *The Descent of Man*, en el que se encuentran pasajes como los siguientes («Sumario general», parte II):

La principal conclusión a la que se llega en este trabajo, a saber, que el hombre descende de algunas formas poco organizadas, será, lamento pensar, altamente desagradable para muchas personas. Pero difícilmente puede dudarse de que descendemos de bárbaros. Nunca olvidaré el asombro que sentí cuando vi por primera vez un grupo de fueguinos en una salvaje y remota playa, y que la reflexión que inmediatamente me vino a la mente fue: así fueron nuestros ancestros. Esos hombres estaban absolutamente desnudos y pintados, sus largos cabellos desgredados, sus bocas babeaban con excitación y su expresión era salvaje, sorprendida y desconfiada. Apenas poseían habilidad alguna y, al igual que los animales salvajes, vivían de lo que podían coger; no tenían gobierno y estaban indefensos ante cualquiera que no fuese de su pequeña tribu. Aquel que haya visto un salvaje en su tierra nativa no sentirá mucha vergüenza si se ve forzado a reconocer que la sangre de alguna humilde criatura corre por sus venas. Por mi parte, no tendría inconveniente en descender de ese heroico monito, que desafía a su temido enemigo para salvar la vida de su guardián; o de ese viejo mandril, que, descendiendo de las montañas, saca triunfalmente a su joven camarada de una multitud de sorprendidos perros, en lugar de un salvaje que disfruta torturando a sus enemigos, ofrece sangrientos sacrificios, practica el infanticidio sin remordimiento, trata a sus mujeres como esclavas, desconoce la decencia y es juguete de las más groseras supersticiones.



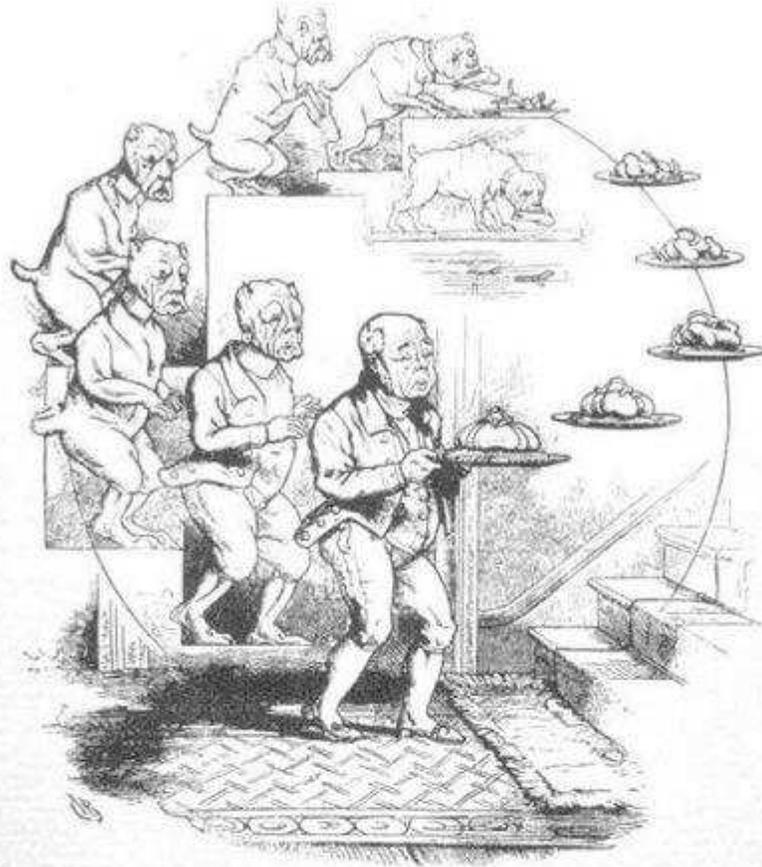
Things to do

One cannot normally observe evolution by natural selection in action, but one of the best ways of being able to understand it is to become a keen naturalist. To become proficient, it is best to keep a nature diary (remember Darwin's detailed notes of the *Beagle* voyage) recording each day the weather and birds, animals and plants you have seen. After many months you can try to be a scientific detective using your records as clues. For example, how does the cold weather affect birds? Which birds hunt for worms? What are the differences between birds that dig for worms and those that eat insects?

Think for yourself

- 1 Man is continually learning to control his environment and so make his evolution a conscious cultural one. Think of at least five significant ways in which he has learnt to control his environment.
- 2 Find out why we have an appendix when it performs no useful function in the body. What has this got to do with evolution?
- 3 If there is life on another planet, would you expect it to be like that on earth? Think of at least three reasons for your answer.
- 4 Nowadays we hear a lot about animals and plants becoming extinct. Find out the reasons for this. Does evolution play a significant

Sátira de la evolución publicada en



Above and left: Two satires on evolution from the Illustrated Times, 1863

DARWIN & EVOLUTION

JACKDAW No. S4 Jackdaw Publications London



Contents

- 1 Chart: Before Darwin
- 2 Page from Darwin's Galapagos notes on birds
By courtesy of George Darwin, Esq., and the University of Cambridge Library
- 3 4 pages from Darwin's diary written during the Galapagos expedition
By courtesy of the Royal College of Surgeons and Down House Library
- 4 Chart: the Beagle and the Galapagos Islands

Illustrated Times, 1863.

Está claro que en la recepción de la teoría de la evolución darwiniana se mezclaron consideraciones de índole política y religiosa. Se explica así que aunque nadie, con algún conocimiento científico, duda ya de que las especies han evolucionado a lo largo del tiempo, todavía hoy existan lugares, en naciones desarrolladas, en donde se discute si debe ser obligatorio conceder un tiempo igual en las escuelas para explicar las tesis creacionistas que para hacer lo propio con la evolución de las especies (en los estados de Arkansas y Louisiana, en Estados Unidos, existió una ley en tal sentido hasta junio de 1987, cuando se derogó, pero la discusión se ha renovado no hace mucho). En los últimos años, estas ideas creacionistas se presentan bajo un disfraz denominado «Diseño Inteligente»: alguien, un Dios, debió de diseñar la vida, tan maravillosamente compleja, en especial la humana.





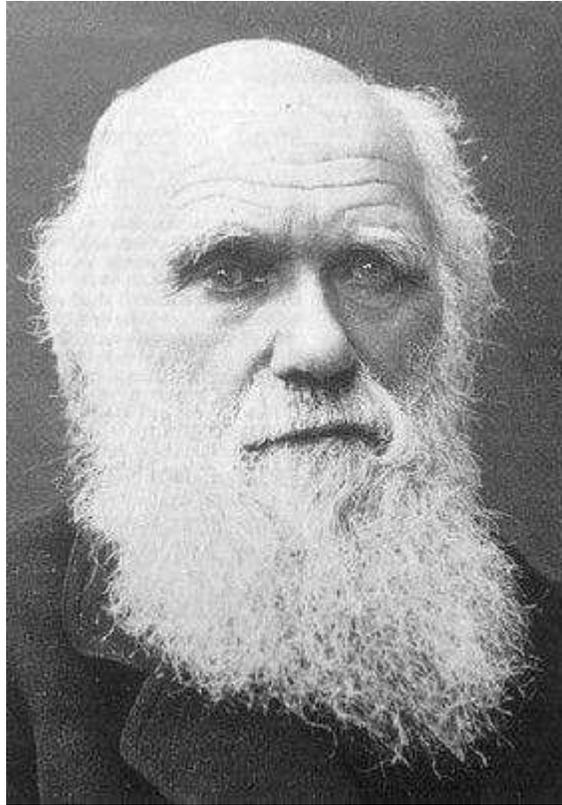
Caricaturas de Samuel Wilberforce y Thomas Huxley.

Otro de los lugares en donde se hace patente la dimensión ideológica de la teoría de Darwin es en lo que habitualmente se denomina «darwinismo social», que surgió de la fusión, a finales de la década de 1870, de las ideas evolucionistas con un programa político conservador. Al elevar a la categoría de «ley natural» las virtudes tradicionales de la confianza en la capacidad propia, la austeridad y la laboriosidad, el darwinismo social gozó de un favor especial entre, por ejemplo, los hombres de negocios norteamericanos. Sus defensores, que de hecho se basaron más en los

escritos de Herbert Spencer (1820-1903) —llamado en ocasiones «el filósofo de la evolución», que en alguno de sus escritos, anteriores a los de Darwin, argumentó en favor de tesis evolutivas—, en el «spencerismo social», que en los de Darwin, instaban a la implantación de la política del *laissez-faire*, dirigida a eliminar a inadaptados, ineficientes e incompetentes, reforzando de esta forma, o imbricándose con, los movimientos eugénicos, tan populares en las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX.

Uno de los portavoces destacados del darwinismo social, William Graham Sumner (1840-1910), de la Universidad de Princeton, sostenía que los millonarios eran los individuos más aptos de la sociedad y que merecían los privilegios de que disfrutaban. Habían sido seleccionados naturalmente en el crisol de la competencia. Andrew Carnegie (1835-1919) y John D. Rockefeller (1839-1937) estaban —¡por supuesto!— de acuerdo con esas ideas y se adhirieron a concepciones similares, que pensaban proporcionaban una justificación a los excesos del capitalismo.

En general, la ciencia darwiniana fue utilizada con parecido fervor por programas políticos diferentes. Así, Karl Marx (1818-1883) encontró en el «materialismo» de Darwin la munición que buscaba contra el «derecho divino» de los reyes y la jerarquía social. La idea de que la evolución es una historia de conflicto competitivo casaba bien con su ideología de la «lucha de clases». De hecho, Marx envió a Darwin un ejemplar de su obra principal, *Das Kapital* (1867), pero éste nunca la leyó (sus páginas permanecieron unidas por los márgenes tal y como salieron de imprenta). Tanto capitalistas como comunistas, como vemos, se consideraban «darwinistas sociales». En un ensayo titulado «La función desempeñada por el trabajo en la transición del simio al hombre», que escribió en 1876 y fue publicado en el *Neue Zeit* en 1896, Friedrich Engels (1820-1895) escribió: «El trabajo es la primera condición básica de toda existencia humana, hasta el punto de que, en cierto sentido, deberemos decir que el trabajo creó al hombre... En primer lugar, el trabajo; y tras él y, por tanto, con él, el lenguaje. Estos fueron los dos estímulos principales bajo cuya influencia el cerebro del simio se transformó gradualmente en el del hombre».



Acaso el último retrato hecho a Darwin. Fue realizado en 1881 por Herbert Rose Barraud, un fotógrafo londinense que inmortalizó a muchas celebridades de la época victoriana.

Problemas científicos

Hay que señalar también que a pesar del éxito de *El origen de las especies*, la teoría de la selección natural de Darwin fue muy controvertida durante el final del siglo XIX. En realidad, abundaron los biólogos que no se tomaron en serio el *mecanismo* darwiniano, optando muchos por diferentes ideas antidarwinianas, o relegando la selección natural como un factor secundario y puramente negativo. Detrás de este hecho se encuentra el fracaso de Darwin en convencer a sus contemporáneos de que la selección natural era un mecanismo adecuado para explicar el proceso evolutivo. Y es que Darwin descubrió el hecho de la existencia de la selección natural y contribuyó notablemente a dilucidar la historia de la

evolución animal, pero apenas pudo hacer más que vagas sugerencias acerca de por qué surgen variaciones hereditarias entre organismos y cómo se transmiten éstas de generación en generación; es decir, carecía de una teoría de la herencia. Las teorías de la herencia que prevalecían por entonces sostenían ideas como la de que las características de los progenitores se mezclan en los hijos; pero si esto era así sería difícil explicar cómo podían mantenerse, sin diluirse con el transcurso de las generaciones, las características favorables, diferenciales.

La pieza de que carecía Darwin era, por supuesto, la genética. De hecho, pudo haber dispuesto de la esencia de ella, ya que el artículo fundacional —«Versuche über Pflanzen-Hybriden» («Experimentos sobre la hibridación de plantas») — del monje agustino Gregor Mendel (1822-1884), en el que formuló los principios básicos de la teoría de la herencia, a la que llegó a través de los experimentos realizados con guisantes en el jardín de su monasterio, en lo que es hoy Brno (República Checa), fue publicado en 1866 (aunque apareció en el tomo de *Verhandlungen des naturforschenden Vereines* de Brno correspondiente a 1865). Pero las investigaciones de Mendel apenas fueron conocidas, desde luego no por Darwin, y cuando fueron redescubiertas, simultáneamente, en 1900, por el holandés Hugo de Vries (1848-1935), el alemán Carl Correns (1864-1935) y, en menor grado, el austriaco Erik von Tschermak (1871-1962), el autor de *El origen de las especies* ya había muerto.

Desarrollos posteriores

En realidad, para explicar la selección natural se necesita algo más que una teoría elemental de la herencia. De Vries manejó la idea de que las variaciones se producen debido a, como se diría más tarde, mutaciones genéticas, concluyendo que una nueva especie se origina de repente, a partir de una especie ya existente, sin preparación visible y sin transición. Pero desde este punto de vista, la selección natural podía perder algunas de sus funciones. De hecho, la integración de la genética —clásica y molecular— con la selección natural ha sido, y continúa siendo, un proceso, un programa de investigación, complejo y todavía abierto. Utilizando técnicas de análisis de poblaciones, genéticos teóricos como Ronald A. Fisher (1890-1962) —que en 1930 publicó un libro básico: *The Genetical Theory of Natural Selection* (*Teoría genética de la selección natural*) — demostraron matemáticamente que la selección natural puede producir, actuando acumulativamente sobre pequeñas poblaciones, cambios evolutivos importantes en la forma y la función. Naturalistas como Julian Huxley (1887-1975) y Ernst Mayr (1904-2005) se interesaron por

problemas de biogeografía y reivindicaron lo adecuado de las conclusiones que Darwin había extraído de sus estudios en las islas Galápagos; sus libros, *Evolution, the Modern Synthesis* (*Evolución, la síntesis moderna*), de Huxley, y *Systematics and the Origin of Species* (*Sistemática y el origen de las especies*), de Mayr (ambos aparecieron en 1942), son considerados como dos clásicos en la fundación de la moderna forma sintética del evolucionismo, también denominada, simplemente, teoría sintética o síntesis evolutiva, en la que se subraya el papel de la selección natural, la adaptación y el estudio de la diversidad. Como también es clásica la obra de Theodosius Dobzhansky (1900-1975), *Genetics and the Origin of the Species* (*Genética y el origen de las especies*; 1937).

No todos aceptan, sin embargo, la teoría sintética. En la década de 1970, científicos como los paleontólogos Stephen Jay Gould (1941-2002) y Niles Eldredge (n. 1943) criticaron la teoría sintética por apoyar una, en su opinión infundada, visión gradualista del cambio evolutivo. Según estos naturalistas, la evidencia fósil (como la revelada en el depósito de Burgess Shale, popularizado por Jay Gould en uno de sus libros, *Wonderful Life: The Burgess Shale and the Nature of History* [*La vida maravillosa: Burgess Shale y la naturaleza de la historia*]; 1989) y la genética sugieren ritmos de cambio considerablemente diversos, mostrando una discontinuidad evolutiva difícilmente compatible con el gradualismo darwiniano. En 1972, Gould y Eldredge propusieron el modelo del «equilibrio puntuado», según el cual la vida de las especies se desarrolla de manera estable durante largos períodos interrumpidos por episodios de rápidos cambios evolutivos.

Sería imposible, no obstante, resumir en los estrechos límites de este capítulo las múltiples tendencias y problemas del evolucionismo contemporáneo. Terminaré recordando unas palabras de Ernst Mayr, a quien acabo de citar, que me parecen resumir, cabalmente, la situación actual (*One Long Argument: Charles Darwin and the Genesis of Evolutionary Theory* [*Una larga controversia: Darwin y el darwinismo*]; 1991): «Algunos críticos han acusado a los arquitectos de la síntesis evolutiva de pretender haber resuelto todos los problemas pendientes de la evolución. Esta acusación es bastante absurda. No conozco un solo evolucionista que afirme semejante cosa. Todo lo que dijeron los defensores de la síntesis es que habían llegado a una elaboración del paradigma darwiniano que parecía ser lo suficientemente robusta como para que las incógnitas que aún quedaban no la pusieran en peligro. Nadie negó que quedasen muchas cuestiones sin resolver, pero existía una sensación de que, independientemente de cuál fuera la respuesta a estas preguntas, sería consistente con el paradigma darwiniano. Hasta ahora, en mi opinión, esta confianza no ha sido defraudada».

Esta es, en mi opinión, la esencia de la investigación científica: ideas fructíferas que son puestas a prueba a lo largo del tiempo, encontrándose en ellas limitaciones, que abren nuevos caminos, que mantienen, al menos en el caso de las teorías verdaderamente importantes, algún tipo de validez. La teoría de la evolución de Charles Darwin es una de esas teorías. Acaso más que una teoría, una visión de la naturaleza y de nuestro lugar en ella.

El sueño de Claude Bernard: la medicina como ciencia experimental en el siglo XIX

La medicina es una disciplina, una ciencia al igual que un arte, especialmente próxima a todos nosotros. Podemos encontrar con cierta facilidad personas que ignoran todo, absolutamente todo, acerca de las leyes del movimiento newtoniano, de la geometría euclidiana, de la combinación química o de la paleontología; incluso que no sepan que existen materias como la física, la matemática o la química; pero difícilmente encontraremos alguien que desconozca la existencia de la medicina y que no sepa que su objetivo tiene que ver con el cuerpo humano, con su bienestar y conservación.

De hecho, la medicina nos ha acompañado a los humanos desde tiempos inmemoriales. En los primeros registros históricos ya se encuentran datos que tienen que ver con ella. En el denominado «Papiro Edwin Smith», datado como perteneciente al siglo XVII a.C., esto es, al Imperio Antiguo egipcio (es, en realidad, copia de un texto anterior perdido), encontramos auténticas recetas médicas: «Si examinas un hombre que tiene una herida abierta en la cabeza, que penetra en el cuerpo [y] deja el cerebro al descubierto, deberás palpar su herida... Cuando suceda que no palpites y ceda bajo tus dedos mientras que el cerebro está al descubierto [y el paciente] arroja sangre por ambas fosas nasales [y] tiene rigidez en el cuello, dirás acerca de él: una enfermedad que no es posible curar. Deberás untar esta herida con grasa. No la vendarás, ni le pondrás hilos, hasta que conozcas que ha alcanzado un punto decisivo».

El autor o autores de este diagnóstico resumían en él una larga tradición empírica, tan iluminada por la evidencia como oscurecida por la ignorancia de los motivos últimos que justificaban el procedimiento que se sugería. Algo menos de dos mil años más tarde, el gran Galeno de Pérgamo (129-210/216), cuyo nombre se convertiría con el paso del tiempo en sinónimo de médico, no sabía mucho más acerca de las causas últimas que justificaban las recetas médicas, ni del porqué de las enfermedades. Sus conocimientos empíricos habían aumentado considerablemente desde el tiempo de los egipcios, es cierto; sabía mucho más acerca de la composición del cuerpo humano —mil novecientos años no pasan en vano—, pero todavía escribía cosas como (*Sobre la localización de las enfermedades*): «Cuando sospeches que en las venas de todo el cuerpo se contiene sangre melancólica [la producida por aquel con humor melancólico, bilioso o flemático],

consigue un diagnóstico más fiable mediante el corte de la vena del codo. Es mejor cortar la vena media, puesto que es común a una y otra vena, tanto a la llamada vena humeral como a la que llega al brazo a través de la axila. Después, si lo que brota no pareciera melancólico, detente inmediatamente. Pero si pareciera tal, vacía cuanto consideres suficiente de acuerdo con la constitución del cuerpo enfermo».

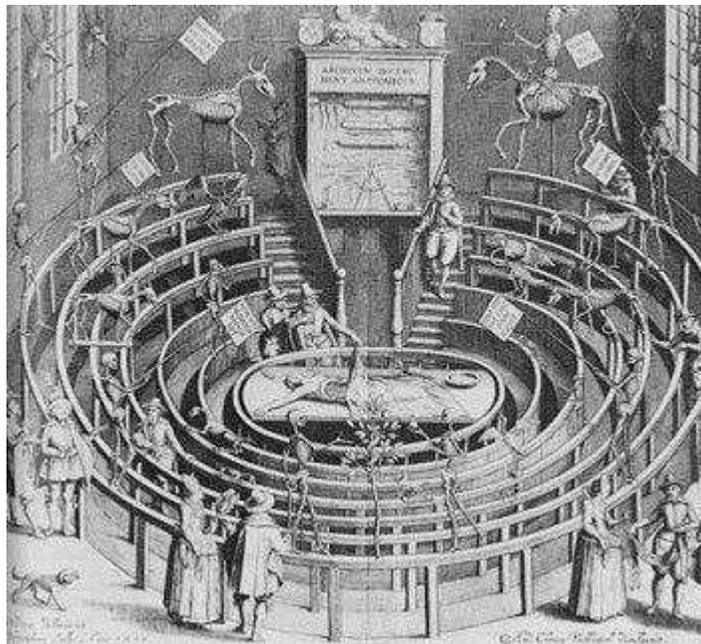


Edición en latín de las obras completas de Galeno: *Omnia quæ extant opera*, preparada por Augustinus Gadaldinus (Venecia, 1550).

Podía, eso sí, existir ignorancia sobre las causas últimas de las enfermedades, o sobre cómo restituir mejor el cuerpo al estado que tenía antes de haber sufrido algún traumatismo, pero semejantes sombras no impidieron que desde muy temprano en la historia de las artes médicas aquellos que las practicaban fuesen conscientes de lo especial de su disciplina, de que era ineludible imponer límites en su ejercicio; porque el médico no sólo debe saber, sino que también tiene una

responsabilidad, unos deberes, morales y profesionales. La medicina, más que otras ciencias, sin duda antes que ellas, debe incluir en su seno una deontología. Y en este punto, viene a la memoria, inmediatamente, el nombre de Hipócrates de Cos (c. 460-370 a.C.).

Poco se sabe de su vida, aunque parece seguro que su padre era médico, y que fue éste quien le inició en la medicina. También sabemos que enseñó en Cos y que viajó extensamente por Grecia, gozando de una fama excepcional durante su vida, como muestran las referencias que se hacen de él en escritos de autores como Platón o Aristóteles. Contribuyó de manera significativa al conocimiento médico, aunque es difícil determinar cuáles de los tratados que aparecen en el *Corpus Hippocraticum*, una de las primeras colecciones de textos científicos del mundo antiguo, fueron realmente obra suya. Puede que tampoco lo fuese el texto que, más que ningún otro, ha asentado su nombre en la memoria histórica colectiva, en definitiva, en nuestra cultura más ancestral, el «Juramento hipocrático», pero qué importa.



Teatro anatómico de Leiden. Muchos de estos lugares (como el que aparece en este grabado de Willen Swanenburg [más tarde conocido como J. C. Wondanus o Van't Woudt] de 1616) eran utilizados también como Museos de Historia Natural cuando no se empleaban para diseccionar.

Juramento hipocrático:Juro por Apolo médico, por Asclepio, Higiea y Panacea, así como por todos los dioses y diosas, poniéndolos por testigos, dar cumplimiento en la medida de mis fuerzas y de acuerdo con mi criterio a este juramento y compromiso:Tener al que me enseñó este arte en igual estima que a mis progenitores, compartir con él mi hacienda y tomar a mi cargo sus necesidades si le hiciera falta; considerar a sus hijos como hermanos míos y enseñarles este arte, si es que tuvieran necesidad de aprenderlo, de forma gratuita y sin contrato; hacerme cargo de la preceptiva, la instrucción oral y todas las demás enseñanzas de mis hijos, de los de mi maestro y de los discípulos que hayan suscrito el compromiso y estén sometidos por juramento a la ley médica, pero a nadie más.Haré uso del régimen dietético para ayuda del enfermo, según mi capacidad y recto entender: del daño y la injusticia le preservaré.No daré a nadie, aunque me lo pida, ningún fármaco letal, ni haré semejante sugerencia. Igualmente tampoco proporcionaré a mujer alguna un pesario abortivo. En pureza y santidad mantendré mi vida y mi arte.No haré uso del bisturí ni aun con los que sufren del mal de piedra: dejaré esa práctica a los que la realizan.A cualquier casa que entrare acudiré para asistencia del enfermo, fuera de todo agravio intencionado o corrupción, en especial de prácticas sexuales con las personas, ya sean hombres o mujeres, esclavos o libres.Lo que en el tratamiento, o incluso fuera de él, viere u oyere en relación con la vida de los hombres, aquello que jamás deba trascender, lo callaré teniéndolo por secreto.En consecuencia séame dado, si a este juramento fuere fiel y no lo quebrantare, el gozar de mi vida y de mi arte, siempre celebrado entre todos los hombres. Mas si lo trasgredo y cometo perjurio, sea de esto lo contrario. El desarrollo de la fisiología

Regresando a los contenidos de la medicina, tenemos que en los siguientes mil seiscientos años después de Galeno, la medicina avanzaría bastante, en alguna ocasión con descubrimientos tan notables como el realizado por William Harvey de la circulación mayor de la sangre (1628), que ya mencioné en el capítulo 2, pero las razones últimas del porqué de los fenómenos de la vida normal y de las leyes que los rigen, de los que se ocupa la fisiología, o de la mayoría de las enfermedades, continuaban sin ser conocidas. La experiencia, el conocimiento empírico, primaba sobre el científico. Se trataba, además, de un conocimiento empírico impregnado por o, si se prefiere, en el que abundaban creencias heredadas de esa profunda sima que llamamos la Antigüedad.



Retrato de William Harvey, de autor desconocido, c. 1627 (National Portrait Gallery, Londres).

La fisiología, en particular, no existía como disciplina independiente; se encontraba firmemente unida a la anatomía, lo que implicaba que las funciones vitales no eran explicadas, si acaso localizadas. «La anatomía descriptiva —escribió el personaje que da título a este capítulo, Claude Bernard (1813-1878), en su última obra, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (*Lecciones sobre los fenómenos de la vida comunes a los animales y a los vegetales*; 1878), publicada póstumamente— es a la fisiología lo que la geografía a la historia, y al igual que no es suficiente conocer la topografía de un país para comprender su historia, tampoco es suficiente conocer la anatomía de los órganos para comprender

sus funciones.» Antes, en 1816, François Magendie (1783-1855), uno de los científicos que más hizo para cambiar la situación en que se encontraba la fisiología (fue uno de los primeros defensores radicales de la investigación empírica y experimental para comprender el funcionamiento orgánico: un «traperero de datos», se definía a sí mismo), señalaba en su *Précis élémentaire de physiologie* (*Compendio elemental de fisiología*) el retraso en que se encontraba su disciplina:

Las ciencias naturales han tenido, igualmente que la historia, sus propios desarrollos. La astronomía ha empezado por la astrología; la química hace poco no era más que un conjunto pomposo de sistemas absurdos y la fisiología una larga y fastidiosa novela; la medicina, un cúmulo de preocupaciones hijas de la ignorancia y el temor de la muerte, etcétera...

Tal fue el estado de las ciencias naturales hasta el siglo XVII. Entonces apareció Galileo, y los sabios pudieron aprender que para conocer la naturaleza no se trataba de forjarla ni de creer lo que habían dicho los autores antiguos, sino que era menester observarla y preguntarle además por medio de experimentos.

Esta fecunda filosofía fue la de Descartes y Newton, la propia que les inspiró constantemente en sus inmortales tareas. La misma que poseyeron todos los hombres de ingenio que en el siglo último redujeron la química y la física a la experiencia...

Ojalá pudiera decir que la fisiología, esta rama tan importante de nuestros conocimientos, ha tomado el mismo vuelo y sufrido la misma transformación que las ciencias físicas, pero, por desgracia, no es así. La fisiología, para muchos, y aun en casos todas las obras de este dominio, aparece tal cual era en el siglo de Galileo, un juego de imaginación; tiene sus creencias diferentes y sus sectas opuestas; invoca la autoridad de los autores antiguos, los cita como infalibles y pudiera llamarse un cuadro teológico caprichosamente lleno de expresiones científicas.

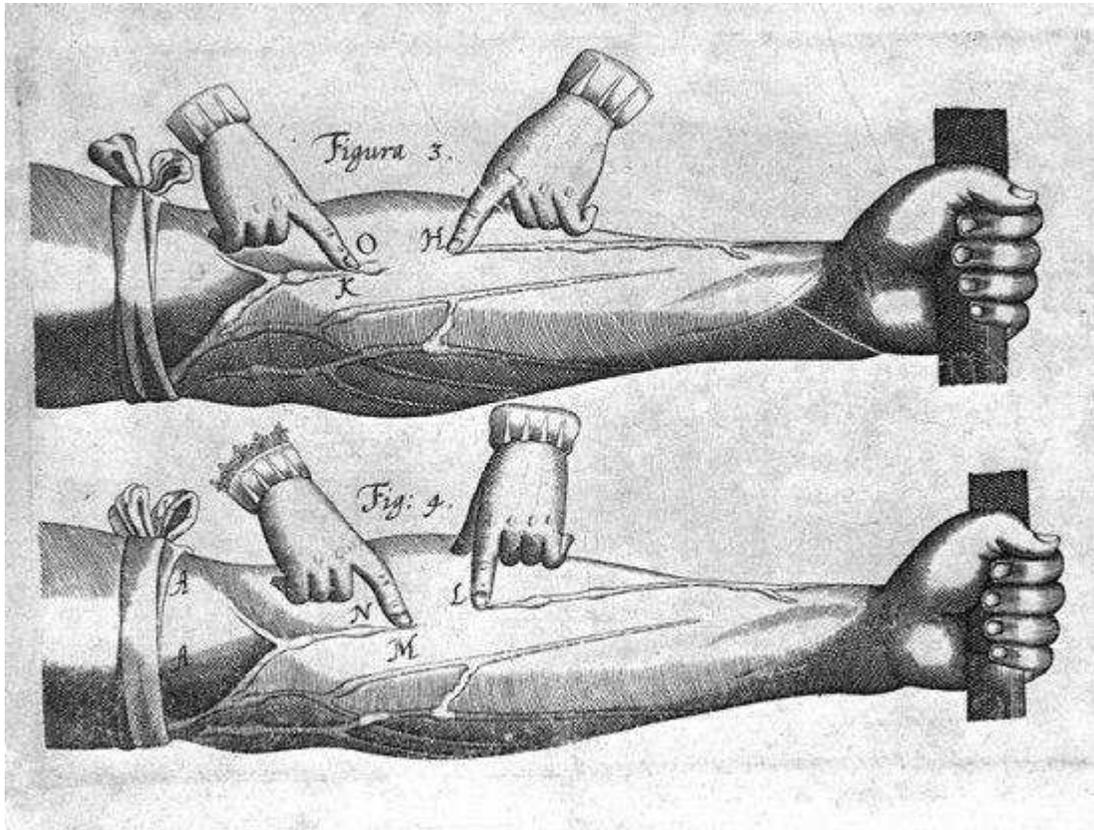


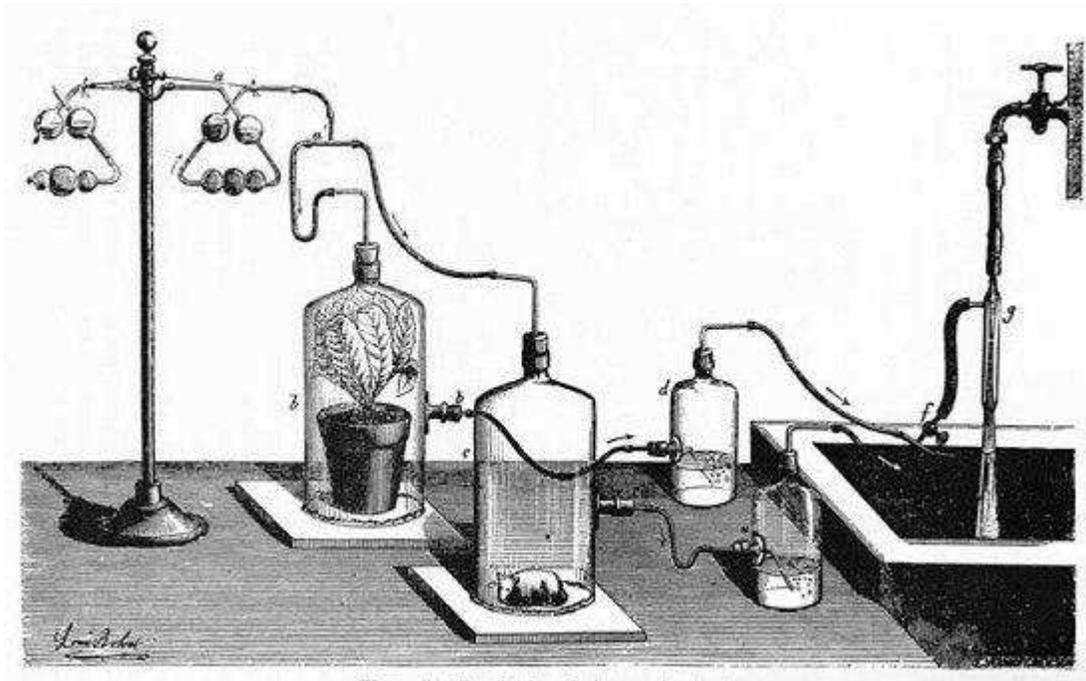
Lámina de *De motu cordis et sanguinis in animalibus* (1639, tercera edición; primera edición de 1628) de William Harvey.

Por entonces, sin embargo, ya habían comenzado a fructificar algunas semillas plantadas antes. Una de esas semillas, la más importante para la cuestión que nos ocupa, fue la teoría de la respiración de Lavoisier y Laplace. Según esta teoría, la respiración es una forma de combustión en la que carbono (procedente, por ejemplo, de los alimentos) y oxígeno se oxidan (o, en otras palabras, el oxígeno quema al carbono) convirtiéndose en dióxido de carbono y agua, desprendiendo calor, el mismo calor que, argumentaban, se produce en animales de sangre caliente. La respiración, en definitiva, pasaba a ser considerada una forma lenta de oxidación, en la que el oxígeno del aire desempeña el papel principal, y no otros gases que se encuentran también en el aire, como el nitrógeno, que se exhalan, inalterados, durante la respiración.

En principio, Lavoisier y Laplace demostraron la equivalencia de ambos

procesos —respiración y oxidación— a través de medidas calorimétricas, al igual que recogiendo y analizando los gases que intervienen en la respiración, y también, en 1783, utilizando un conejillo de Indias; de ahí la expresión «hacer de conejillo de Indias». En la práctica, no obstante, la cuestión dejó abiertos importantes problemas que ocuparon durante el siguiente medio siglo a algunos científicos, especialmente químicos parisinos (como Claude Louis Berthollet, Pierre Dulong [1785-1838] o César-Mansuète Despretz [1789-1863]), quienes recurrieron en sus experimentos a versiones mejoradas de los instrumentos utilizados por Lavoisier, instrumentos como calorímetros, cámaras neumáticas y gasómetros.

No fueron, sin embargo, sólo franceses los que se interesaron por la teoría de combustión lavoisieriana. En Alemania, Johannes Müller (1801-1858), el maestro de una generación de científicos que cambiarían la situación de la fisiología (entre sus discípulos se cuentan figuras como Theodor Schwann [1810-1882], Emil du Bois-Reymond [1818-1896], Ernst Brücke [1819-1892], Carl Ludwig [1816-1895], Rudolf Virchow [1821-1902], Jakob Henle [1809-1885] y Hermann von Helmholtz [1821-1894]), valoraba la contribución de esa química a la fisiología, pero también veía problemas. Reconocía (véase, por ejemplo, su *Handbuch der Physiologie des Menschen* [*Manual de fisiología humana*], tercera edición, vol. I, 1838) que investigaciones recientes de Dulong y Despretz habían demostrado que alrededor de la séptima parte del calor producido en la respiración se podía explicar en base a la formación del dióxido de carbono, pero no aceptaba que se hubiese demostrado que la fuente del resto del calor se debiese a que la parte de oxígeno inhalado que no se convertía en dióxido de carbono se combinase con hidrógeno para formar agua. Era mucho más probable que el vapor de agua que se detectaba en el aire exhalado procediese simplemente de la evaporación producida en las superficies húmedas de los pulmones, que de la oxidación del hidrógeno.



Grabado reproduciendo un experimento sobre la respiración de plantas y animales, incluido en *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* de Claude Bernard (1878).

En realidad, los problemas de Müller eran de índole diversa, y es precisamente por este motivo por lo que su caso es particularmente interesante. Por un lado, se daba cuenta del valor que tenían ciencias naturales como la química para comprender los procesos de los que se ocupaba la fisiología, pero por otro, como fisiólogo, para él desempeñaba un papel central la constatación de que las variaciones en la producción de calor animal se debían a un conglomerado de motivos repartidos por las diferentes partes del cuerpo. Al contrario que en los objetos cuyo estudio habían hecho avanzar a la química o a la física hasta los niveles en que se encontraban entonces, en los que protagonizaban la fisiología la localización precisa era muy complicada, un hecho este que cualquier libro de texto no deja de apuntar; como, por poner un ejemplo, el que escribió a comienzos del siglo XIX José Gómez Ocaña (1860-1926), uno de los pioneros españoles en esa rama de la medicina, *Fisiología humana, teórica y experimental*, en el que podemos leer frases como las siguientes (tercera edición, 1904): «En Física y en Química, la experimentación es muy difícil; pero satisface los fines de estas ciencias, porque las

condiciones son exteriores, determinables y fácilmente previstas; y, además, poco importa a las investigaciones físico-químicas el desconocimiento de la total unidad del Universo, pues con la determinación de las leyes que rigen a los fenómenos particulares les basta. En cambio, los seres vivos son unidades funcionales, y ni el fisiólogo ni el médico pueden perder de vista al total individuo en sus investigaciones, porque éstas tienen por fin inmediato y urgente la evitación, alivio y cura de las enfermedades. Añádase a este supremo interés la complicación que induce en los fenómenos organizados su solidaridad, armonía y reciprocidad, y se comprenderán las inmensas dificultades que se impone el médico experimentador y el limitado fruto que puede esperar de la experimentación».

Volviendo a Müller, nos encontramos con que a pesar de reconocer el valor que para la fisiología tenía la química, todavía se movía en un profundo conflicto interno, no pudiendo evitar tomar en consideración la posible existencia de otras fuerzas no reducibles a las físico-químicas. Tal conflicto se observa con bastante claridad en las primeras secciones de su tratado de fisiología, en donde podemos leer (utilizo ahora un resumen de dicho tratado vertido al castellano por Francisco Álvarez y Nicolás Casas: *Compendio de Fisiología de J. Müller*; 1847): «En realidad se encuentran las mismas inverosimilitudes al refutar la generación espontánea como al quererla admitir, pues los experimentos directos son muy difíciles en el estado actual de la ciencia».

No nos debe extrañar la ambivalencia en la que se movía. Los primeros momentos de una nueva era —y el siglo XIX fue para las ciencias biomédicas una nueva era— son terrenos propicios para la indecisión, para «nadar entre dos aguas», para combinar, en una dudosa mezcla, algo de lo que terminará siendo el «viejo» —pero que todavía no es— mundo, con el «nuevo». En el caso de Müller, el viejo mundo que se resistía a abandonar era el de la existencia de otras fuerzas no reducibles a las físico-químicas; esto es, el mundo del vitalismo.



Johannes Müller.

Del vitalismo al principio de conservación de la energía

«Todavía a comienzos de este siglo [el XIX] —recordaba en su autobiografía (“Erinne run gen. Tischrede gehalten bei der Feier des 70. Geburtstages” [“Un esbozo autobiográfico. Discurso pronunciado (el 2 de noviembre de 1891 en Berlín) con ocasión del banquete celebrado para conmemorar su setenta cumpleaños”]) el gran fisiólogo, físico y matemático Hermann von Helmholtz, uno de los gigantes de la ciencia del siglo XIX y, en general, de todos los tiempos— los fisiólogos creían que era el principio vital el que producía los procesos de la vida y que se rebajaba la dignidad y naturaleza de ésta si alguien expresaba la creencia de que la sangre era conducida a través de las arterias por la acción mecánica del corazón, o que la respiración tenía lugar siguiendo las leyes habituales de la difusión de los gases. Por el contrario, la generación actual trabaja duramente para encontrar las causas reales de los procesos que tienen lugar en un cuerpo vivo. No suponen que exista ninguna diferencia entre las acciones químicas y las mecánicas en el cuerpo vivo y fuera de él.»

Esa generación —generaciones, realmente— a la que se refería Helmholtz trabajó duramente, cierto es, y lo hizo utilizando con profusión escenarios que no siempre coincidían con los que sus predecesores habían preferido. Y es que el vitalismo fue finalmente abandonado cuando la investigación experimental de laboratorio pasó a ser una fuente primordial de la medicina.



Theodor Schwann.

Así, gracias a la química resultante de la revolución que había encabezado Lavoisier, se pudo acometer el análisis de la composición tanto de sustancias inorgánicas como de origen biológico, comprobándose que las primeras contenían elementos que aparecían también en las segundas, por lo que llegó a aceptarse de modo casi general que no existía diferencia entre ambas desde el punto de vista químico. Un hito en este sentido fue la obtención de la urea, en 1828, a partir del cianato amónico, una sustancia inorgánica, por el alemán Friedrich Wöhler (1800-1882), que había estudiado medicina en las Universidades de Marburgo y Heidelberg y química en Estocolmo, donde fue ayudante del gran Jöns Jacob Berzelius (1779-1848), uno de los padres de la química moderna.

En conjunto, por el complejo universo de la fisiología de la primera mitad del siglo XIX circularon todo tipo de ideas, técnicas y problemas. Junto a las teorías

encaminadas a explicar los fenómenos químicos de la respiración, a las que ya me he referido, es obligado mencionar las investigaciones sobre fenómenos como la putrefacción y la fermentación, que para unos (Justus von Liebig) eran simplemente descomposiciones químicas, que ocurrían espontáneamente o con ayuda del oxígeno atmosférico, mientras que para otros (como Helmholtz) estaban ligadas a la presencia de microorganismos que se producen solamente por reproducción (hasta los resultados de Louis Pasteur, la teoría de la descomposición de Liebig mantendría su influencia).



Hermann von Helmholtz.

Aquellos que combatían los principios vitalistas buscaban dar a la medicina una base científica, demostrando, entre otras cosas, que las enfermedades no eran nada más que desviaciones de los procesos fisiológicos normales producidos por algún agente. Convencidos de que tales procesos obedecían a leyes deterministas de la naturaleza, argumentaban que la medicina, la verdadera medicina, esto es, la *medicina científica*, debería encaminarse a determinar cómo se comportaban los cuerpos, sujetos a tales leyes, bajo condiciones alteradas. Así, en sus declaraciones programáticas, estos científicos (médicos, con frecuencia, pero no sólo médicos)

hacían hincapié en la utilización de experimentos fisiológicos, anatomía patológica, microscopía, química, física y, por supuesto, observaciones clínicas, como las herramientas básicas para analizar las funciones corporales y la aparición de enfermedades. Y para ello necesitaban instrumentos refinados. Es ilustrativo el caso de Emil du Bois-Reymond, quien se distinguió por sus trabajos en electrofisiología, una disciplina cuyos orígenes se pueden asociar con la publicación de las investigaciones de Luigi Galvani [1737-1798], en 1791, con ranas decapitadas y el subsiguiente debate que mantuvo con Alessandro Volta (1747-1827) sobre la naturaleza de la «electricidad animal» (Volta mostró que no existía). A lo largo de su carrera, du Bois-Reymond concentró sus investigaciones en el desarrollo de dos tipos de instrumentos: electrodos para la conducción de corrientes bioeléctricas débiles sin distorsión, y aparatos para detectar y amplificar estas corrientes. Esta línea de investigación, en la que medicina, fisiología, química y física se fecundaban y enriquecían mutuamente, terminó conduciendo a la enunciación de uno de los instrumentos más fecundos para la física de los siglos XIX y XX, el principio de conservación de la energía, formulado en su forma más general por Helmholtz en 1847.

El ejemplo de Hermann von Helmholtz es especialmente significativo. Nacido en Postdam en 1838, Helmholtz se trasladó a Berlín para iniciar sus estudios médicos en el Instituto Real Federico Guillermo Médico-Quirúrgico, una escuela de medicina destinada a formar médicos militares. El que eligiese esta escuela se debía a que su familia no poseía medios suficientes y en el Friedrich-Wilhelm Institut los estudiantes no tenían que pagar (de hecho recibían un estipendio), a cambio de comprometerse a dedicar los ocho años siguientes a su graduación al servicio del ejército prusiano.

En 1841, decidió intentar escribir una tesis doctoral, bajo la dirección de Müller. El tema que seleccionó fue el de la estructura del sistema nervioso en los invertebrados, descubriendo que las fibras nerviosas surgen de unas células que habían sido identificadas en 1833 por el fisiólogo alemán Christian Gottfried von Ehrenberg (1795-1876), y que éste difundió especialmente en su tesis doctoral: *De fabrica systematis nerviosi evertibratorum* (La estructura del sistema nervioso en los invertebrados), defendida el 2 de noviembre de 1842.

Una vez finalizados sus estudios, en octubre de 1843, Helmholtz fue nombrado oficial médico y destinado al hospital militar de Potsdam. Allí permaneció cinco años. Como sus obligaciones médicas no eran excesivas pudo compatibilizarlas con la investigación, estableciendo un pequeño laboratorio en un barracón, en el que se dedicó a estudiar la producción de calor durante la

contracción muscular, dándose cuenta de que la explicación del calor animal en función de transformaciones químicas en los músculos encajaba perfectamente con los propósitos de una física que no fuese ajena a los fenómenos orgánicos. Demostró entonces que el calor no era transportado a los músculos a través de los nervios o de la sangre, sino que era producido por los propios tejidos. Cuantificando estos hechos fisiológicos, dedujo el equivalente mecánico del calor que incorporó a su gran memoria de 1847, *Über die Erhaltung der Kraft (Sobre la conservación de la fuerza [energía para nosotros])*, un trabajo que le ayudó, de la mano del influyente geógrafo y naturalista Alexander von Humboldt (1769-1859), a obtener permiso para abandonar —en 1848— el ejército y aceptar la oferta de enseñar anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín.

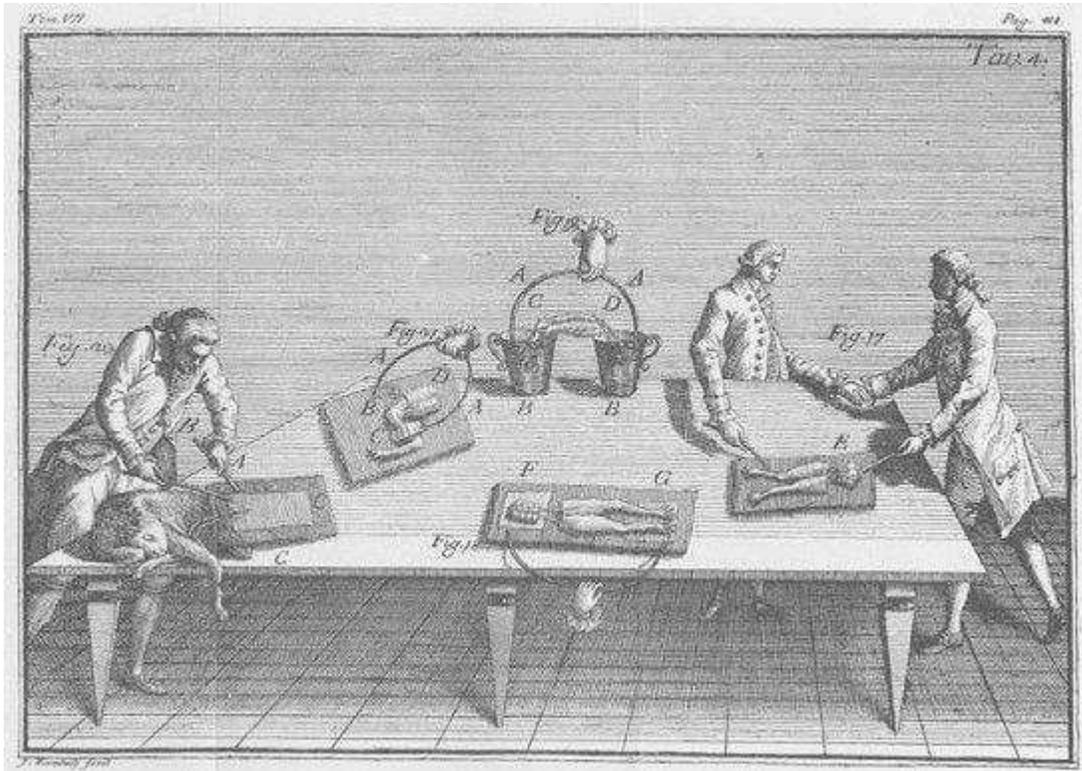
La historia del principio de conservación de la energía está, como vemos, asociada a diversas disciplinas, casi se podría decir de él que constituye un paradigma del mestizaje, de lo que podríamos denominar metafóricamente «ciencia impura», o «multidisciplinar». No es sorprendente, en consecuencia, que a él llegasen, por caminos diferentes, personajes diversos. Si existen casos de descubrimientos simultáneos este es uno de ellos. Entre 1842 y 1847, cuatro científicos, Julius Robert Mayer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), Ludvig Colding (1815-1888) y el propio Helmholtz, hicieron pública, de manera independiente, la hipótesis de la conservación de la energía.

Helmholtz y la génesis del principio de conservación de la energía (de su «Autobiografía»): En aquella época la mayoría de los fisiólogos habían adoptado la solución de G. E. Stahl; es decir, que a pesar de ser las fuerzas físicas y químicas de los órganos y sustancias del cuerpo vivo las que actúan sobre él, existe también dentro de él un alma, o fuerza vital, que controla las actividades de estas fuerzas. Después de la muerte la libre acción de estas fuerzas físicas y químicas produce la descomposición, pero durante la vida su acción está constantemente regulada por el alma vital. Yo tenía la sensación de que en esta explicación existía algo contrario a la naturaleza; me costó mucho esfuerzo, sin embargo, expresar mis dudas en forma de una pregunta definida. Finalmente, durante el último año de mi carrera como estudiante me di cuenta de que la teoría de Stahl trataba a todo cuerpo viviente como si fuera un *perpetuum mobile*. Yo estaba bastante bien informado de las controversias relativas al tema del movimiento perpetuo, y había oído discutirlo a mi padre y a nuestros maestros de matemáticas durante mis días escolares. Además, mientras fui un estudiante en el Instituto Friedrich Wilhelm ayudé en la biblioteca, y en mis ratos libres examiné los trabajos de Daniel Bernoulli, D'Alembert y otros matemáticos del pasado siglo. De esta manera llegué a las preguntas: ¿Qué relaciones deben existir entre las diversas fuerzas naturales para que sea posible el

movimiento perpetuo?, y ¿existen de hecho tales relaciones? En mi memoria «La conservación de la fuerza» mi intención era simplemente suministrar un examen crítico de estas cuestiones y presentar los hechos para beneficio de los fisiólogos.

Por otra parte, el que fuese un médico (Helmholtz) quien, realizando investigaciones fisiológicas y beneficiándose de los conocimientos acumulados en la física, formulase en toda su generalidad el principio de conservación de la energía, tiene lecturas evidentes y muy instructivas. Como he indicado, este principio fue uno de los instrumentos más fecundos para la física decimonónica, una rama de la ciencia que en aquella centuria experimentó un desarrollo que nos hace recordar, cuando lo contemplamos retrospectivamente, los producidos en tiempos de Newton. Y no sólo de entonces, ya que continúa siendo hasta la fecha uno de los pilares de la física. Pues bien, ese pilar recibió su forma definitiva dentro de una disciplina que no era la física, un detalle que nos muestra que no es posible entender la historia de la física del siglo XIX sin tomar en cuenta al mismo tiempo la de la medicina y la fisiología. Precisamente debido a este hecho, podemos comprender la carrera académica de Helmholtz a partir de 1847.

Lo último que había dicho acerca de su carrera es que en 1848 pudo, con la ayuda de Humboldt, abandonar el ejército y aceptar la oferta de enseñar anatomía en la Academia de Bellas Artes de Berlín. Allí estuvo únicamente un año, pasando a continuación a Königsberg como profesor asociado (catedrático desde 1851) de Fisiología, donde permaneció cinco años, durante los cuales continuó sus investigaciones en fisiología (midiendo, por ejemplo, la velocidad de los impulsos nerviosos), entrando, asimismo, en la óptica y acústica fisiológica, áreas en las que siguió interesándose los veinte años siguientes. Preparando una de sus clases, se dio cuenta de que las sencillas leyes de la óptica geométrica le permitían construir un instrumento de gran importancia potencial para la comunidad médica: el oftalmoscopio.



Grabado mostrando diferentes experimentos de Luigi Galvani (*Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius* [Comentarios relativos a los efectos de la electricidad sobre el movimiento muscular], 1791) acerca de los efectos de la electricidad en ranas y pollos.

Lo que en realidad Helmholtz quería describir era el fenómeno, observado por William Cummings, un médico inglés, y por Ernst Brücke, mediante el cual el ojo humano brilla en una habitación oscura cuando se dirige luz hacia él y un observador permanece próximo a la fuente luminosa. Ni Cummings ni Brücke habían podido ver la estructura interna del ojo; siempre que se acercaban a él lo suficiente para escudriñar dentro, el destello procedente de la fuente luminosa se difundía sobre toda la pupila. Mientras preparaba su clase, Helmholtz se preguntó cómo producían una imagen los rayos de luz reflejados; se vio conducido de esta manera a estudiar las trayectorias de los rayos, descubriendo que éstos seguían caminos idénticos tanto al entrar como al salir del ojo, lo que le permitió explicar la incapacidad de Brücke de ver la estructura interna. Para observarla habría tenido que situarse directamente en la trayectoria de los rayos, bloqueando así la fuente

luminosa.

Una vez interesado en el problema, tardó únicamente ocho días en resolverlo y en inventar un instrumento que le permitía ver la retina de un ojo vivo.

En diciembre de 1850, Helmholtz escribió a su padre expresando su sorpresa porque nadie antes que él hubiese dado con la idea del oftalmoscopio, que —añadía— solamente necesitaba de sencillas leyes de óptica geométrica. Sin embargo, subestimaba el conocimiento matemático que se necesitaba para comprender la óptica geométrica en la que se basaba el oftalmoscopio, así como el valor de su formación pluridisciplinar, algo que queda patente en lo que escribió en su autobiografía:

Conocía bien, de mis estudios médicos, las dificultades que tenían los oftalmólogos con los problemas entonces agrupados bajo el nombre de amaurosis, e inmediatamente me puse a construir el instrumento utilizando lentes de gafas y láminas de vidrio de las empleadas como portamuestras en los trabajos con microscopio. Al principio era difícil de usar, y si no hubiese tenido la firme convicción teórica de que tenía que funcionar, no habría perseverado. Al cabo de una semana, sin embargo, tuve el gran placer de ser el primer hombre en contemplar claramente una retina humana en un ser vivo.

La construcción del oftalmoscopio tuvo un efecto decisivo en mi posición a los ojos del mundo. Desde aquel momento conté con el reconocimiento inmediato de las autoridades y de mis colegas, así como con la disposición por satisfacer mis deseos. Fui de esta manera capaz de seguir mucho más libremente los impulsos de mis ansias de conocimiento. Debo decir, no obstante, que yo atribuyo mi éxito en gran medida al hecho de que, poseyendo algún entendimiento geométrico y equipado con un conocimiento de física, tuve la buena fortuna de ser lanzado a la medicina, en donde encontré en la fisiología un territorio virgen de gran fertilidad. Además, mi conocimiento de los procesos vitales me llevó a preguntas y puntos de vista que habitualmente son extraños a los matemáticos puros y a los físicos. Hasta entonces solamente había podido comparar mi habilidad matemática con la de mis compañeros de estudios y colegas médicos; el que en general yo fuese superior a ellos en este aspecto quizá no quería decir mucho. Además, las matemáticas fueron consideradas siempre en la escuela como un tema de importancia secundaria.

El éxito le llegó, efectivamente. En 1855, aceptó una cátedra de Anatomía y Fisiología en la Universidad de Bonn, y en 1858 una de Fisiología en Heidelberg. En 1871 se reconocían públicamente las contribuciones que había realizado a la física,

con una cátedra de Física en la Universidad de Berlín. Finalmente, en 1888 fue nombrado presidente del recién creado Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Instituto Imperial de Física Técnica), el primer Laboratorio Nacional creado en la historia, destinado a ocuparse de problemas relacionados con la investigación física que pudiesen favorecer el desarrollo industrial.

El caso de Helmholtz y, en general, el de la relación entre fisiología, medicina, química y física a lo largo del siglo XIX, muestra que aunque nos empeñemos en introducir divisiones, existe una unidad intrínseca en la historia, sin la cual difícilmente podremos comprender sus aspectos más interesantes. Así, el que durante el siglo XIX se produjese un avance espectacular en los saberes médicos se debe a que fue entonces cuando las ciencias físico-químicas pusieron a su disposición los instrumentos imprescindibles. «Pusieron a su disposición», o, mejor, «fueron creando simultáneamente», al menos en ocasiones. Esta última expresión es, efectivamente, más adecuada porque resalta la interdependencia entre saberes médicos y físico-químicos; los unos estimulaban a los otros, y viceversa. Tal fue la esencia y explicación de la razón de ser y existencia de la medicina científica, una medicina que encontró en Claude Bernard a su más conspicuo paladín.

Claude Bernard

En la actualidad, el nombre de Claude Bernard no representa mucho, o nada en absoluto, para la mayor parte de las personas, incluso las que han recibido una educación superior. No despierta en sus oídos ninguna sensación. Pero de él se podría decir lo mismo que Albert Einstein expresó en 1953 con relación a Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), al conmemorar el centenario del nacimiento de quien había sido su amigo y maestro reverenciado: «Hacia finales de siglo —manifestó entonces el creador de las teorías de la relatividad— los físicos teóricos de todos los países consideraban a H. A. Lorentz como el más destacado de todos ellos, y con toda razón. Los físicos de nuestra época no tienen, en general, plena conciencia del papel decisivo que jugó H. A. Lorentz en la estructuración de las ideas fundamentales de la física teórica. La razón de este extraño hecho es que las ideas básicas de Lorentz han llegado a ser tan familiares que resulta difícil advertir lo audaces que fueron y hasta qué punto han simplificado los fundamentos de la física».



Claude Bernard.

Claude Bernard fue, en efecto, uno de los fisiólogos más notables del siglo XIX. Especialmente dotado para la vivisección, se apoyó en ella en muchos de sus numerosos y variados descubrimientos, entre los que se cuentan la detección de la presencia en el proceso digestivo de una enzima del jugo gástrico, el descubrimiento del control nervioso de la secreción gástrica y su localización, o el papel de la bilis y del jugo pancreático en la digestión de las grasas. En la semblanza que en 1866 le dedicó Pasteur, este benefactor de la humanidad, al que volveré más adelante, escribió:

De todos los trabajos de Claude Bernard, uno de los más notables y dignos de ser estudiado consiste... en la admirable serie de investigaciones a las cuales ha sometido al hígado, el más voluminoso de todos los órganos glandulares, uno de los más constantes en la serie animal y el menos conocido en sus verdaderas funciones. Por su volumen, por la complejidad de su estructura, por la singularidad de sus relaciones con el aparato circulatorio, era difícil comprender que el hígado no tuviera otra función que la de segregar la bilis. Sin embargo, era la única que se le atribuía hasta las magníficas experiencias de Claude Bernard. Hoy sabemos que tiene por lo menos otra, la cual había quedado completamente ignorada por zoólogos y médicos, y que consiste en la producción de materia azucarada que las venas hepáticas vierten constantemente en el sistema circulatorio.

Mediante tentativas que sólo podía inspirar un método de investigación de los más fecundos, Claude Bernard ha puesto a plena luz el estrecho enlace existente entre la secreción del azúcar en el hígado y la influencia del sistema nervioso. Ha demostrado con rara sagacidad que, actuando sobre tal o cual parte determinada de este sistema, se podía suprimir o exagerar a voluntad la producción del azúcar. Ha hecho más aún: ha descubierto en el hígado la existencia de una materia completamente nueva, la cual es la fuente natural de este organismo para fabricar el azúcar que produce.

Bernard nació en 1813, en Saint-Julien, cerca de Villefranche, Beaujolais. En 1834 llegó a París, el centro neurálgico de la vida cultural y científica francesa, pero no con la intención de convertirse en científico, sino en escritor. Llevaba consigo un drama, *Arthur de Bretagne*. No tuvo, sin embargo, éxito y emprendió la carrera de medicina. En 1839, decidió optar a una de las plazas de interno que se ofrecían a los estudiantes; si se era admitido, tras superar un examen, había que servir en tal puesto durante cuatro años, sin poder graduarse como médico hasta que hubiesen transcurrido éstos. Bernard pasó el examen, aunque en un lugar que no presagiaba sus éxitos futuros: ocupó el número 26 de los 29 candidatos aceptados. El primer año sirvió en dos hospitales: en la Charité y en el Hôtel-Dieu con dos cirujanos, de cuyo nombre no es preciso acordarse. Pero el segundo año llegó su gran oportunidad: François Magendie en el Hôtel-Dieu. Magendie, del que ya he hablado, y al que calificué como uno de los fisiólogos más destacados de las primeras décadas del siglo XIX, reconoció las habilidades con las que Bernard preparaba muestras anatómicas después de las autopsias y le tomó como *préparateur* en su cátedra del Collège de France. Con Magendie aprendería todo lo que necesitaba para proseguir en su momento su propio camino como investigador.

Pero no es este el momento ni el lugar de detallar cuál fue ese camino, más allá de lo que ya he señalado con relación a algunas de sus aportaciones a la fisiología, y de algunos detalles más. Detalles como el que obtuvo, tras algún fracaso, su primera cátedra en 1854 —el mismo año en que fue admitido en la Académie des Sciences— en la Facultad de Ciencias de París, pasando a ocupar un año después la que dejó libre Magendie en el Collège de France. En esta institución el maestro que había en él floreció, al menos en lo que se refiere a algunos de los cursos que allí ofreció y que casi inmediatamente publicó. Cursos como: *Leçons de physiologie expérimentale* (1856), *Leçons sur les effets des substances toxiques et médicamenteuses* (1857), *Leçons sur la physiologie et la pathologie du système nerveux* (1858) o *Leçons sur les propriétés physiologiques et les altérations pathologiques des liquides de l'organisme* (1859).

En 1865, a causa de un proceso gastroenterítico que le obligó a guardar reposo, tuvo que abandonar París, trasladándose a la casa de Saint-Julien en la que había nacido. Allí compuso la obra que, a la postre, más fama le dio y que, claramente, me ha inspirado al seleccionar el título del presente capítulo: *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (*Introducción al estudio de la medicina experimental*), publicada en 1865. Consciente de la necesidad de sistematizar los procedimientos experimentales que, con una base físico-química, se empleaban con creciente intensidad en la medicina, hasta hacía poco mediatizada por la creencia en la existencia de una fuerza vital, Bernard deseaba escribir una obra ambiciosa y extensa que abarcara los principios de la medicina experimental. La *Introducción al estudio de la medicina experimental* era, simplemente, algo así como el «Prefacio» de aquella obra, de unos *Principes de médecine expérimentale* que permanecieron inacabados y que serían publicados, incompletos, póstumamente en 1947.



«La lección de Claude Bernard», cuadro pintado por Léon Augustin L'hermitte en 1889 (Palais de la Découverte, París).

Un «Prefacio» únicamente, pero un prefacio que se convirtió en un clásico de

la ciencia, que todavía hoy puede ser —yo me atrevo a decir que *debería ser*— leído con provecho. De él dijo el filósofo Henri Bergson (1859-1941): «Es para nosotros algo así como lo que fue para los siglos XVII y XVIII el *Discurso del método*», mientras que Pasteur lo calificó de «monumento en honor del método que ha constituido las ciencias físicas y químicas desde Galileo y Newton, y que Claude Bernard se esfuerza por introducir en la fisiología y en la patología. No se ha escrito nada más luminoso, más completo, más profundo sobre los verdaderos principios del difícil arte de la experimentación... La influencia que ejercerá sobre las ciencias médicas, sobre su enseñanza, su progreso, incluso sobre su lenguaje, será inmensa».

Resumir el contenido de la *Introducción* sería una tarea demasiado extensa. Me limitaré a unos breves comentarios, referentes al método que propugnaba y no a los ejemplos concretos a los que recurría para ilustrarlo, aun a sabiendas que de esta manera se pierde mucho de la enorme riqueza de esta obra. Tenemos, en primer lugar que la visión que Bernard propugnaba era respetuosa con la estructura tradicional de los saberes médicos, aunque él le diese nueva vida: «Para abrazar el problema médico por completo —escribía—, la medicina experimental debe abrazar tres partes fundamentales: la fisiología, la patología y la terapéutica. El conocimiento de las causas de los fenómenos de la vida en el estado normal, la *fisiología*, nos enseñará a sostener las condiciones normales de la vida; es decir, *a conservar la salud*. El conocimiento de las enfermedades y de las causas que las determinan, la *patología*, nos conducirá por una parte a precaver el desarrollo de estas condiciones morbosas, y por otra a combatir los efectos por medio de los agentes medicamentosos; es decir, *a curar las enfermedades*». Durante mucho tiempo —«el período empírico de la medicina» lo denominaba—, «que sin duda durará aún largo tiempo», añadía, fisiología, patología y terapéutica habían podido marchar por separado, pero, continuaba, «en la concepción de la medicina científica esto no puede tener lugar: su base debe ser la fisiología. No estableciéndose la ciencia sino por vía de comparación, no podía obtenerse el conocimiento del estado patológico o anormal sin el conocimiento del estado normal, así como la acción terapéutica sobre el organismo de los agentes anormales o medicamentosos no podría comprenderse sin el estudio previo de la acción fisiológica de los agentes normales que mantienen los fenómenos de la vida».

Pero esos fenómenos propios de la vida no se distinguían de los inanimados. Y así, en el capítulo primero de la «Segunda parte» («De la experimentación en los seres vivos») declaraba:

Me propongo... establecer que la ciencia de los fenómenos de la vida no puede tener otras bases que la ciencia de los fenómenos de los cuerpos brutos, y que

no hay bajo este concepto ninguna diferencia entre los principios de las ciencias biológicas y los de las ciencias físico-químicas. En efecto ... el objeto que se propone el método experimental es el mismo en todas ellas: consiste en relacionar mediante el experimento los fenómenos naturales a sus condiciones de existencia o a sus causas próximas. Siendo conocidas estas condiciones en biología, el fisiólogo podrá dirigir la manifestación de los fenómenos de la vida como el físico y el químico dirigen los fenómenos naturales cuyas leyes han descubierto...

Existe únicamente un determinismo absoluto en todas las ciencias, puesto que cada fenómeno está encadenado de una manera necesaria a las condiciones físico-químicas, puede el científico modificarlas para controlar el fenómeno. No hay objeción alguna respecto a los cuerpos brutos. Quiero probar que esto ocurre también en los cuerpos vivos y que para ellos existe igualmente determinismo.

Habida cuenta de estas ideas, es natural que en otro lugar Bernard escribiera: «Yo considero el hospital sólo como el vestíbulo de la medicina científica, como el primer campo de observación en que debe entrar el médico; pero el verdadero santuario de la medicina científica es el laboratorio».

Como también es natural —al fin y al cabo, a veces la sociedad es justa— que recibiese numerosos honores durante su vida, incluyendo la Legión de Honor. Cuando murió, el 11 de febrero de 1878, la Cámara de Diputados votó que se le ofreciese un funeral de Estado, el primer científico a quien Francia concedió semejante honor.

Otros mundos en la medicina del siglo XIX: la teoría celular

Hasta ahora me he centrado en la fisiología como exponente más caracterizado de la medicina científica del siglo XIX. Constituiría, no obstante, una grave limitación olvidarse de otros apartados médicos que también se abrieron con especial provecho a análisis netamente científicos. Y es que el Ochocientos fue una era dorada de la medicina, una auténtica Edad de Oro. Nunca hasta entonces se había avanzado en el conocimiento de los procesos a cuyo estudio y tratamiento se dedica esa ciencia/arte de manera ya no digo comparable, sino siquiera próxima a como se hizo en aquel siglo. Más aún, un cambio cualitativo similar, en cuanto a novedad y ruptura con la situación anterior, no volvería a tener lugar en la medicina hasta hace muy poco, hasta el desarrollo de la biología molecular que se inició en la segunda mitad del siglo XX y, muy especialmente, como señalaré en el

último capítulo, hasta después de la introducción de las técnicas de ADN recombinante en los alrededores de 1970. Lo que no quiere decir, por supuesto, que la medicina no cambiase hasta entonces. Cambió, y mucho, con la constante introducción de mejores instrumentos y técnicas experimentales, procedentes de la física y de la química.

Entre los «otros mundos» científicos de la medicina del siglo XIX quiero referirme en primer lugar a aquellos relativos al conocimiento de la estructura microscópica de los seres vivos. Comenzando por el desarrollo de la teoría celular, un desarrollo que fue para las ciencias de la vida lo que la teoría atómica fue para la física y la química (es curioso constatar que también fue en el siglo XIX, en su libro de 1808-1827, *A New System of Chemical Philosophy* [Un nuevo sistema de filosofía química], cuando John Dalton [1766-1844] propuso que todos los cuerpos están constituidos por unas partículas de dimensiones muy reducidas, llamadas átomos, de diferentes pesos, que determinaban su identidad —idea de la que dedujo resultados tan importantes para la química como la ley de las proporciones múltiples—, con lo que inauguró la era del atomismo moderno).

La misma expresión, «estructura microscópica», que acabo de utilizar muestra bien a las claras que los avances realizados dependieron del microscopio. Naturalmente, se puede pensar —recordando, por ejemplo, la *Micrographia* (1665) de Robert Hooke, o la *Arcana naturae* (1695), que contenía una serie de cartas que el célebre microscopista holandés Anton Van Leeuwenhoek (1632-1723) dirigió a la Royal Society y a algunos de sus miembros, en las que explicaba e ilustraba sus observaciones microscópicas de muestras biológicas, zoológicas al igual que de otro tipo— que el microscopio no era precisamente un instrumento nuevo. Sí lo eran, sin embargo, los microscopios provistos de lentes acromáticas, con los que fue posible contemplar un mundo nuevo.



John Dalton, retrato pintado en 1814.

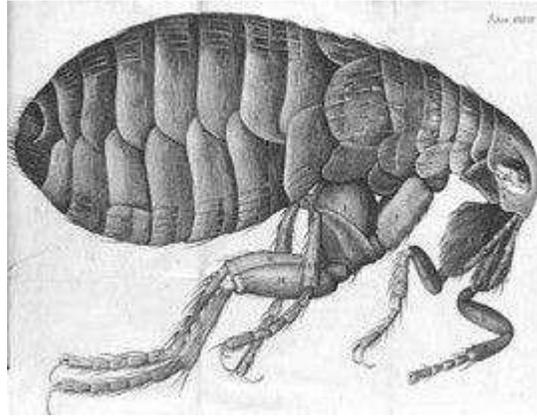


Lámina de la *Micrographia* (1665) de Robert Hooke, con el dibujo de una pulga.

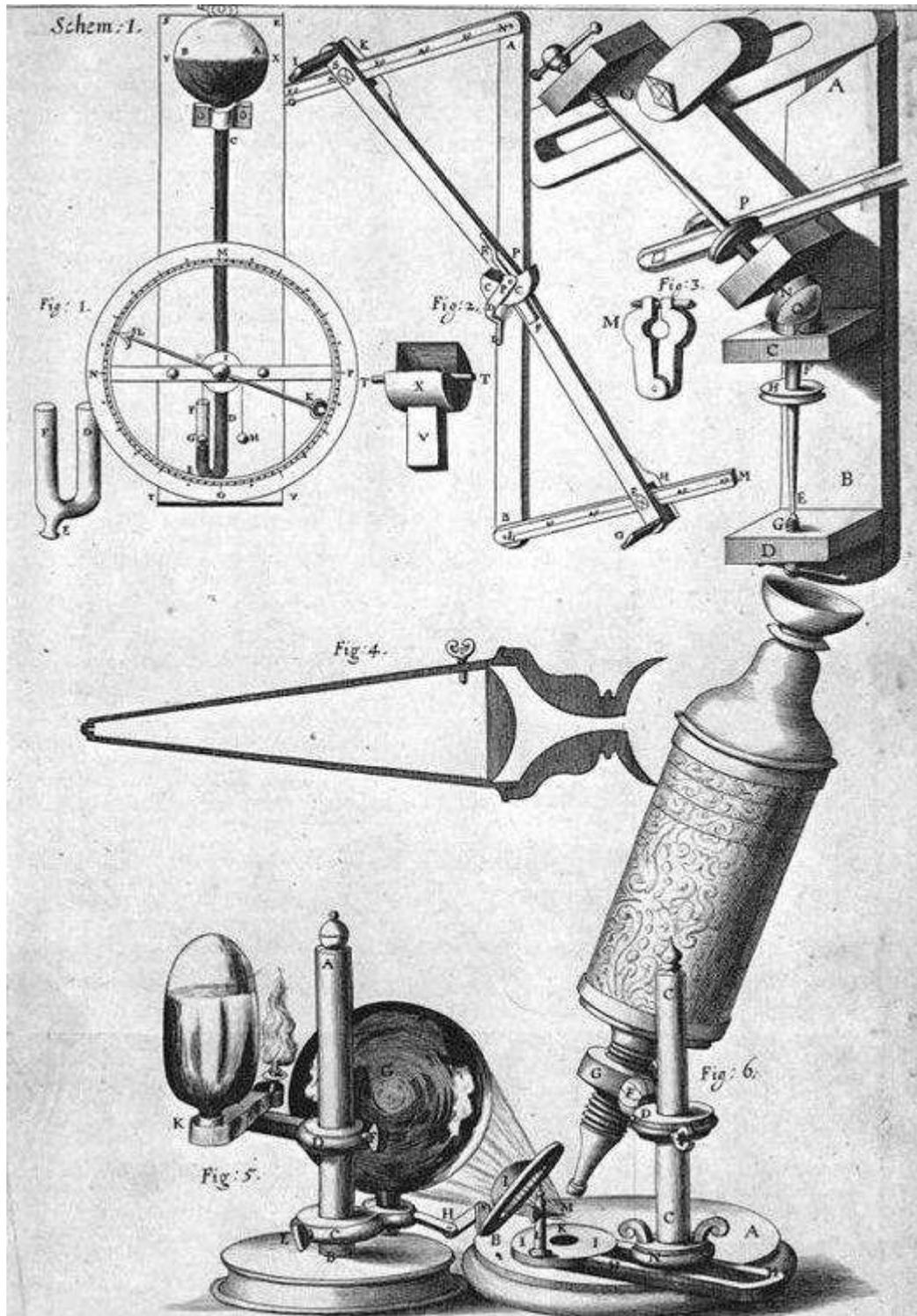
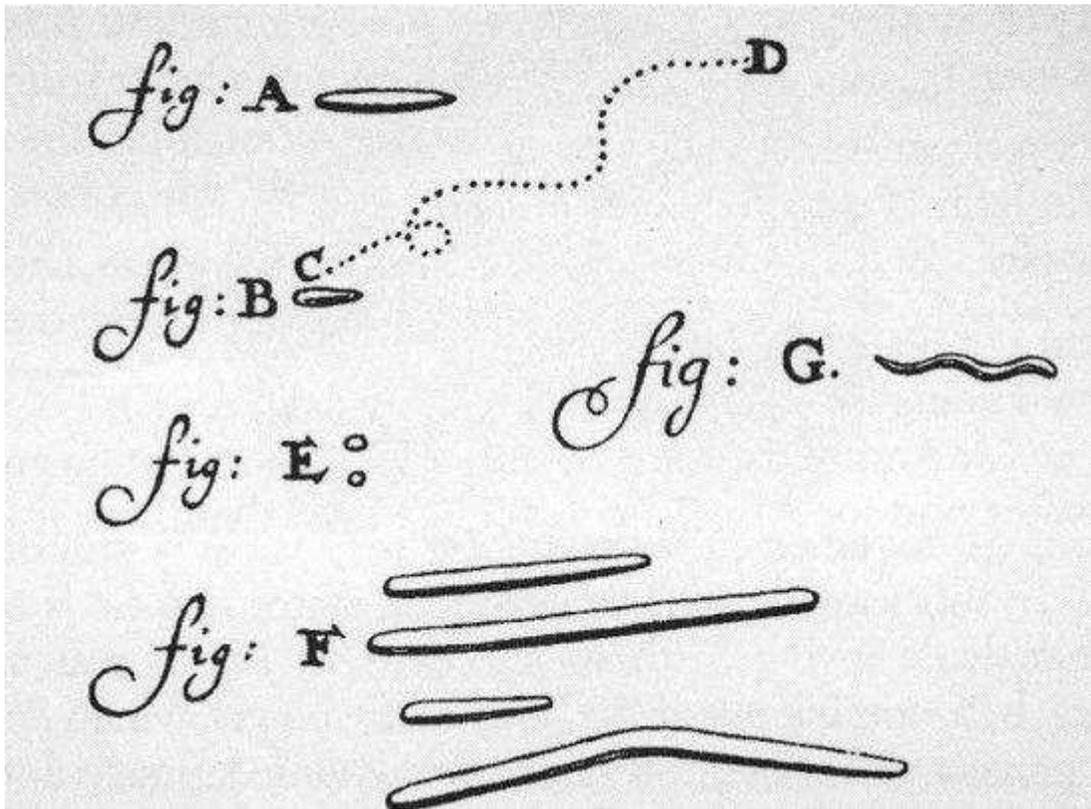


Lámina de la *Micrographia* (1665) de Robert Hooke.



Dibujo de Anton Van Leeuwenhoek sobre «animáculos» (bacterias) de la boca.



Anton Van Leeuwenhoek según un grabado de Abraham de Blois (después Jan Verkolje), incluido en su libro *Anatomia et contemplatio nonnullorum naturae invisibilium secretorum comprehensorum epistolis* (Leiden, 1685).

Los pioneros en la exploración de ese mundo fueron sobre todo discípulos de Johannes Müller. El primero que hay que mencionar en este sentido es Theodor Schwann, que en una monografía significativamente titulada *Mikroskopische untersuchungen über die übereinstimmung in der struktur und dem wachsthum der thiere und pflanzen* (*Investigaciones microscópicas sobre la coincidencia de los animales y las plantas en la estructura y el crecimiento*), de 1839, y apoyándose en trabajos anteriores de botánicos, zoólogos y médicos, sostenía que la célula es la unidad elemental de la estructura y de la formación de todos los seres vivos. Sin embargo, las ideas de Schwann sobre la célula adolecían de graves limitaciones (comparaba, por ejemplo, la formación de las células —la citogenénesis— con una especie de cristalización en torno al núcleo). La gran figura en este dominio fue, indudablemente, el patólogo Rudolph Virchow, también, como ya vimos, discípulo de Müller. Aunque sólo fuese por otros de sus descubrimientos (la leucemia, la mielina, sus estudios experimentales sobre la trombosis, flebitis o triquinosis, entre otros muchos), ya merecería ser recordado —en su tiempo fue considerado algo así como un «Papa» de la medicina—, pero lo que a mí me concierne en la presente ocasión es recordar

algunas de sus ideas sobre la célula (corrigió, aunque no me detendré en este punto, las equivocaciones de Schwann sobre la citogénesis celular). Para ello voy a citar de su gran obra, *Die Cellularpathologie (Patología celular)* de 1858. Nadie antes de Virchow había defendido con tanta fuerza, y apoyándose en todo tipo de hechos, el papel central de la unidad celular en la vida. «Al igual que un árbol constituye una masa dispuesta de una manera definida —escribió en su libro—, en la que, en todas sus distintas partes, en las hojas al igual que en las raíces, en el tronco al igual que en los brotes, se descubre que las células son los elementos últimos, así ocurre con todas las formas de vida animal. *Todo animal se presenta como una suma de unidades vitales*, cada una de ellas manifestando todas las características de la vida. Las características y unidad de la vida no se pueden limitar a ningún lugar particular de un organismo altamente organizado (por ejemplo, el cerebro del hombre), sino que se encuentran solamente en la definida, constantemente recurrente, estructura que todo elemento individual manifiesta.» Las células podían aparecer en muy diversas formas, según los tejidos en los que se encontrasen, pero ello no alteraba, sino, todo lo contrario, reforzaba, el papel central que desempeñaban: «Para nosotros —leemos también en la *Patología celular*— es esencial saber que en los más variados tejidos estos constituyentes, que, de alguna manera, representan la célula en su forma abstracta, el núcleo y la membrana, se repiten con gran constancia y que mediante su combinación se obtiene un elemento simple, que, a través de una serie completa de vegetales vivos y formas animales, por muy diferentes que estos sean externamente, por mucho que cambie su composición interna, se nos presenta con una estructura de forma peculiar, como una base definida para todos los fenómenos de la vida».

Por último, quiero señalar que, como patólogo que era, Virchow no podía dejar de destacar el valor que la célula tenía para el análisis de enfermedades: «Considero necesario relacionar hechos patológicos con su origen en elementos histológicos conocidos».

Precisamente, los dos últimos hechos señalados, la variedad y constancia en la presencia de células en los organismos vivos y la necesidad y utilidad de relacionar unidades microscópicas —las células muy preferentemente, en tanto que desempeñaban un papel central, omnipresente, en la vida— con enfermedades, me sirven para abordar los últimos puntos que quiero tratar en este capítulo.

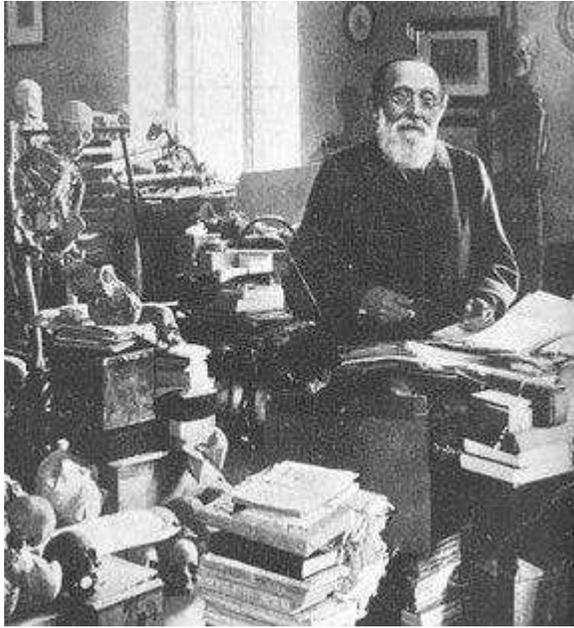
El sistema celular nervioso: Cajal y la neurona

Un avance de extraordinaria importancia realizado dentro del ámbito de la teoría celular fue la identificación de la neurona como unidad discreta, celular, básica del sistema nervioso, logro debido a Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), el científico de talla más universal que ha producido hasta la fecha España, un auténtico gigante de la ciencia de todos los tiempos. Y no es este un juicio chauvinista. En una carta que escribió a Cajal el 23 de marzo de 1921, Cornelius Ubbo Ariëns Kappers (1877-1946), director del Instituto de Neurología de la Real Academia Holandesa de Ciencias y catedrático de Neuroanatomía comparada de la Universidad de Amsterdam, expresaba con nitidez lo que sus contemporáneos pensaban de él:

Le estoy agradecido... por haberme enviado la admirable colección de sus «Trabajos».

No, no me falta ningún volumen y estoy muy orgulloso de que mi Instituto los haya recibido de usted mismo, el más grande neurólogo que ha existido y que probablemente jamás existirá.

Cuando se repasa la *Patología celular* de Virchow, se encuentra, por supuesto, un capítulo (el XII) dedicado al sistema nervioso, pero el detalle de su estructura se le escapó, como a tantos otros, al patólogo de Berlín. Mejor suerte tuvo Cajal, tan genial como tenaz, que nos aportó el que todavía es modelo vigente de la estructura del sistema nervioso y los mecanismos básicos de su funcionamiento; en concreto la identificación de la neurona, la célula nerviosa que transmite información rápidamente entre partes diferentes del cerebro (estrictamente, una neurona consta de un cuerpo celular con el núcleo, y prolongaciones llamadas dendritas que reciben los mensajes; una extensión de la célula, el axón, conecta una neurona a las dendritas de otra; cuando una neurona es estimulada, ondas de iones de sodio y de potasio transportan un impulso eléctrico a través del axón).



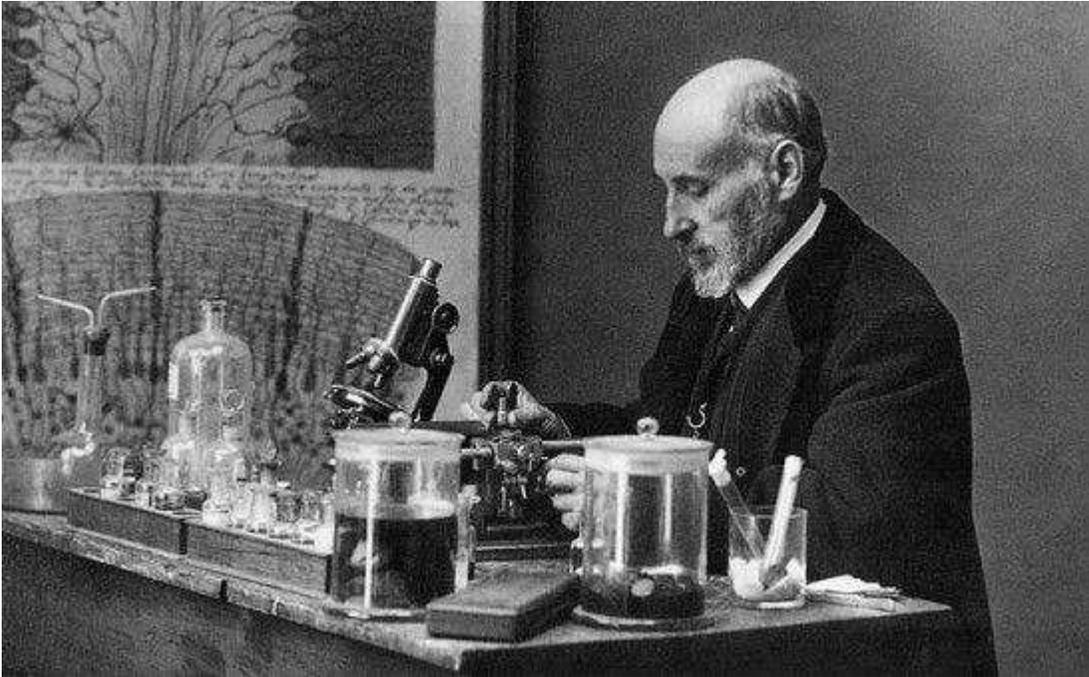
Rudolf Virchow fotografiado en su estudio.

Fue Cajal un hombre extraordinario, que buscó siempre elevarse por encima de las miserias y limitaciones que le rodearon. «Estoy asqueado de la vida vulgar. Me devora la sed insaciable de libertad y de emociones novísimas», manifestaba —lo recordó en el capítulo XXII de la primera parte de su autobiografía (*Mi infancia y juventud*, 1901)— a uno de sus compañeros de la carrera de Medicina dos años antes de convertirse en médico militar en Cuba (ingresó en el Cuerpo de Sanidad Militar el 31 de agosto de 1873). Una frase esta que ayuda a comprender lo que fue su vida; sus aventuras de niño, su constante rebelión ante los deseos e imposiciones paternas, la vehemencia con la que se dedicó, en algunas épocas de su vida, a la gimnasia, a la pintura, al ajedrez o a la fotografía. Y, por supuesto, a la investigación científica, fuente permanente —si se dispone de la energía y originalidad suficientes— de novedad, de «emociones novísimas». En pocos lugares, en pocas profesiones y actividades que no fueran la ciencia, si es que había en alguna, podría haber encontrado Cajal, en la España que le tocó vivir, la oportunidad de satisfacer su ansia de nuevas emociones.

Pero el genio —si es que está ahí, latente; ¡quién sabe lo que es realmente el «genio», ni siquiera qué es la inteligencia!— necesita hacerse, disponer de una serie de elementos. Así, es muy difícil, sino imposible, abrirse camino sin algún maestro,

por modesto que éste sea. En el caso de Cajal, esos maestros fueron Aureliano Maestre de San Juan (1828-1890), que le inició en los estudios micrográficos, y Luis Simarro (1851-1921), que le enseñó el método de la impregnación cromo-argéntica. El que existiesen esos maestros, el que hubiese una tradición en una nación científicamente subdesarrollada como lo era entonces España, tiene que ver con la naturaleza de las ciencias biomédicas: un país puede vivir —malamente, desde luego— al margen de la física, de la matemática o la química, pero no de la medicina.

Asimismo, en una ciencia experimental como es la medicina, se necesitan —ya nos ha aparecido más de una vez este punto— instrumentos. En el caso de la estructura celular, microscopios poderosos, para intentar ver lo que otros no habían visto. Cajal fue pronto consciente de este problema: en una carta que escribió el 1 de enero de 1885 al jesuita Antonio Vicente Dolz (1837-1902), uno de sus primeros discípulos en Valencia, que entonces se encontraba en Lovaina, ampliando estudios junto al citólogo Jean Baptiste Carnoy (1836-1899), se refería a él, que era también uno de los grandes problemas de la ciencia española: «¡Ah! ¡Quién tuviera esos magníficos objetivos a que Flemming, Strassburger y Carnoy deben sus descubrimientos! ¡Quién pudiera poseer un Seibert 1/6 o un Zeiss 1/18! Aquí desgraciadamente las facultades no tienen material y, aunque yo me empeñara en pedir uno de esos objetivos, no me lo permitiría el decano por falta de fondos. Mucho envidio más aún esa riqueza de medios técnicos de que ustedes gozan, con la que se hace cuanto se quiere. Yo tengo que resignarme con un objetivo 8 de inmersión Verick y éste gracias a que es de mi propiedad [se lo había comprado en 1877], que por la Facultad no tendría más que un 5 o 6 Nacet».



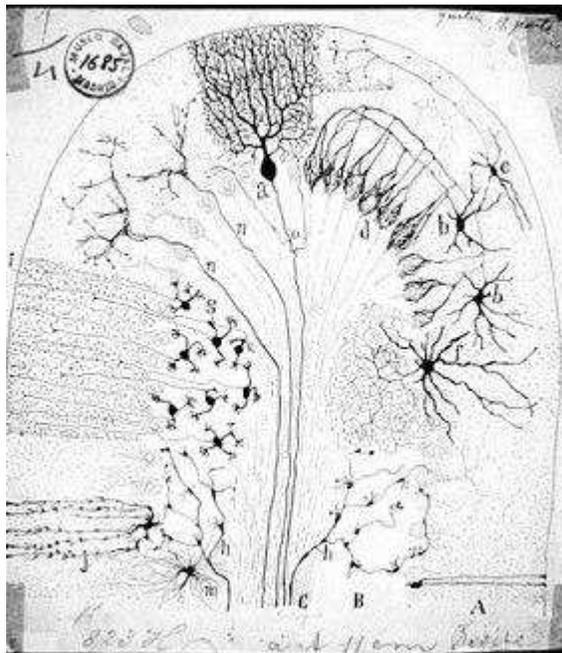
Santiago Ramón y Cajal (fotografía de Alfonso, Archivo General de la Administración, Alcalá de Henares).

Aquel mismo año, Cajal se libró de semejante desventaja, ya que la Diputación de Zaragoza le regaló un Zeiss por el informe que preparó sobre la epidemia de cólera y el método de vacunación de Jaime Ferran (1851-1929). «Al recibir aquel impensado obsequio, no cabía en mí de satisfacción y alegría —escribió en *Historia de mi labor científica*, la segunda parte de su autobiografía, publicada en 1917—, gracias a tan espiritual agasajo, la culta Corporación aragonesa cooperó eficazísimamente a mi futura labor científica, pues me equiparó técnicamente con los micrógrafos extranjeros mejor instalados, permitiéndome abordar, sin recelos y con la debida eficiencia, los delicados problemas de la estructura de las células y del mecanismo de su multiplicación.»

Fue afortunado Cajal en que en aquella época fuese posible hacer avanzar su disciplina recurriendo únicamente a aquel instrumento. Sería inalcanzable para su economía o para los escasos recursos disponibles para la investigación de los profesores de la Universidad de Valencia, pero aun así su precio no era tan elevado como para que una institución pública no pudiese mostrar con él su generosidad

con un particular. En la actualidad, cuando los instrumentos que se requieren son mucho más complicados y onerosos (como, por ejemplo, los microscopios electrónicos o los gigantescos aceleradores de partículas y telescopios), tal generosidad no habría sido posible.

El mismo hecho que dio origen a aquel regalo es propicio para otra consideración. La de que Cajal, el científico hispano por antonomasia, el descubridor de nuevos universos naturales, en principio alejados de las aplicaciones prácticas, no fue ajeno al mundo más cotidiano, aquel en el que se mueven, nos movemos, los humanos. Cuando pudo o se le requirió, puso su saber científico a disposición de aquel mundo. Algunos insistirán en que la palabra adecuada en este caso es «aplicó» su saber, pero aun siendo correcta tal designación, conduce a engaño, porque tiende a hacer pensar que sólo la sociedad, y no la ciencia, recibe beneficios de semejante relación. Y eso no es cierto, o no es siempre cierto. Para progresar, la ciencia necesita confrontarse con frecuencia, acaso constantemente, con el entorno, con el mundo real, el que afecta a todas las personas y no únicamente a los científicos. Y al responder positivamente al requerimiento zaragozano, al poner su saber a su disposición, Cajal se fue haciendo un científico mejor. El que, además, recibiese como premio un excelente microscopio, es, desde este punto de vista, una anécdota, por mucho que fuese decisiva en su carrera.



Dibujo original de Cajal mostrando una laminilla cerebelosa y otros tipos de células nerviosas. Estas observaciones (realizadas en 1888) le resultaron particularmente importantes para demostrar la individualidad de las células nerviosas.

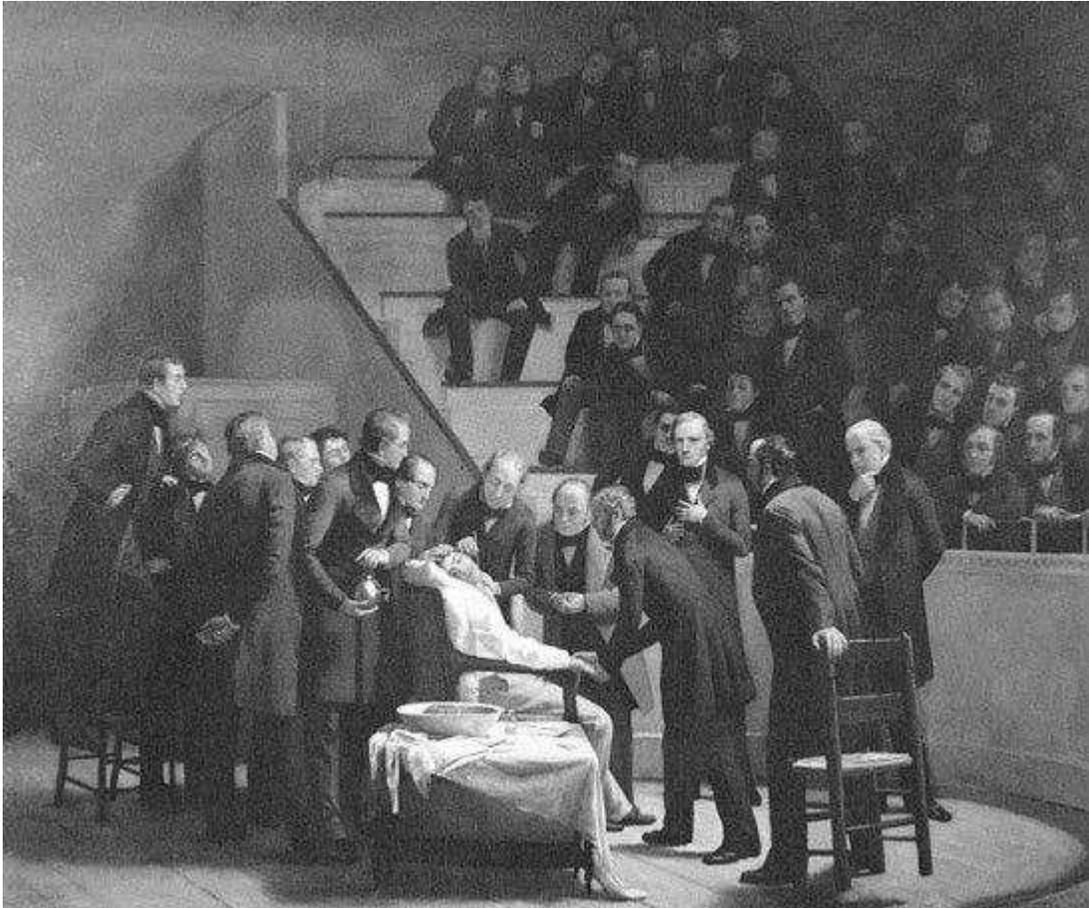
Evidentemente, los instrumentos no hablan por sí solos: el científico es algo más que el notario de un instrumento. Sin olvidar que, como dijo un filósofo: «hay más de lo que ve el ojo». Aplicado esto al caso de sus descubrimientos, quiere decir que no eran tan fáciles de «ver» por otros y, en consecuencia, de aceptar, por mucho que su entrada oficial en el mundo científico internacional viniese de la mano del gran Rudolf Albert von Kölliker (1817-1905), catedrático de Anatomía humana y director de los Institutos Anatómicos de la Universidad de Wurzburg, quien reconoció el valor de los trabajos cajalinos en el Congreso Anatómico celebrado en Berlín en octubre de 1889.

El propio Cajal se daba perfecta cuenta de la dificultad asociada a sus trabajos (por eso eran tan importantes y novedosos). A Gustaf Retzius (1842-1919), el gran investigador sueco, que renunció a la cátedra de Anatomía del Karolinska Institutet para dedicarse exclusivamente a la investigación, le confesaba el 28 de enero de 1900: «La estructura cerebral humana es de una complicación enorme, mucho más grande de lo que el examen del cerebro de los mamíferos nos había hecho presumir. Y lo más grave de todo es que el cerebro adulto no permite teñir ninguna arborización nerviosa terminal (el cromato de plata o el método de Cox sólo impregnan dendritas y axones, no ramas nerviosas terminales). Aun en el niño de un mes es raro hallar arborizaciones procedentes de fibras de la sustancia blanca. No hay pues más remedio que combinar los resultados obtenidos en fetos (donde se ven particularmente los plexos sensoriales) con los logrados en el niño y en el adulto, aunque se corre el riesgo de tomar por definitivas no pocas disposiciones que deben cambiar mucho con la salud».

El descubrimiento de la estructura del sistema nervioso, según Cajal (*Historia de mi labor científica*, 1917): Y llegó el año 1888, mi año *cumbre*, mi año de fortuna.

Porque durante este año, que levanta mi memoria con arreboles de aurora, surgieron al fin aquellos descubrimientos interesantes, ansiosamente esperados y apetecidos. Sin ellos habría yo vegetado tristemente en una Universidad provinciana, sin pasar, en el orden científico, de la categoría de jornalero detallista, más o menos estimable. Por ellos llegué a sentir el acre halago de la celebridad, mi humilde apellido, pronunciado a la manera alemana (Cayal), traspasó las fronteras,

en fin, mis ideas, divulgadas entre los sabios, discutiéronse con calor. Desde entonces el tajo de la ciencia contó con un obrero más. ¿Cómo fue ello? Perdonará el lector si, a un acontecimiento tan decisivo para mi carrera, consagro aquí algunas noticias y amplificaciones. Declaro desde luego que la *nueva verdad*, laboriosamente buscada y tan esquiva durante dos años de varios tanteos, surgió de repente en mi espíritu como una revelación. Las leyes que rigen la morfología y las conexiones de las células nerviosas en la sustancia gris, patentes primeramente en mis estudios del cerebelo, confirmáronse en todos los órganos sucesivamente explorados. Séame lícito formularlas desde luego: 1.º Las ramificaciones colaterales y terminal es de todo cilindro del eje acaban en la sustancia gris, no mediante red difusa, según defendían Gerlach y Golgi con la mayoría de los neurólogos, sino mediante arborizaciones libres, dispuestas en variedad de formas (*cestas* o *nidos* pericelulares, ramas trepadoras, etc.). 2.º Estas ramificaciones se aplican íntimamente al cuerpo y dendritas de las células nerviosas, estableciéndose un contacto o articulación entre el protoplasma receptor y los últimos ramúsculos axónicos. De las referidas leyes anatómicas despréndense dos corolarios fisiológicos: 3.º Puesto que el cuerpo y dendritas de las neuronas se aplican estrechamente a las últimas raicillas de los cilindros-ejes, es preciso admitir que el soma y las expansiones protoplásmicas participan en la cadena de conducción, es decir, que reciben y propagan el impulso nervioso, contrariamente a la opinión de Golgi, para quien dichos segmentos celulares desempeñarían un papel meramente nutritivo. 4.º Excluida la continuidad substancial entre célula y célula, se impone la opinión de que el impulso nervioso se transmite por contacto, como en las articulaciones de los conductores eléctricos, o por una suerte de inducción, como en los carretes de igual nombre. Las referidas leyes, puro resultado inductivo del análisis estructural del cerebelo, fueron confirmadas después en todos los órganos nerviosos explorados (retina, bulbo olfatorio, ganglios sensitivos y simpáticos, cerebro, médula espinal, bulbo raquídeo, etc.). Ulteriores trabajos nuestros y ajenos (de Kölliker, Retzius, Van Gehuchten, His, Etinger, V. Lenhossék, Athias, Lugaro, P. Ramón, Cl. Sala, etc.) revelaron que las referidas normas estructurales y fisiológicas se aplicaban también, sin violencia, al sistema nervioso de vertebrados e invertebrados. Según ocurre con todas las concepciones legítimas, la mía fue consolidándose y ganando progresivamente en dignidad conforme se acrecía el círculo de la exploración comprobatoria.



Primera demostración pública con éxito de la anestesia quirúrgica, llevada a cabo el 16 de octubre en el Hospital General de Massachusetts. Cuadro de Robert Hinckley (1882).

La mano salvadora: antisépticos

Aportaciones como las de Virchow y Cajal dieron lugar a una imagen más correcta del cuerpo humano, de la vida, pero el siglo XIX no debe ser recordado únicamente por este tipo de avances. Es imprescindible también rememorarlos por los logros realizados en la mejora de la salud pública. Muchos de esos logros se debieron a reformas en las condiciones de vida (como el control de la calidad del agua y los alimentos, sistemas de alcantarillado o limpieza de letrinas, calles y

acequias). Sin embargo, otros, extremadamente importantes, se produjeron dentro de la propia medicina, pero de la «medicina no demasiado científica», podríamos decir. Avances como los llevados a cabo por el dentista estadounidense Horace Wells (1815-1848), que en diciembre de 1844 utilizó éter, esto es, óxido nitroso (entonces denominado «gas hilarante», por los efectos estimulantes que producía), como anestésico para extraerse él mismo una de sus muelas; el debido a John Collins Warren (1778-1856), ayudado como anestesista por el dentista William Thomas Morton (1819-1868), que el 16 de octubre de 1846, en el Hospital General de Massachusetts de Boston, realizó la primera operación con éter, tras la cual pronunció una frase célebre: «Señores, esto no es superchería»; el de James Young Simpson (1811-1870), que el 19 de enero de 1847 utilizó, en Edimburgo, por primera vez cloroformo para aliviar los dolores de un parto; o el de Ignaz Semmelweis (1818-1865), que en 1848 descubrió una de las causas de la infección de las heridas en la suciedad de las manos de los médicos, introduciendo medidas antisépticas (como el simple lavado de manos).

Todo esto estuvo muy bien, fue, de hecho, una bendición; ahora bien, no era suficiente: las muertes en los quirófanos continuaban proliferando, consecuencia del hecho de que todavía se desconocía por qué aquellas medidas antisépticas resultaban tan beneficiosas. Persistía un grave problema tanto sanitario como científico. Y es que ni la ciencia puede avanzar permanentemente —seguramente, a partir de un cierto estadio, ni siquiera durante demasiado tiempo— mediante el simple procedimiento de «prueba y error», como si los objetos de su interés fuesen misteriosas cajas negras, ni la medicina progresa realmente en manos de entusiastas y aventureros desprovistos de conocimientos científicos, ajenos a la medicina como la ciencia experimental que defendía Bernard. Y en este punto dos nombres destacan por encima de todos, dos nombres que sin duda merecen el título que con frecuencia se les ha otorgado, el de «benefactores de la humanidad»: Louis Pasteur (1822-1895) y Robert Koch (1843-1910), los fundadores de la bacteriología, los científicos que descubrieron el origen microbiano de los procesos infecto-contagiosos. Volveré a Pasteur y Koch, pero antes, para concluir con el tema de los procedimientos asépticos, es obligado referirse al médico inglés Joseph Lister (1827-1912).

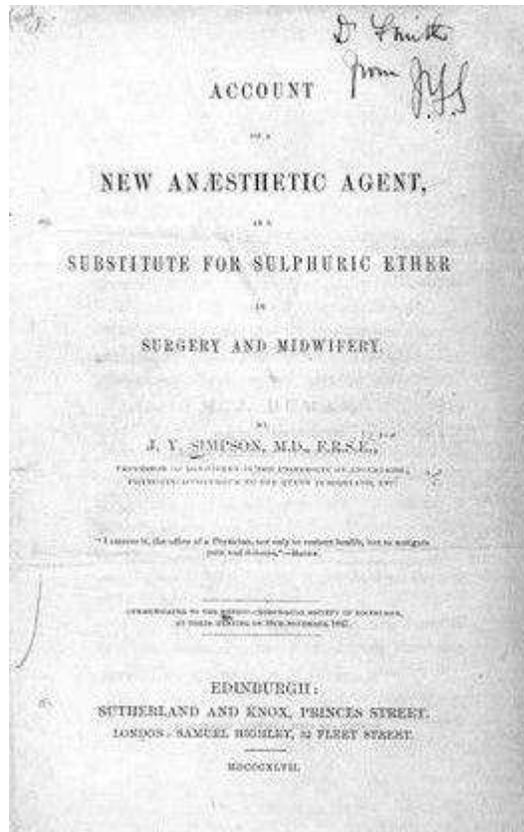


James Young Simpson.

Conocedor de los estudios que Pasteur llevó a cabo durante la primera mitad de la década de 1860 sobre la fermentación y de su descubrimiento de que el aire puede transportar bacterias que producen infecciones en heridas, pero no disponibles todavía los de Koch sobre el papel de las bacterias como fuente de infección en las heridas, Lister convirtió la gangrena de los miembros en el primer ejemplo de fermentación patológica en los humanos, estableciendo así un vínculo entre la putrefacción de la carne necrosada y los gérmenes externos descubiertos por el francés. Provisto de ese poderoso y liberador instrumento que es siempre el conocimiento, Lister encontró un eficaz remedio contra la gangrena: experimentó con éxito con ácido fénico, pulverizándolo en la sala de operaciones y aplicando curas de pomada fenicada, con el fin de destruir los microorganismos que infectaban el campo operatorio (su primer gran logro tuvo lugar en agosto de 1865, en la operación de una fractura compuesta). Poco después, en 1866, Ernst von Bergmann (1836-1907) empleó por primera vez la técnica de Lister, esterilizando

con vapor los guantes y ropas del cirujano al igual que las de sus ayudantes y los instrumentos empleados.

El dominio de Lister fue sobre todo el hospital y no el laboratorio científico propiamente dicho (sus aportaciones a la naturaleza de los procesos contagiosos no fueron grandes, desde el punto de vista de la ciencia básica —en la medida en que tenga sentido aquí este término—). Aun así, cuando se leen algunos de sus escritos, queda claro que el lenguaje, preocupaciones y estudios de Lister distan de los procedimientos seguidos por los Wells, Morton, Simpson y compañía. «En el curso de una amplia investigación acerca de la inflamación y de los estados normales y patológicos de la sangre con ella relacionados —podemos leer justo al comienzo de uno de esos escritos (*On the Antiseptic Principle of the Practice of Surgery* [*Sobre el principio antiséptico de la práctica de la cirugía*]; 1867)—, llegué, hace varios años, a la conclusión de que la causa fundamental de la supuración de las heridas es la descomposición producida por la influencia de la atmósfera en la sangre o suero que retiene, y en el caso de las heridas contusas, en las porciones de tejido destruidas por la agresión.» Y más adelante, en una frase que difícilmente habría sido escrita antes de que se hubiesen desarrollado las técnicas de análisis microscópico y las ideas que surgieron de ellas: «El primer objetivo del tratamiento ha de ser la destrucción de todos los gérmenes sépticos que hayan podido penetrar en la herida, tanto en el momento del accidente como durante el tiempo transcurrido desde entonces».



Portada de *Account of a New Anaesthetic Agent, as a substitute for sulphuric ether in surgery and midwifery* (1847), de James Young Simpson, dedicado por él.



Joseph Lister.

Pero, fuesen o no importantes sus aportaciones «científicas», le consideremos o no un científico, sería imposible minimizar su contribución, al igual que la de sus precursores que he mencionado. Baste recordar que antes de ellos, entrar en un quirófano era en un gran porcentaje de casos casi despedirse de la vida. Tras aquellos pioneros, dentistas o cirujanos, la mortalidad operatoria, que antes de ellos se cifraba en torno al 50 por 100, descendió a un 6 por 100. Mucho para nuestros estándares actuales, prácticamente nada para lo que nuestros antepasados estaban acostumbrados. Sin olvidar que los que sobrevivían habían tenido que soportar horribles carnicerías, a las que los anestésicos pusieron también fin.

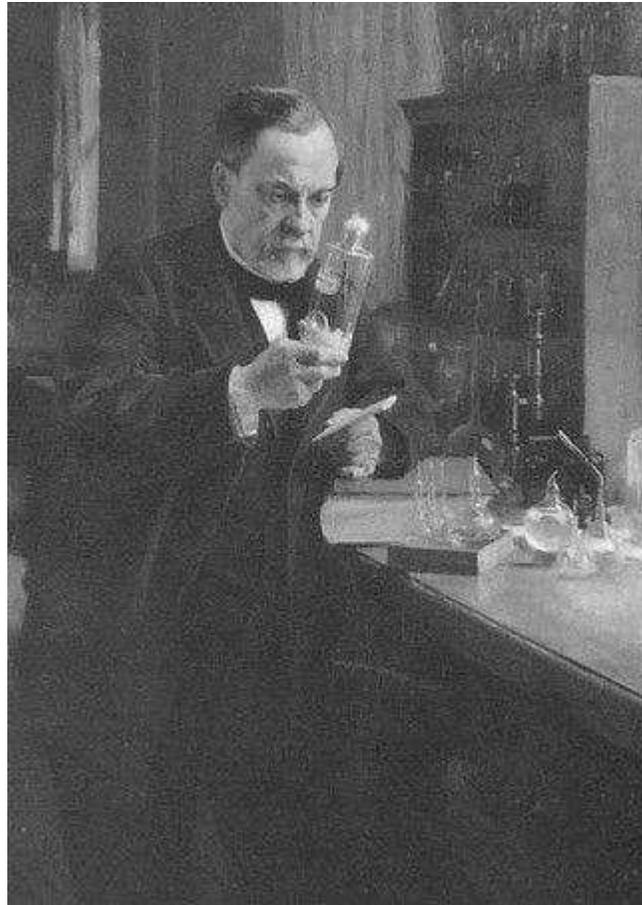
Louis Pasteur

Louis Pasteur es uno de los grandes nombres de la historia no ya de la ciencia únicamente, sino de la humanidad. Merece, por tanto, la pena recordar algunos detalles de su biografía.

Natural de Dole, en el denominado Franco Condado, e hijo de un curtidor, tras estudiar en el Collège Royal de Besançon, en donde obtuvo el grado de bachiller en letras (1840) y en ciencias (1842), Pasteur fue admitido (en 1843) en la sección científica de la École Normale Supérieure, completando sus estudios en 1845. Dos años más tarde logró el grado de doctor por la Universidad de París, con una tesis dividida en dos partes, una de química y otra de física, la primera titulada *Recherches sur la capacité de saturation de l'acide arsénieux. Étude des arsénites de potasse, de soude et d'ammoniaque* (Investigaciones sobre la capacidad de saturación del ácido de arsénico. Estudio de los arsenuros de potasio, la soda y el amoniac), y la segunda, 1. *Étude des phénomènes relatifs à la polarisation rotatoire des liquides*. 2. *Application de la polarisation rotatoire des liquides à la solution de diverses questions de chimie* (1. Estudio de fenómenos relativos a la polarización rotatoria de los líquidos. 2. Aplicación de la polarización rotatoria a la solución de diversas cuestiones de química). Lejos de ser trabajos correctos pero más o menos intrascendentes, los contenidos de su tesis, sobre todo los de la segunda parte, pertenecientes al campo de la cristalografía y la simetría molecular, resultaron tan importantes que dieron origen a una nueva rama de la ciencia: la estereoquímica, que estudia la disposición de los átomos que componen las moléculas y cómo esta distribución afecta a sus propiedades. Con anterioridad a la tesis de Pasteur, se sabía de la existencia de dos formas de ácido tartárico, una que hacía girar el plano de la luz polarizada hacia la derecha, y otra que no lo hacía girar en absoluto. Pasteur fue capaz de aislar un ácido tartárico desconocido entonces, que hacía girar la luz polarizada hacia la izquierda y no hacia la derecha y demostrar que el ácido tartárico que no hacía girar el plano de polarización de la luz estaba compuesto de dos cristales diferentes, uno que producía giros hacia la derecha y otro hacia la izquierda; al coexistir cristales que giraban en sentidos opuestos, el resultado era que se neutralizaban entre sí.

Comenzó así un período de su vida (1847-1857) dominado por este tipo de investigaciones, un período en el que se fue estableciendo profesionalmente. En septiembre de 1848 fue designado profesor de Física en el Liceo de Dijon, pero permaneció poco tiempo en aquel puesto, ya que en diciembre del mismo año fue nombrado profesor suplente de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Estrasburgo, pasando a catedrático titular en 1852. En 1854 se trasladó a la Universidad de Lille, la ciudad de mayor actividad industrial del norte de Francia, como decano y profesor de Química de la nueva Facultad de Ciencias. En 1856, la Royal Society londinense le otorgó la prestigiosa medalla Rumford por

sus estudios de cristalografía, un reconocimiento que seguramente le ayudó en acceder, el año siguiente, a París, como administrador y director de la rama de ciencias de su antigua *alma mater*, la École Normale Supérieure.



«Pasteur en su laboratorio», cuadro de Albert Edelfelt (1885), Museo de Orsay.

Con la instalación en la capital, el centro neurálgico de la vida francesa —incluida la científica—, los intereses profesionales de Pasteur pasaron al dominio de la fermentación y generación espontánea, al que estuvo dedicado plenamente hasta 1865. Después vendrían otras etapas de su vida científica, protagonizadas por investigaciones en: enfermedades del gusano de seda (1865-1870), estudios sobre la cerveza (1871-1876) y enfermedades infecciosas (1876-1895). A mencionar también que en 1862 fue elegido miembro de la elitista Academia de Ciencias (sección de

mineralogía) y que en 1867 tomó posesión de la cátedra de Química orgánica de la Sorbona.

No es posible detenerse ni siquiera en esbozar las motivaciones y resultados del conjunto de la obra pasteuriana, pero de entrada dos hechos saltan a la vista: (a) fue un químico y físico que terminó ocupándose de problemas médicos, y (b) no eludió las investigaciones aplicadas. En realidad, ambos aspectos de su carrera están íntimamente relacionados, en una mezcla casi insoluble en la que se halla una parte importante de la explicación de sus éxitos (no podemos tampoco olvidar —nunca se puede olvidar— su propia singularidad, la de su creatividad). Por un lado, estaban sus conocimientos químicos y físicos, que hacían de él un magnífico candidato a practicante de la medicina científica bernardiana; por otro, no era ajeno al mundo que le rodeaba, al mundo, por ejemplo, de la industria de la seda o de la cerveza, al mundo agrícola o al de las enfermedades (si como muestra sirve un botón, he aquí el título de uno de sus trabajos, y no menor: *Études sur le vin: ses maladies, causes qui les provoquent, procédés nouveaux pour le conserver et pour le vieillir* [Estudios sobre el vino: sus enfermedades, causas que las provocan, procedimientos nuevos para conservarlo y para envejecerlo]; 1866). Ambos rasgos le fueron llevando, en una secuencia que a veces uno está tentado de considerar inevitable, de un tema de investigación a otro.

Así, sus estudios sobre disimetría molecular le condujeron a ocuparse del alcohol amílico, activo también ópticamente. Ahora bien, resulta que el alcohol amílico desempeña un papel importante en la fermentación láctica. Se abrió de esta manera la puerta a las investigaciones de Pasteur sobre fermentación, un hecho este que él mismo reconoció y explicó en la sección inicial de su primer artículo en este campo («Mémoire sur la fermentation appelée lactique» [«Memoria sobre la fermentación llamada láctica»]; 1857), que habitualmente se considera marca el inicio de la bacteriología como ciencia: «Creo que es mi deber indicar con algunas palabras cómo me he visto conducido a ocuparme en investigaciones sobre las fermentaciones. Habiendo aplicado hasta el presente todos mis esfuerzos a tratar de descubrir los vínculos que existen entre las propiedades químicas, ópticas y cristalográficas de ciertos cuerpos con el fin de aclarar su constitución molecular, quizá pueda asombrar que aborde un tema de química fisiológica, muy alejado en apariencia de mis primeros trabajos. Sin embargo, están relacionados de forma muy directa».

En sus investigaciones sobre la fermentación, Pasteur demostró que ésta era resultado de la acción de organismos vivos microscópicos; que no se producía cuando se excluían o aniquilaban (sometiéndolos, por ejemplo, a la acción del calor,

la forma más primitiva de un proceso que, tras ser perfeccionado, recibió en honor suyo el nombre de *pasteurización*). Al llegar a semejantes conclusiones, Pasteur se había adentrado, lo quisiese o no, en una cuestión tan básica como de larga historia: la de si era posible la generación espontánea; esto es, si seres vivos pueden surgir de sustancias inanimadas.

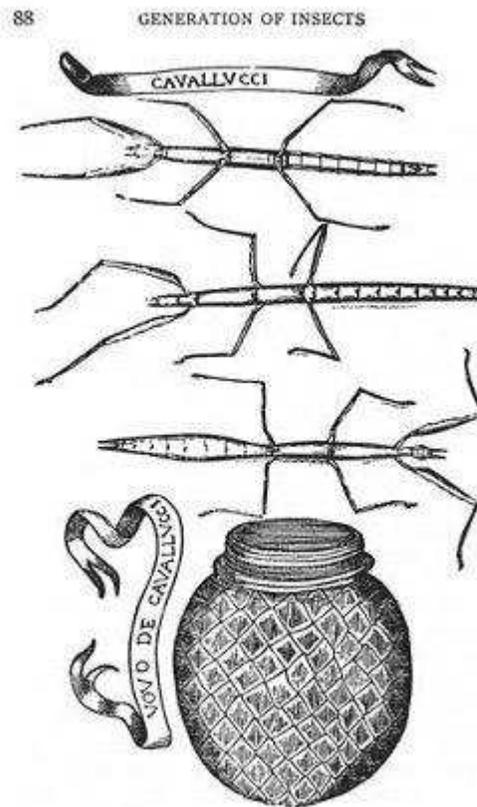


Portada del libro de Francesco Redi, *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti* (1688).

En muchas civilizaciones antiguas se creyó que la vida aparecía de manera espontánea a partir de materia inanimada. Observaciones diarias parecían confirmar tal idea: se veía aparecer gusanos de la decomposición de materiales orgánicos y moscas de trozos de carne expuestos al sol. Sin embargo, en la segunda mitad del siglo XVII, Francesco Redi (1626-1698) observó que en un frasco abierto el

pescado putrefacto generaba, al cabo de un tiempo, moscas, mientras que no ocurría lo mismo con un jarro idéntico pero cerrado. De este experimento —que detalló en *Esperienze intorno alla generazione degl'insetti* (1688)— extrajo la consecuencia de que las moscas no surgían del pescado, sino de huevos. Sin embargo, su meticulosidad científica no fue lo suficientemente poderosa como para instalarse firmemente entre los conocimientos científicos aceptados; como mucho, se utilizaron sus descubrimientos para señalar que aunque era cierto que la vida no surgía espontáneamente, sino sólo de vida preexistente, la cadena de progenitores biológicos que esta idea requería debía tener un punto de partida: en el comienzo Dios había creado todos los animales y las plantas que existen.

En las décadas que siguieron al descubrimiento de Redi, la invención y utilización del microscopio sirvió para observar microorganismos de todo tipo (uno de quienes los vieron fue el ya citado Van Leeuwenhoek); estas observaciones revivieron entre muchos la creencia en la generación espontánea de la vida, mientras que otros como Van Leeuwenhoek, y más tarde Schwann, pensaban de forma diferente. En el curso de sus investigaciones sobre la fermentación, Pasteur puso punto final de manera definitiva a esta cuestión. El lugar en que con más rotundidad y claridad expresó sus puntos de vista fue en un artículo publicado en 1862: «Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère. Examen de la doctrine des générations spontanées» («Memoria sobre los corpúsculos organizados que existen en la atmósfera. Examen de la doctrina de las generaciones espontáneas»), en el que presentó los resultados a que había llegado con experimentos no demasiado diferentes de los de Redi. En primer lugar, demostró que hay microorganismos que viven en el aire que nos rodea y que pueden contaminar incluso el cultivo más estéril. A continuación mostró que si un caldo de cultivo estéril era introducido en un recipiente sellado al vacío, en el que no podía penetrar el aire, no surgía en él ningún microorganismo. «No, no hay ninguna circunstancia hoy conocida —manifestaba orgullosamente en una conferencia que pronunció en la Sorbona en 1864 («La generación espontánea»)—, en la que se pueda afirmar que seres microscópicos han venido al mundo sin gérmenes, sin padres semejantes a ellos. Los que lo pretenden han sido juguetes de ilusiones, de experiencias mal hechas, plagadas de errores que no han sabido percibir o que no han sabido evitar.»



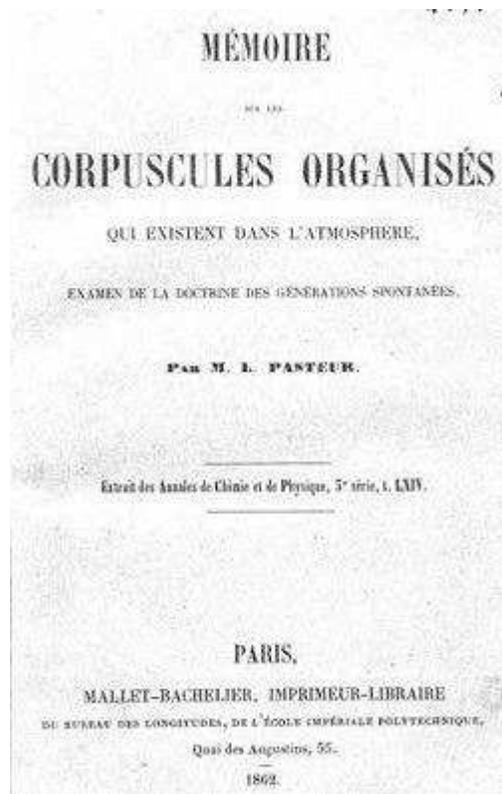
Grabado incluido en *Esperienze intorno alla generazione degl' insetti* de Redi.

Establecido este punto, era razonable pensar en aplicar el nuevo planteamiento al origen de enfermedades (también, como vimos, a otros dominios de la salud, como aquel en el que brilló Lister). Semejante convicción fue la que llevó finalmente a Pasteur a la investigación médica, que inició con el estudio del ántrax (o carbunco) en 1877, cuya causa asoció también con un microorganismo, la «bacteridia». En una conferencia que leyó ante la Academia de Medicina de París en 1878 (y en cuya preparación le ayudaron dos de sus colaboradores, Jules-François Joubert y Charles Chamberland), «La théorie des germes et ses applications à la médecine et à la chirurgie» («La teoría de los gérmenes y sus aplicaciones a la medicina y la cirugía»), Pasteur explicó con claridad el origen y naturaleza de sus intereses médicos, al igual que algunos de los problemas con los que se encontraba:

Todas las ciencias ganan si se prestan un apoyo mutuo. Cuando después de

mis primeras comunicaciones sobre las fermentaciones en 1857-1858 puede admitirse que los fermentos propiamente dichos son seres vivos, que en la superficie de todos los objetos, en la atmósfera y las aguas abundan gérmenes de organismos microscópicos, que la hipótesis de una generación espontánea es una quimera, que el vino, la cerveza, el vinagre, la sangre, la orina y todos los líquidos del organismo no sufren ninguna de sus alteraciones comunes en contacto con el aire puro, la medicina y la cirugía han dirigido sus ojos a estas novedades tan evidentes. Un médico francés, el doctor [Casimir Joseph] Davaine, aplicó por primera vez con éxito estos principios a la medicina en 1863.

Nuestras investigaciones durante el último año han avanzado mucho menos en la etiología de la enfermedad pútrida o septicemia que en la del carbunco. Creíamos que la septicemia dependía de la presencia y multiplicación de un organismo microscópico, pero no ha podido demostrarse rigurosamente esta importante conclusión. Para afirmar de modo experimental que un organismo microscópico es en realidad el agente de la enfermedad y el contagio, no veo otro medio, en el estado actual de la ciencia, que el de someter al *microbio* (nueva y feliz expresión propuesta por Sédillot [1878]) al método de los cultivos fuera del organismo.



Separata de la «Mémoire sur les corpuscules organisés qui existent dans l'atmosphère» (1862).

Y en este punto entra por fin en escena Heinrich Hermann Robert Koch, que, entre otras contribuciones, se distinguió en el problema con el que Pasteur terminaba la anterior cita: el de desarrollar técnicas para estudiar microbios en cultivos.

Koch comenzó a estudiar ciencias naturales en la Universidad de Gotinga, pero pronto pasó a la medicina, doctorándose en 1866. Tras ejercer la profesión durante bastantes años, y servir a su país en la guerra franco-prusiana, a los cuarenta años de edad sus intereses experimentaron un fuerte cambio cuando comenzó a ocuparse del ántrax, desarrollando nuevas técnicas para el estudio de cultivos (en 1876 —esto es, antes que Pasteur— describió su etiología y patología), como consecuencia de lo cual fue designado por la Oficina Imperial de la Salud de Berlín para asesorar en cuestiones de salud e higiene pública. En 1882, tras haber desarrollado métodos sencillos y originales para crecer y examinar cultivos bacterianos, anunciaba en la Sociedad de Fisiología de Berlín su descubrimiento del bacilo de la tuberculosis, una enfermedad —cuya primera denominación fue «tisis», «consunción» después— responsable entonces de la muerte de millones de personas cada año (sólo en Prusia la mortalidad ascendía en 1882 a 300 por cada 100.000 habitantes). Un año más tarde, identificaba el bacilo del cólera.

Fragmento de la conferencia pronunciada por Koch en el X Congreso Internacional de Medicina (Berlín, 4 de agosto de 1890), «Über bakteriologische Forschung» («Sobre la investigación bacteriológica»): La bacteriología es una ciencia muy joven, por lo menos en lo que se refiere a nosotros los médicos. Hasta hace unos quince años, apenas si se sabía algo más que en el carbunco y en la fiebre recurrente aparecen en la sangre unas formaciones extrañas peculiares, y que en las enfermedades por infección de las heridas existen, ocasionalmente, los llamados vibriones. No se contaba aún con una demostración de que estos elementos podían ser los causantes de aquellas enfermedades y, con excepción de unos pocos investigadores considerados extravagantes, se concebían tales hallazgos más bien como curiosidades que como supuestos productores de enfermedades. Tampoco se podía pensar de manera muy diferente, pues no se había demostrado nunca que se tratase de seres independientes y específicos para estas enfermedades. En los líquidos en putrefacción, especialmente en la sangre de animales ahogados, se habían encontrado bacterias que no se distinguían de los bacilos del carbunco.

Algunos investigadores no querían, en absoluto, otorgarles la categoría de seres vivientes, sino que los consideraban formaciones cristaloides. Bacterias idénticas a los espíritus de la fiebre recurrente existían en las aguas pantanosas y en el sarro de los dientes, habiéndose hallado bacterias semejantes a los micrococcos de las enfermedades de las infecciones de las heridas, al parecer, en la sangre y en los tejidos sanos. Con los recursos ópticos y experimentales de que se disponía tampoco se podía ir más lejos, y así se hubiera seguido durante mucho tiempo si no hubieran aparecido, justo entonces, nuevos métodos de investigación que impusieron, de pronto, conductas completamente distintas, abriendo caminos hacia horizontes más amplios en ese oscuro terreno. Con el auxilio de los sistemas de lentes perfeccionados y su empleo más adecuado y con la colaboración del uso de los colorantes de anilina, se consiguió observar nítidamente hasta las bacterias más pequeñas, pudiéndose las distinguir, en cuanto a su morfología, de los otros microorganismos. Al mismo tiempo y mediante la utilización de substratos nutritivos, líquidos o sólidos, según las exigencias, fue posible separar los gérmenes en forma aislada y obtener cultivos puros sobre los que se pudieron determinar las propiedades particulares de cada una de las especies de manera absolutamente segura. Muy pronto, se observaron los resultados rendidos por estos nuevos recursos. Se descubrió una cantidad de especies nuevas, bien caracterizadas, de microorganismos patógenos, y lo que fue especialmente importante: se demostró la relación causal entre éstos y las enfermedades correspondientes. Como los agentes patógenos hallados pertenecían, todos, al grupo de las bacterias, eso despertó la suposición de que las verdaderas enfermedades infecciosas debían estar condicionadas, exclusivamente, por determinadas especies bacterianas, distintas entre sí, pudiéndose abrigar, también, la esperanza de que en un tiempo no muy lejano podrían encontrarse los causantes específicos de todas las otras enfermedades contagiosas. La vacunación

Gracias, en definitiva, a las investigaciones de Pasteur y de Koch, y de los que vinieron tras ellos, se llegó a conocer con gran precisión científica la relación causal entre microorganismos y enfermedades infecciosas. Surgió así un modo nuevo de concebir la enfermedad: la teoría microbiana de la enfermedad, en más de un sentido el paralelo a la teoría celular.

Estrechamente asociada a esta visión, aunque con antecedentes muy antiguos, se encuentra el desarrollo decimonónico de vacunas. Desde tiempos remotos, los turcos «vacunaban» contra la viruela tomando muestras del contenido de las pústulas de los casos moderados de viruela e inoculándolas a personas sanas

(la palabra «vacunación» deriva del latín *vaccinae*, que quiere decir «de la vaca»; parece que fue Pasteur el primero en emplearla en 1880). La arriesgada práctica llegó a oídos de la esposa del embajador de Inglaterra en Constantinopla, lady Mary Wortley Montagu (1689-1762), quien la difundió, a partir de 1718 (el año en que inoculó a su propio hijo) a través de sus contactos políticos y médicos, en Gran Bretaña, aunque no era infrecuente que algunas de las personas con las que se utilizaba muriesen. Sería otro inglés, Edward Jenner (1749-1823), el responsable de la introducción, en 1798, de la vacunación contra la viruela a gran escala, aunque con una variante con respecto al método que difundió lady Montagu: Jenner no inoculaba el virus de la viruela, sino el de la viruela bovina, que es distinto, pero que provoca reacciones inmunitarias eficaces contra el de la viruela común. Además, y esto es muy importante, no tomaba muestras hasta el séptimo día de la aparición de las pústulas, es decir, cuando el germen había perdido parte de su virulencia. Consciente o inconscientemente, Jenner había descubierto el principio de la vacunación por gérmenes debilitados. De esta manera, y aunque no se poseía ningún modelo del mecanismo a través del cual se produce una infección, ni sobre cómo funciona una inmunización, la idea de que la inoculación con un germen debilitado podía ayudar al organismo a defenderse de él se vio reforzada.



«El buen Pasteur»: caricatura de sus trabajos sobre el carbunco, aparecida en *Le Charivari* el 27 de abril de 1882.



Edward Jenner.

Y aquí vuelve a aparecer, en toda su grandeza, Pasteur, que en 1880, tras aislar el microbio responsable del cólera de las gallinas (un mal que podía matar hasta el 90 por 100 de las gallinas de un corral), consiguió disminuir su virulencia siguiendo la técnica de Jenner; esto es, inyectando en las gallinas microbios debilitados. Estimulado por los resultados favorables que obtenía, aplicó el principio de la debilitación de los gérmenes para preparar vacunas contra la rabia, enfermedad infecciosa mortal, que afecta a los perros (que enloquecen produciéndoles horror el agua, por lo que también se denomina hidrofobia), pero que también pueden contraer — mediante mordeduras de éstos — las personas. Sus primeros estudios en este campo comenzaron en diciembre de 1880, cuando un

veterinario le llevó dos perros rabiosos y le pidió su opinión. Sólo había experimentado con perros cuando, en 1885, le llevaron un niño de nueve años, Joseph Meister, que había sido mordido por un perro rabioso. A pesar de no ser médico, Pasteur aceptó el desafío y experimentó la vacuna en el niño con éxito. Había nacido la vacunación moderna (la única gran modificación que se produciría posteriormente fue la introducción de vacunas obtenidas por ingeniería genética, que se iniciaron en 1983 y cuyo primer producto comercializado fue la vacuna contra la hepatitis B, en 1986).

El recuerdo de Pasteur aceptando el desafío, y el riesgo, de experimentar su vacuna con aquel niño, armado con el pequeño, pero a la vez enorme, arsenal de sus conocimientos científicos, y con la seguridad que éstos le daban, es una buena ocasión para finalizar este capítulo. Es el recuerdo de uno de esos momentos auténticamente inolvidables, no sólo para sus protagonistas sino también para la memoria histórica de la humanidad. Un momento que, aunque aparentemente singular, condensa en sí universos de esfuerzo, experimentación y abstracción teórica. Un momento que representa de manera magnífica los logros de un siglo, el XIX, maravilloso para la medicina y para la ciencia; esto es, para la medicina científica, una medicina que cambió entonces de una forma tan absoluta y radical que habría sido considerado increíble cuando despuntaba el Ochocientos. De un siglo, en definitiva, al que todavía debemos mucho de nuestro bienestar como seres que tarde o temprano tienen que enfrentarse con la enfermedad.



Última fotografía de Pasteur. Jardines del Instituto Pasteur (París).



Robert Koch.

6

La institucionalización de la ciencia: química orgánica y electromagnetismo en el siglo XIX

Los cinco capítulos precedentes han estado centrados en torno a grandes personajes de la ciencia, los Euclides, Gödel, Galileo, Newton, Lavoisier, Darwin, Bernard, Helmholtz o Pasteur. Naturalmente, han aparecido también muchos otros científicos importantes, grandes incluso. Pero lo que me interesa destacar en este momento es que han sido los individuos y sus ideas los principales protagonistas hasta ahora. En este capítulo la situación va a cambiar algo. Por supuesto que continuarán apareciendo nombres de científicos —entre ellos gigantes de la ciencia: los casos, por ejemplo, de Faraday y Maxwell—, pero el énfasis no será tanto en ellos como en procesos que atañen a la estructura y dinámica de la actividad científica. Y ello haciendo referencia especial a la química orgánica y a la física del electromagnetismo durante el siglo XIX. ¿Por qué? Pues porque fue de la mano de esas disciplinas y en aquel período cuando la empresa científica se transformó drásticamente, dejando de ser lo que hasta entonces mayoritariamente era: una actividad básicamente alejada de la mirada de industriales y políticos, una ocupación con escaso valor económico, cuyos practicantes apenas participaban del *ethos* de los asalariados; esto es, que la actividad científica que desarrollaban también era una profesión mediante la cual, con los salarios que recibían por sus trabajos, se ganaban la vida.

Como consecuencia de un conjunto de hechos y procesos, algunos de los cuales —los más destacados en mi opinión— trataré a continuación, la ciencia se institucionalizó; en otras palabras, pasó a ser una actividad valorada por la sociedad, por los gobiernos y sectores industriales y económicos. Es cierto que el respeto sociopolítico y económico que logró entonces no llegó a los niveles que alcanzaría durante la segunda mitad del siglo XX (para ello se necesitarían dos guerras mundiales), pero fue lo suficiente intenso como para que la ciencia pasase a ser, al menos en naciones con pretensiones (políticas y económicas), cuestión de Estado; para que la ciencia quedase institucionalizada como una práctica necesaria para el bienestar, prestigio y poder nacionales.

Una débil situación institucional

La medida en que cambió la situación para la ciencia y los científicos a lo largo del siglo XIX es algo que se puede apreciar con bastante claridad comparándola con la existente a comienzos de aquella centuria. Con la posible excepción de algunas academias y de unas pocas instituciones, mantenidas por el Estado, a principios del Ochocientos la ciencia y los científicos se encontraban a merced de sus propios medios, más aún si tenían la intención de hacer avanzar su materia; esto es, cuando pretendían ser investigadores y no meros profesores. Ni siquiera el que disciplinas científicas formasen parte de los programas de estudio de algunas facultades universitarias llevaba a los poderes públicos a preocuparse demasiado por las necesidades de aquellos «filósofos de la naturaleza», para los que, en el curso del siglo, se terminó acuñando un nuevo término: «científicos».

Origen del término «científico»*En la literatura histórica se suele señalar que el término «científico» surgió en inglés, siendo creado por William Whewell (que ya nos apareció en otro capítulo) en su imponente tratado, The Philosophy of the Inductive Sciences (1840), vol. I, «Introduction». El pasaje en el que apareció la nueva expresión inglesa es el siguiente: We need very much a name to describe a cultivator of science in general. I should incline to call him a Scientist. (Necesitamos urgentemente un nombre para describir un cultivador de la ciencia en general. Me inclino por llamarle un Científico.) Es interesante recordar, sin embargo, que a pesar de las limitaciones históricas que la ciencia ha sufrido en España, el término «científico» ya aparecía en el Diccionario de Autoridades, el primer diccionario publicado (1726-1739) por la Real Academia Española. En el tomo II (1729) se definía de la manera siguiente: «CIENTÍFICO, CA. adj. Cosa perteneciente à ciencia. Tambien se llama assi la persóna consumada en algúna, ó en muchas ciencias». El caso de la física en Alemania, la misma nación que en el primer tercio del siglo XX superaría a todas las demás en lo que a aportaciones a esa ciencia en concreto se refiere, constituye un buen ejemplo para comprobar cómo se modificó la situación de la ciencia a lo largo del siglo XIX.*

Al iniciarse el siglo, cada una de las dieciocho universidades alemanas existentes poseían todavía la tradicional estructura medieval, con Facultades de Teología, Derecho, Medicina y Filosofía. La finalidad de la educación académica era la formación de teólogos, profesionales de la imprescindible medicina y fieles servidores del Estado. Por regla general los conocimientos científicos sólo se proporcionaban en la Facultad de Filosofía, siendo las enseñanzas experimentales físico-químicas muy poco frecuentes (las Facultades de Ciencias se crearon —en España y Alemania, por ejemplo— a mediados de siglo). La investigación científica propiamente dicha era tarea de algunas academias, entre ellas la de Berlín, que seguía el patrón francés.



William Whewell.

La posición de, en concreto, la física en esas universidades era claramente secundaria. A lo máximo que podían aspirar la gran mayoría de los catedráticos de física alemanes era a recibir pequeñas cantidades anuales para mantener un gabinete —decir laboratorio sería decir demasiado— destinado a permitir demostraciones experimentales para los alumnos de los cursos universitarios. De hecho, en la práctica la mayoría de los profesores de física germanos no recibían habitualmente dinero suficiente —nada en absoluto con frecuencia— de sus universidades o del Estado para comprar y mantener aparatos, de manera que una gran parte de éstos se los tenían que procurar ellos mismos (en realidad se esperaba que así lo hicieran, y la colección particular de que disponía un profesor era un elemento importante para lograr mejoras en su situación, normalmente pasando a otra universidad). Más aún, al no disponer tampoco de ayudantes, los mismos profesores construían a menudo sus aparatos para las demostraciones, los transportaban a y desde las aulas, acaso a través de toda la ciudad. Asimismo, debían montarlos y desmontarlos para las clases, puesto que tenían que compartir las aulas con otros profesores de distintas disciplinas, no siendo frecuente el que dispusieran de salas en la universidad para albergar sus colecciones de aparatos. Así se explican casos como los de Franz Neumann (1798-1895), catedrático en Königsberg, que utilizó una pequeña herencia que había recibido su esposa para

adquirir en 1847 una casa y ampliarla de manera que pudiese acoger en ella un laboratorio, un lugar para trabajar la madera y el vidrio, salas para un telescopio, bombas de vacío y otros instrumentos, pertenecientes a él o a la universidad; o el de Heinrich Gustav Magnus (1802-1870), vinculado a la Universidad de Berlín desde 1831, que utilizaba su propia biblioteca y su laboratorio particular para dar clases, y que permitía que algunos estudiantes se iniciasen allí en la investigación usando sus aparatos. Y estoy hablando de científicos que ocupan un lugar en la historia de la física decimonónica.

Un índice significativo de la situación existente a mediados de siglo en Alemania, lo encontramos en el hecho de que por entonces el Estado prusiano se gastaba en física, en sus seis universidades, más o menos lo mismo que en el salario de Hegel (1770-1831): 2.000 táleros (antiguas monedas alemanas de plata que equivalían, aproximadamente, a un marco). Es evidente que, independientemente de cuán grande fuera la fama de Hegel, este hecho no permite explicaciones satisfactorias para el prestigio social de la física en Alemania. Otro dato ilustrativo es que, entre 1810 y 1840, el gobierno de Prusia se gastó en la Universidad de Berlín 200.000 taleros, pero en zoología y mineralogía, frente a 3.500 en física (y esto sólo a partir de 1833).

La situación que acabo de esbozar comenzó a cambiar durante la primera mitad del siglo, y en mucha mayor medida a lo largo de la segunda mitad (como indicaré más adelante, el caso de la química fue algo diferente: su situación empezó a variar, para mejor, antes que la física). Encontramos una señal de semejante cambio en la creación de sociedades profesionales, un hecho que muestra la aparición de un grupo de científicos que al tomar «conciencia de clase» —entre otros motivos porque reconoce el valor social de su disciplina— desea agruparse para favorecer sus intereses. El que el asociacionismo científico dejase de estar monopolizado de manera casi exclusiva por organizaciones tan elitistas y restringidas como la Royal Society o la Académie de Sciences, que se insertase en la sociedad asimilando al menos algunos de los procedimientos profesionales comunes en el ámbito laboral, constituyó un paso previo, si se prefiere un indicador, de que una nueva era se abría a la práctica científica: la Era de la Institucionalización de la ciencia.

Ahora bien, como en la mayoría de los inicios, éstos fueron tímidos. En el caso del que me estoy ocupando ahora, la física alemana, tenemos que el 14 de enero de 1845 un pequeño grupo de científicos (entre ellos algún fisiólogo) —Emil-Bois-Reymond, Ernst Brücke, Gustav Karsten, Wilhelm Beetz, Wilhelm Heintz y Hermann Knoblauch— fundaron la Physikalische Gesellschaft zu Berlin

(Sociedad de Física de Berlín). Dos años después, de los seis miembros fundadores se había pasado a 53, entre los que se encontraba, por ejemplo, el futuro líder de la industria electrotécnica alemana y mundial: Ernst Werner von Siemens (1816-1892). A lo largo del siglo, la situación de la sociedad fue cambiando para mejor, lo que representa otra muestra, ésta ya más clara, de ese proceso de institucionalización. En 1899, la Sociedad de Física dejó de estar limitada a Berlín, reorganizándose bajo el nombre de Deutsche Physikalische Gesellschaft (Sociedad Alemana de Física). En 1910, sus miembros ya eran 520, 660 en 1913 y 740 en 1918.



Alessandro Volta trabajando en su laboratorio, tal y como lo pintó A. Rinaldi.

Pero estoy yendo demasiado deprisa, o, por decirlo de otra manera, todavía tengo que hablar de las razones que, dentro de la propia ciencia, de los conocimientos en química y física, condujeron a los cambios a los que acabo de referirme, esto es, a la institucionalización de la ciencia.

Nuevos horizontes científicos: Liebig y la química orgánica

Justo al comienzo del siglo, química y física se unían espectacularmente, como si quisieran presagiar lo mucho que ambas disciplinas aportarían a lo largo de la centuria al conocimiento y explotación de la naturaleza. En 1800, un italiano, Alessandro Volta, inventó la pila (o batería) eléctrica, un aparato para producir un flujo de corriente continua eléctrica utilizando procesos químicos. Con este nuevo instrumento, William Nicholson (1753-1815) y Anthony Carlisle (1768-1840) confirmaron aquel mismo año hallazgos anteriores de Lavoisier al observar que el agua se descompone en dos volúmenes de hidrógeno por uno de oxígeno cuando la atraviesa una corriente eléctrica, un fenómeno de nominado «electrolisis», cuyas leyes serían enunciadas en 1833 por Michael Faraday, un aprendiz de encuadernador que ascendió de ayudante de Humphry Davy (1778-1829) en la Royal Institution londinense (1813), a *fullerian professor* de química en ese mismo centro (1833). Volveré a ocuparme de él más adelante.



Humphry Davy, pintado por Henry Howard (1803).

Durante los años que siguieron a los trabajos de Nicholson y Carlisle se explotó la técnica electroquímica para producir un aumento sustancial del número de elementos químicos conocidos. Entre 1801 y 1828, el sueco Jöns Jacob Berzelius

aisló el cerio, el selenio, el silicio, el circonio y el torio; por su parte, en Inglaterra Humphry Davy encontró, en 1808 y 1809, el sodio, el potasio, el estroncio, el boro, el calcio y el magnesio, en 1810 el cloro, en 1812 el yodo y el bromo en 1826.

Naturalmente, no hay química sin elementos químicos y el aumento en el número de los que eran conocidos ayudó al avance químico, pero sólo con esto es más que posible que la química no hubiese alcanzado la posición socioeconómica que logró. Y en este punto hay que referirse a la química orgánica. Pero no sólo a la química orgánica, sino a la química orgánica alemana. De forma todavía más concreta, hay que referirse a Justus Liebig (1803-1873), von Liebig a partir de 1845.

Algunos detalles de su biografía son necesarios para comprender su importancia. En 1825, Liebig conseguía una cátedra de Química en la Universidad de Giessen. Casi inmediatamente estableció, al margen de la universidad y en compañía de dos colegas, el catedrático de Mineralogía y el de Matemáticas, un «Instituto químico-farmacéutico», para el que ya existían precedentes. El hecho de que en aquel momento sólo hubiese dos instituciones de ese tipo en Alemania, y que el número de estudiantes que solicitaban matricularse en ellas —atraídos por las posibilidades laborales que abrían (en el dominio de la farmacia especialmente)— fuese tan elevado que muchos quedaban fuera, sirvió de estímulo a los profesores, que buscaban un suplemento a sus salarios, además de, por supuesto, el deseo de contribuir a la formación de profesionales relacionados con la química. Liebig y sus asociados pidieron a las autoridades universitarias que el nuevo instituto pasase a formar parte de la universidad, pero su solicitud fue rechazada, señalándoseles que la función de una universidad era educar futuros funcionarios, no farmacéuticos, cerveceros, o fabricantes de jabón.



Jacob Berzelius.

Una respuesta muy acorde con el espíritu de la época y que habla por sí sola acerca de la situación social, institucional, en que se encontraban las ciencias físico-matemáticas y químicas. A pesar de todo, se permitió a los tres profesores que estableciesen el instituto como una actividad privada.

Un anuncio acerca del nuevo instituto apareció en 1826 en la revista *Jahrbuch der Chemie und Physik*; en él se señalaba que el rápido crecimiento de las ciencias naturales, y especialmente de la química, hacían imposible que los farmacéuticos y técnicos relacionados con la química se pudiesen contentar con los conocimientos obtenidos a través de los medios tradicionales de enseñanza, cuando no simplemente en la botica. Algunos institutos farmacéuticos se habían creado para remediar tal carencia, pero, se añadía, no existía ninguno en el sur de Alemania.

Hasta 1835 el Instituto tuvo, por lo que se sabe, un éxito moderado, recibiendo una media de quince estudiantes al año, de los cuales entre el 70 y el 90 por 100 estaban interesados en la farmacia, el resto en la química. El punto crucial

en la historia del Instituto, al igual que en la carrera de Liebig, tuvo lugar cuando, en 1831, éste desarrolló un aparato para analizar compuestos orgánicos, que era lo suficientemente sencillo como para poder ser utilizado de manera sistemática por sus estudiantes para resolver nuevos problemas; esto es, para investigar. Sirviéndose de él, el propio Liebig desentrañó inmediatamente la composición de catorce alcaloides y de otros compuestos.

Antes de continuar es preciso explicar que el instrumento —y la técnica correspondiente— de Liebig no se puede considerar, desde ningún punto de vista, el inicio de la química orgánica. El primer avance sustancial en la base analítica de esa rama de la química se había producido antes, fruto de la colaboración de dos químicos franceses, Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) y Louis Jacques Thénard (1777-1857), que expusieron en una monografía titulada *Recherches physico-chimiques (Investigaciones físico-químicas; 1801-1811)*. El avance en cuestión constituyó el primer método aplicable de forma general para determinar los porcentajes de carbono, hidrógeno y oxígeno —los elementos químicos básicos de los compuestos orgánicos— presentes en una sustancia, el prerequisite para determinar su fórmula química. Utilizando su método (basado en oxidar la muestra con cloruro potásico en un tubo vertical, cuyo fondo se calentaba fuertemente, y en recoger los gases resultantes), Gay-Lussac y Thénard analizaron diecinueve sustancias orgánicas.

Aunque daba resultados fiables, el método de los químicos franceses era de una dificultad intrínseca considerable, pero ésta fue suavizada, que no eliminada completamente, por Berzelius, quien obtuvo resultados de confianza para trece compuestos, que publicó en 1814. Durante los diecisiete años siguientes, el procedimiento de Gay-Lussac, Thénard y Berzelius no cambió esencialmente. Hasta la llegada de Liebig.

Parece increíble, pero ¡cuánto puede hacer un nuevo instrumento, y una persona! Cuando Liebig llegó a Giessen, la mayor parte de los químicos alemanes —y también los no alemanes— todavía se ocupaban únicamente de cuestiones relativas a la química inorgánica, aunque la orgánica ya había comenzado a atraer interés. Un problema serio en ésta eran las discrepancias entre los diferentes resultados de los análisis de compuestos orgánicos, consecuencia de las dificultades antes mencionadas. Con el aparato de Liebig se superaba este problema, lo que reforzó el interés y posibilidades de la química orgánica.



Equipo químico de Michael Faraday.

En 1835, Berzelius, el gran maestro de los antiguos métodos, escribía a Wöhler, quien, recordemos, había sintetizado la urea: «Todos los días utilizamos el aparato de Liebig. Es espléndido. Con pequeñas modificaciones hemos llegado tan lejos que parece imposible que los resultados que se obtienen no sean correctos».

En Giessen, Liebig explotó sus nuevos métodos, pero no sólo él, también sus estudiantes. El procedimiento que siguió, una novedad entonces, fue adjudicar problemas de investigación a sus alumnos, una vez que éstos habían adquirido una formación básica. Esta fue su gran innovación, combinar enseñanza e investigación, no el hecho de que enseñase química en el laboratorio, algo que aunque no demasiado frecuente ya se hacía en otros lugares: en la École Polytechnique de París, por ejemplo, desde 1795; incluso en alguna universidad germana, en Gotinga (desde 1810), Landshut (1820) y Jena (1820). El éxito de Liebig trajo, finalmente, la ayuda de la universidad, que en 1834 aprobó una mejora de las precarias instalaciones de que disponía; el año siguiente incluía en sus presupuestos un ayudante para el ya maestro reconocido internacionalmente, ayudante que de hecho Liebig había estado pagando de su propio bolsillo durante años. El número de estudiantes también aumentó: en 1836 alcanzó los 20 por primera vez; en 1838 llegaba a 21, con lo que el número de los presentes en el laboratorio ascendió a 33, una cifra grande para las dimensiones del centro. Y los alumnos no sólo eran alemanes, también había extranjeros.



Justus von Liebig.

Aplicaciones industriales de la química de Liebig

A través de sus estudiantes, la influencia de Liebig se extendió también al mundo académico e industrial. En el primero, el académico, muchos de sus mejores alumnos (entre los que se cuentan Friedrich August Kekulé [1829-1896], Charles Frédéric Gerhardt [1816-1856] y Charles Adolph Wurtz [1817-1884]) obtuvieron puestos académicos, con frecuencia apoyados por el propio Liebig. Estos nuevos profesores extendieron los métodos de enseñanza de su maestro. Otras disciplinas también se vieron influidas por las enseñanzas de Liebig. Como la agricultura, en la que publicó, en 1840, un libro especialmente influyente: *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie* (*Química orgánica y sus aplicaciones a la agricultura y a la fisiología*), en el que, entre otros temas, se analizaba el papel del carbono en la nutrición de las plantas. Fruto de esa influencia fue el establecimiento

de «Estaciones experimentales de agricultura» en las que la química agrícola desempeñaba un papel importante. En 1877 existían 74 de estas estaciones en Alemania, 16 en Austria, 10 en Italia, 7 en Suecia, 3 en Rusia, el mismo número que en Bélgica y Suiza, 2 en Holanda y en Francia y 1 en Dinamarca, Estados Unidos, Escoicia y España.



Robert Bunsen.

En cuanto a la industria, ya en 1827 uno de sus alumnos, Heinrich E. Merck (1794-1855), fundó en Darmstadt, animado por el propio Liebig, la Chemische Fabrik E. Merck para la producción a gran escala de productos farmacéuticos; es bien sabido que en la actualidad Merck, dentro del grupo «Merck-Sharp & Dohme» es un gigante de la industria farmacéutica, aunque ya, y por diferentes motivos —las guerras mundiales, entre ellos— su centro no sea Alemania sino Estados Unidos. Otro pupilo de Liebig que se convirtió en un industrial importante fue Karl Clemm, que fundó junto con su hermano Gustav una industria dedicada

inicialmente a la producción de fertilizantes artificiales; más tarde, sin embargo, ampliaron su campo de intereses a la sosa y el ácido sulfúrico, así como a los tintes; en 1865 esa compañía tomó el nombre de Badische Anilin und Soda-Fabrik (BASF), una de las grandes de la industria química mundial, y cuyos brazos se extienden hoy por numerosos ámbitos industriales.

Aunque me haya centrado en él, Liebig (que se trasladaría a Múnich en 1852) no fue el único químico alemán importante en producir, a través de su magisterio, números significativos de estudiantes hacia mediados de siglo. Friedrich Wöhler, profesor de química y farmacia en la Facultad de Medicina de Gotinga desde 1836, y Robert Wilhelm Bunsen (1811-1899), que ocupó una cátedra en Marburgo entre 1838 y 1851, antes de pasar a Breslau por un año, para acabar finalmente en Heidelberg, son también dignos de mención. Asimismo es representativo que en 1867, y a iniciativa de otro estudiante de Liebig, August Hofmann (1818-1892), se fundase una Deutsche Chemische Gesellschaft (Sociedad Alemana de Química), a la que siguió en 1877 la Verein Analytischer Chemiker (Asociación de químicos analíticos), que en 1896 se convertiría en la Verein Deutscher Chemiker (Asociación de químicos alemanes).

Liebig, Wöhler, Bunsen y sus respectivos estudiantes, al igual que otros químicos acaso no tan conocidos, elevaron rápidamente la calidad y categoría de la química orgánica alemana, que hacia 1820 se encontraba mediatizada y limitada por profesiones más tradicionales como la farmacéutica. Es desde esta perspectiva que debemos entender el ascenso de la química orgánica; un ascenso y desarrollo que se hace evidente sin más que considerar el que en 1888 se conocían las fórmulas estructurales de 20.000 compuestos orgánicos, por 74.000 en 1899 y cerca de 140.000 en 1910. Al comenzar el último cuarto del siglo XIX, Alemania contaba con suficientes químicos orgánicos como para sacar muy buen partido de una nueva química con grandes posibilidades prácticas, en, por ejemplo, la industria de los tintes.

En la historia de la industria química, y probablemente en la historia de toda la ciencia directamente dependiente del conocimiento científico, la producción de tintes en Alemania figura como la primera que alcanzó proporciones gigantescas. Sólo en exportación se pasó de 58 millones de marcos en 1890, a 138 en 1902 y 209 en 1912.

La universidad, los *lander* (Estados) alemanes, se dieron cuenta de este valor de la ciencia. Y reaccionaron dotando crecientemente a las universidades de laboratorios en los que los estudiantes aprendían la práctica científica, una práctica

que servía tanto para que más tarde contribuyeran a hacer avanzar el conocimiento científico como para poner sus saberes al servicio de industrias interesadas en beneficiarse de las potencialidades de la química. Fue, en resumen, en esta rama de la ciencia, y en Alemania, en donde de manera extendida se crearon laboratorios e institutos de investigación abiertos a los estudiantes, en los que enseñanza e investigación se admitían y enriquecían mutuamente. Se puede y debe decir que aquel fue un momento clave para la institucionalización de la ciencia.

Interludio: el caso de Kekulé

He mencionado que uno de los alumnos destacados de Liebig fue Friedrich August Kekulé von Stradonitz, un hombre que inicialmente no parecía destinado a la química: comenzó a estudiar arquitectura en Giessen (lo que algunos han considerado como un elemento que pudo intervenir en sus aportaciones a la estereoquímica), pero el poder de atracción de las clases de Liebig le llevó a estudiar química. Más tarde, y siguiendo el consejo de éste, amplió, entre 1851 y 1852, estudios en París con otro gran químico: Jean Baptiste André Dumas (1800-1884). Después de trabajar un año y medio en Suiza para un adinerado químico, marchó a Londres en 1854 como ayudante de otro químico, el escocés John Stenhouse (1809-1880). Al regresar a Alemania, en 1855, abrió un pequeño laboratorio privado en Heidelberg, dando clases también en la universidad (sin recibir ningún salario), iniciando así una carrera universitaria que le llevaría a ocupar cátedras en las universidades de Gante (1858) y Bonn (1867).

Tal fue la carrera de un científico cuyo nombre es imprescindible mencionar. Explicaré brevemente por qué.

El camino abierto por Lavoisier necesitaba de muchos exploradores que desbrozasen sendas enmarañadas por un enorme número de sustancias, un número que crecía, además, continuamente, especialmente con el desarrollo de la química orgánica. ¿Cuáles eran los elementos que formaban esas sustancias? Y puestos a hablar de elementos, ¿cuántos existen en la naturaleza? (con anterioridad a 1700, únicamente eran conocidos el antimonio, arsénico, azufre, carbono, cobre, estaño, fósforo, hierro, mercurio, oro, plata y plomo; durante el siglo siguiente se añadirían a la lista otros 21). Pero el problema de la estructura de la materia no se limita a cuáles son sus bloques fundamentales —elementos químicos—, ni en qué proporción intervienen. También está la cuestión de cómo se unen esos elementos para formar las diversas sustancias químicas; la cuestión, en definitiva, del enlace. Y

en este dominio poco cambió desde los tiempos de Lavoisier hasta Kekulé; más concretamente hasta 1858, cuando éste publicó un artículo en el que, después de ofrecer los argumentos por los que pensaba que el carbono —en torno al cual gira la poderosa química orgánica— debía tener una valencia igual a cuatro (esto es, que se une con cuatro átomos de un elemento monoatómico, o con dos de uno diatómico, etc.), sentó las bases esenciales de la denominada «teoría estructural» (estereoquímica). Lo que hizo en él Kekulé es postular que los átomos de carbono se pueden combinar entre sí formando cadenas, esto es, estructuras cerradas, cuando hasta entonces nadie había pensado que las combinaciones químicas pudiesen ser otra cosa que no fuesen estructuras lineales abiertas. En 1865 dio un nuevo paso en este sentido al presentar su teoría de la estructura del benceno, que para él tenía la forma de un anillo hexagonal con seis átomos de carbono interrelacionados y unidos a átomos de hidrógeno. «La pieza más brillante de la producción científica que puede encontrarse en toda la química orgánica», señaló Francis Japp en una conferencia conmemorativa en honor de Kekulé, pronunciada en 1898, añadiendo que en aquel momento «tres cuartas partes [de esa química] son directa o indirectamente producto de esta teoría». Se abrió entonces otro mundo a la química; podría incluso decirse que la arquitectura entró en esta rama de la ciencia. En palabras del historiador William Brock: «Kekulé transformó la química como después Picasso transformó el arte».

Explicado este logro, volvamos a las dimensiones socioeconómicas de la química orgánica.

Alemania, líder de la ciencia e industria química

Durante décadas la química orgánica alemana dominó el mundo científico e industrial internacional. Una pregunta que se puede plantear es por qué fue así. ¿No es, al fin y al cabo, la ciencia una empresa universal, que no conoce fronteras? Podrían haber contado con una ventaja inicial importante, como atestigua el caso de Liebig, pero una vez difundidos los resultados y métodos de éste, ¿no pudieron otros países desarrollar lo suficiente esa química para competir y también acaso desbancar a Alemania? En favor de esta posibilidad está, además, el hecho de que las puertas del laboratorio de Liebig, al igual que las de otros prolíficos maestros en la investigación y enseñanza de la química: Adolf von Baeyer (1835-1917), que ocupó cátedras en Berlín, Estrasburgo y Múnich, Emil Fischer (1852-1919; Múnich, Erlangen, Wurzburg y Berlín) y Franz Hofmeister (1850-1922; Praga y Estrasburgo), se encontraban abiertas no sólo para nacionales sino también para

extranjeros, y bastantes de éstos se beneficiaron de tal posibilidad. Más aún, algunos químicos orgánicos germanos se trasladaron a otros países. Uno de ellos, el ya citado estudiante de Liebig, August Hofmann, me sirve para ilustrar algunas de las razones del éxito alemán.

En 1845, Hofmann se trasladó, con la intervención personal del príncipe consorte Albert, el marido de la reina Victoria, a Londres, para intentar mejorar la enseñanza e investigación química en el nuevo Royal College of Chemistry. Allí, y hasta que regresó a su patria, cuestión de la que me ocuparé enseguida, Hofmann educó a prácticamente todos los químicos británicos involucrados en la química (e industria) de los tintes. Uno de sus estudiantes fue William H. Perkin (1838-1907), quien en 1856 encontró, partiendo del alquitrán, una sustancia de color violeta que denominó mauveína (por su semejanza con el color de las corolas de la flor de malva). Perkin era hijo de un tintorero y envió el producto a su padre, quien después de ensayarlo, lo empleó para teñir fibras textiles. Aquello fue el inicio de una importante industria, que no tardó demasiado en crecer rápidamente, fomentando la investigación y la enseñanza superior de la química.

La química orgánica británica se beneficiaba de esta manera de la aportación alemana, importando «cerebros», diríamos hoy. Pero Inglaterra no pudo, no supo, retener al gran cerebro, a Hofmann, que regresó a Alemania en 1865, tras aceptar una atractiva oferta del gobierno prusiano. La propuesta de su país significaba, por supuesto, un salario más elevado, pero había más: en Londres siempre tuvo que luchar en contra de estrecheces, mientras que en la Universidad de Berlín, cuyo Instituto de Química pasó a dirigir, se le ofrecían mejores instalaciones. La dinámica de la universidad alemana ya era muy superior a la de las restantes naciones europeas, mucho más ágil; las distintas universidades, apoyadas por los *lander*, trataban de conseguir a los mejores profesores, dotándoles con frecuencia de nuevos institutos. No fue sólo Hofmann el que regresó, otros químicos alemanes que habían emigrado a Gran Bretaña también volvieron. Y sabemos que la industria de colorantes artificiales británica comenzó a decaer hacia 1873, justo cuando la mayoría de aquellos científicos alemanes regresaron a su patria. Retornaron porque se les ofrecían mejores condiciones. Y se les ofrecían mejores condiciones porque la química se había institucionalizado, porque había atraído la atención del poder político e industrial. Asimismo, como se había institucionalizado, la investigación química continuó progresando y superando a la de otras naciones. Tan sencillo como una regla de tres, tan inevitable como la pescadilla que se muerde la cola, pero parece que más de un siglo después algunos países —España entre ellos— no han comprendido alguna de las lecciones que se extraen de ejemplos históricos como éste.

La síntesis electromagnética: Faraday y Maxwell

La otra rama de la ciencia que desempeñó un papel central en la institucionalización de la ciencia durante el siglo XIX fue la electricidad y el magnetismo, más correctamente, el electromagnetismo. Es hora de adentrarse en esta historia, que posee sus propias características (el protagonismo nacional estuvo más compartido, destacando en particular Gran Bretaña).



Hans Christian Oersted.



André-Marie Ampère.

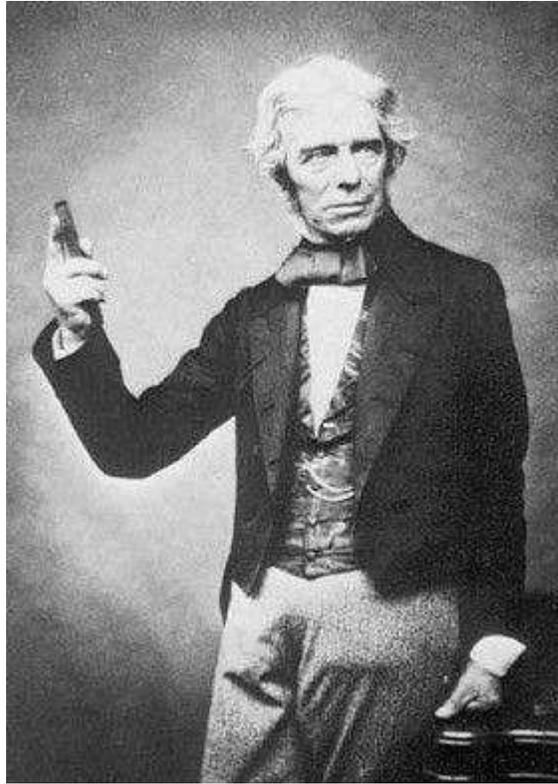
Fue a lo largo del siglo XIX cuando más se avanzó en el conocimiento de la electricidad y el magnetismo, fenómenos o propiedades conocidos desde la antigüedad. El núcleo principal de esos avances se encuentra, sin duda, en que, frente a lo que se suponía con anterioridad, electricidad y magnetismo no son fenómenos separados, sino que están interrelacionados. El punto de partida para llegar a este resultado crucial fue el descubrimiento realizado en 1820 por el danés Hans Christian Oersted (1777-1851) de que la electricidad producía efectos magnéticos (una corriente eléctrica desviaba una aguja imantada en los instantes en que se establecía o anulaba —esto es, cuando variaba— la corriente). La noticia del hallazgo del profesor danés se difundió rápidamente, y en París André-Marie Ampère (1775-1836) demostró experimentalmente que dos hilos paralelos por los que circulan corrientes de igual sentido se atraen, repeliéndose en el caso de que los sentidos sean opuestos. Poco después, Ampère avanzaba la expresión matemática que representaba aquellas fuerzas. Su propósito era el dar una teoría de la electricidad sin más que introducir esa fuerza (para él «a distancia») en las ecuaciones de la mecánica newtoniana; no en vano se le llamó «el Newton de la electricidad». Pero el mundo de la electricidad y del magnetismo resultó ser demasiado complejo como para que se pudiese cumplir semejante programa, como

se encargó de demostrar Michael Faraday (1791-1867), uno de los gigantes de la ciencia del siglo XIX, y, en general, de la ciencia de todos los tiempos.

El caso de Faraday no es frecuente en la historia de la física: su formación matemática era muy elemental; sin embargo, no sólo llevó a cabo descubrimientos experimentales básicos, sino que también introdujo conceptos, como las nociones de «líneas de fuerza» y de «campo», que en su momento se convirtieron en piezas fundamentales de la teoría electromagnética. Tampoco es frecuente encontrarse con científicos que dejaron su marca en diversas disciplinas científicas y tecnológicas, aunque en este punto hay que señalar la influencia que pudo tener en él el ejemplo de su maestro, Humphry Davy, cuyos descubrimientos no se limitaron a la química o a la física, sino también a lo que hoy denominaríamos «tecnología» (desarrolló, por ejemplo, la «lámpara Davy», que permitió que los mineros dispusiesen de una iluminación segura en galerías en las que abundaban gases explosivos).

Los primeros trabajos químicos de Faraday siguieron los caminos abiertos por su patrón y maestro, Davy, realizando importantes contribuciones a la química; como sus estudios sobre el cloro, que le llevaron a encontrar dos nuevos cloruros de carbono, o el descubrimiento, en 1825, del benceno, que, como ya sabemos, desempeñaría un papel central en los trabajos de August Kekulé sobre la estructura molecular. También contribuyó a la física de los gases, desarrollando (en 1823) métodos para licuarlos (sometiéndolos a presión), y llevó a cabo los primeros experimentos sobre la difusión de gases, un fenómeno señalado por vez primera por John Dalton, cuya importancia física fue puesta en evidencia más claramente por Thomas Graham (1805-1869) y Josef Loschmidt (1821-1895). Investigó las aleaciones del acero, y produjo nuevos tipos de vidrio para fines ópticos (una muestra de uno de estos vidrios se convirtió después en históricamente importante como el sustrato sobre el que Faraday detectó la rotación del plano de polarización de la luz cuando se sitúa el cristal en un campo magnético).

Pero todos estos trabajos, aunque importantes en sí mismos, han quedado un tanto oscurecidos en la memoria histórica por sus descubrimientos eléctricos, un dominio en el que, de hecho, se había introducido muy pronto, al menos en 1812, cuando construyó una pila voltaica con siete medios peniques, siete discos de lámina de zinc y seis piezas de papel mojado en agua salada. ¡Qué tiempos aquellos en que con semejante instrumento se podían realizar experimentos de relevancia!



Michael Faraday, fotografía de Maull y Polyblank, publicada en octubre de 1857.

En 1821, poco después de saber de los trabajos de Oersted, Faraday demostró que un hilo por el que pasaba una corriente eléctrica podía girar de manera continua alrededor de un imán, y viceversa, con lo que se vio que era posible obtener efectos mecánicos (movimiento) de una corriente que interacciona con un imán.

Diez años después, en 1831, Faraday dio un nuevo gran paso al descubrir la inducción electromagnética, un fenómeno que ligaba en general los movimientos mecánicos y el magnetismo con la producción de corriente eléctrica. Este fenómeno, que también descubrió (de hecho antes, aunque lo hizo público después que Faraday) el físico estadounidense Joseph Henry (1797-1878), representaba el efecto recíproco al descubierto por Oersted; ahora la variación de magnetismo producía electricidad, lo que reforzó la idea de que en lugar de hablar de electricidad y magnetismo había que referirse al electromagnetismo. Es importante señalar,

asimismo, que la inducción electromagnética tuvo una gran repercusión en el dominio de la técnica, al permitir construir los primeros motores, un transformador y una dinamo. Hay que resaltar, no obstante, que lo que le interesaba a Faraday no eran las aplicaciones prácticas, sino los principios que gobiernan el comportamiento de la naturaleza, y en particular las relaciones mutuas entre fuerzas en principio diferentes, aunque en realidad la anterior es una manera equívoca de expresarse: Faraday, como la mayoría de los pioneros del electromagnetismo o de la química orgánica, los Kelvin, Maxwell o Liebig, contemplaba el mundo de una manera integral; buscaba lo auténticamente básico, es cierto, lo fundamental, la *ciencia pura, por sí misma*, pero la perseguía —y la veía— en todo lo que la naturaleza, espontánea o «artificial», le ofrecía; una lección esta a la que después muchos científicos —no los verdaderamente grandes— no han dado demasiada importancia, y que ha conducido, entre otros efectos, a la ya señalada distinción radical y errónea entre ciencia «pura» y ciencia «aplicada», entre ciencia y tecnología.

J. Clerk Maxwell sobre el descubrimiento de Faraday de la inducción de las corrientes eléctricas en un artículo que publicó («Faraday») en la *Encyclopaedia Britannica*: En diciembre de 1824, Faraday había intentado obtener una corriente eléctrica por medio de un imán, y en tres ocasiones había realizado intentos elaborados pero infructuosos para producir una corriente en un hilo por medio de una corriente en otro hilo, o por un imán. Perseverando, el 29 de agosto de 1831 obtuvo la primera evidencia de que una corriente eléctrica puede inducir otra en un circuito diferente. El 23 de septiembre escribe a su amigo R. [Richard] Phillips: «Ahora estoy ocupado de nuevo con el electromagnetismo y creo que he conseguido una cosa buena, pero no estoy seguro. Acaso sea una mala hierba en lugar de un pez lo que, después de todo mi trabajo, pueda finalmente sacar». Este fue el primer experimento en el que tuvo éxito. Tras nueve días más de experimentos, había llegado a los resultados descritos en su primera serie de las «Investigaciones Experimentales» leídas en la Royal Society el 24 de noviembre de 1831. Mediante un intenso esfuerzo mental, en menos de tres meses desde su primer desarrollo, Faraday había llevado la nueva idea a un estado de madurez perfecta. La magnitud y originalidad de su logro puede estimarse esbozando la historia que siguió a su descubrimiento. Como era de esperar, enseguida fue objeto de investigación por todo el mundo científico, pero algunos de los físicos más experimentados fueron incapaces de evitar errores al exponer, en lo que imaginaban era un lenguaje más científico que el de Faraday, los fenómenos que tenían ante ellos. Hasta el momento presente, los matemáticos que han rechazado el método empleado por Faraday para formular su ley, como indigno de la precisión de su ciencia, no han tenido éxito en concebir fórmulas esencialmente diferentes

que expresen completamente los fenómenos, sin introducir hipótesis acerca de la acción mutua de objetos que no tienen existencia física, tales como elementos de corrientes que fluyen surgiendo de la nada, luego van por un hilo, y finalmente se sumergen de nuevo en la nada. Tras casi medio siglo de esfuerzos de este tipo, podemos decir que, aunque las aplicaciones prácticas del descubrimiento de Faraday han aumentado, creciendo en número y valor cada año, no se ha descubierto ninguna excepción a la formulación de estas leyes tal como las dio Faraday, no se ha añadido ninguna nueva ley, y la formulación original de Faraday permanece hasta el día de hoy como la única que expresa exactamente aquello que se puede verificar por experimentos, y la única mediante la cual la teoría de los fenómenos se puede expresar de una manera que es exacta y numéricamente precisa y a la vez dentro del rango de los métodos elementales de exposición.

La intuición natural y habilidad experimental de Faraday hicieron avanzar sustancialmente el estudio de los fenómenos electromagnéticos, pero para poder desarrollar una teoría general del electromagnetismo se necesitaba otro tipo de científico. No hubo que esperar mucho, ni alejarse de Gran Bretaña para que tal personaje, el escocés James Clerk Maxwell (1831-1878), apareciese.

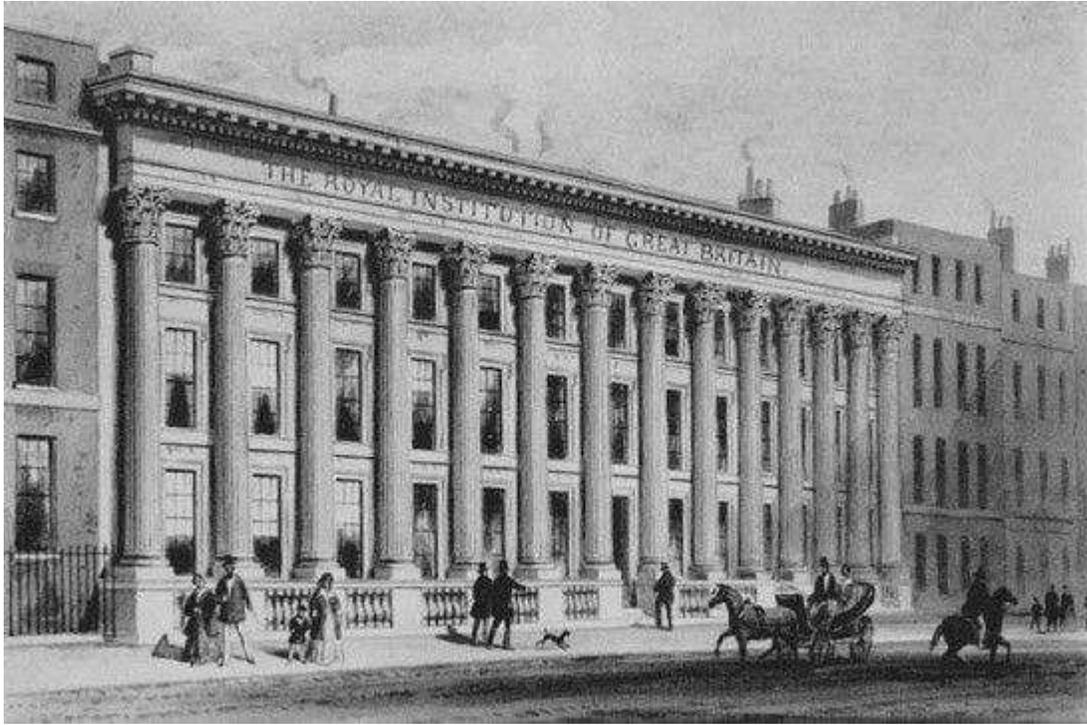
Limitarse a hablar de Maxwell únicamente a propósito del electromagnetismo es comprensible, pero al historiador de la ciencia le sangra el alma verse obligado a sacrificar otros aspectos de su obra científica. En mi opinión, en una hipotética escala de los «mejores físicos de todos los tiempos», sólo le precederían sin duda Isaac Newton y Albert Einstein. Da idea, aproximada claro está, de su grandeza unas hermosas frases que le dedicó en 1888, con relación a sus trabajos sobre física estadística y teoría cinética de los gases, uno de sus mayores admiradores, un gran científico él mismo, Ludwig Boltzmann (1844-1906):

Un matemático reconocerá a Cauchy, Gauss, Jacobi, Helmholtz después de leer unas pocas páginas, al igual que los músicos reconocen, a partir de las primeras líneas del pentagrama, a Mozart, Beethoven o Schubert. Una suprema elegancia externa pertenece a los franceses, aunque en ocasiones esté combinada con alguna debilidad en la construcción de las conclusiones; el mayor vigor dramático pertenece a los ingleses, y sobre todo a Maxwell. ¿Quién no conoce su teoría dinámica de los gases? En primer lugar, se despliegan las variaciones de las velocidades en un orden majestuoso; a continuación entran por un lado las ecuaciones de estado, y del otro las ecuaciones del movimiento central; surge con frecuencia cada vez mayor una riada caótica de fórmulas, hasta que de repente resuenan las cuatro palabras: «Hagamos $n = 5$ », y el maligno demonio V [la velocidad relativa de dos moléculas] desaparece, igual que una salvaje y superpoderosa nota puede ser reducida repentinamente al silencio en el violón.

Como si una aparentemente desesperada confusión fuese puesta en orden con una varita mágica. No hay tiempo para explicar por qué se hace una u otra sustitución; dejemos que aquel que no lo sienta en sus huesos abandone el libro. Maxwell no es un compositor de programas de música que tenga que introducir su obra con una explicación escrita. Obedientemente, sus fórmulas proporcionan resultado tras resultado, hasta que alcanzamos el efecto final de sorpresa. El problema del equilibrio térmico de un gas pesado ha sido resuelto y el telón cae.



John. F. Daniell y M. Faraday en 1841.



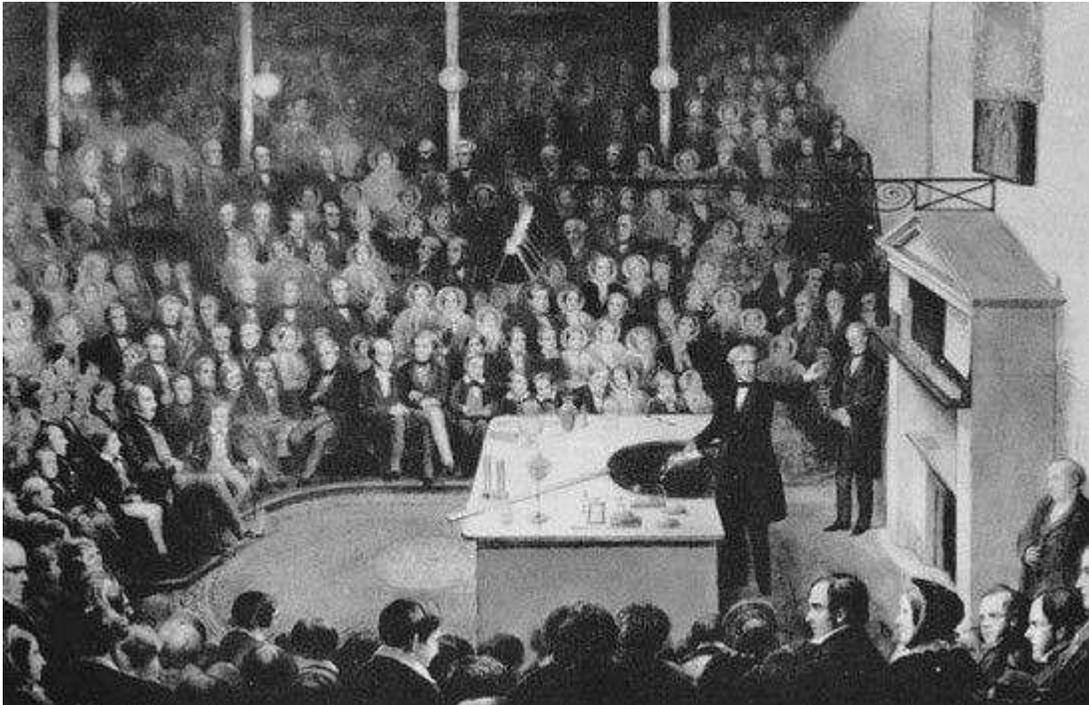
La Royal Institution de Londres.



Electroimán de herradura utilizado por Faraday.

Maxwell fue capaz de unir todos los cabos sueltos que proliferaban en la electricidad y el magnetismo, matematizando también algunos de los conceptos de Faraday (como el de las líneas de fuerza) e introduciendo ideas nuevas formuló una teoría completa del campo electromagnético, que plasmó sobre todo en un célebre artículo de 1865 titulado «A dynamical theory of the electromagnetic field» («Una teoría dinámica del campo electromagnético») y desarrolló luego en su *Treatise on Electricity and Magnetism* (*Tratado de electricidad y magnetismo*) de 1873. Y como siempre ocurre cuando se dispone de una nueva teoría auténticamente fundamental, ésta no sólo describe aquellos fenómenos para los que fue diseñada en principio, sino que explica y predice otros. En el caso del electromagnetismo fue el propio Maxwell quien ya, al menos en 1861, en uno de sus artículos fundacionales sobre la teoría del campo electromagnético, se dio cuenta de que la luz era también un campo electromagnético. «Desarrollé —escribía a William Thomson (1824-1907), el futuro lord Kelvin, el 10 de diciembre de 1861— las

ecuaciones del campo antes de sospechar, en forma alguna, la proximidad entre los dos valores de la velocidad de propagación de efectos magnéticos y de la luz, de manera que supongo que tengo motivos para creer que los medios magnético y luminífero son idénticos.» Al mundo científico, la noticia de que la luz debía considerarse como una onda electromagnética le llegó a través de un artículo que publicó, también en 1861, en la revista científica *Philosophical Magazine*: «On physical lines of force» («Sobre líneas físicas de fuerza»). Más de ciento cuarenta años después, todavía se puede apreciar la excitación que sentía Maxwell cuando escribió allí: «Difícilmente podemos evitar la inferencia de que *la luz consiste de ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos eléctricos y magnéticos*».



Faraday pronunciando una conferencia en la Royal Institution ante el Príncipe Consorte y el Príncipe de Gales.

En otras palabras, ya no tenía sentido hablar, por separado, de óptica, electricidad y magnetismo. En particular, la óptica pasaba a verse englobada en el electromagnetismo.

J. Clerk Maxwell expresó su deuda con Faraday en el «Prefacio a la primera edición» (1 de febrero de 1873) de su *A Treatise on Electricity and Magnetism*: Según avanzaba en el estudio de Faraday, me di cuenta de que su método de concebir los fenómenos era también matemático, aunque no viniese presentado en la forma convencional de símbolos matemáticos. También encontré que estos métodos eran capaces de ser expresados en las formas matemáticas ordinarias, y así comparados con los de los propios matemáticos. Por ejemplo, Faraday vio, con el ojo de su mente, líneas de fuerzas atravesando todo el espacio, allí donde los matemáticos veían centros de fuerza atrayendo a distancia; Faraday vio un medio en donde ellos sólo veían distancia; Faraday buscó el asiento de los fenómenos en acciones reales que se propagaban por el medio... Un punto que merece la pena señalar es el de la recepción de la teoría electromagnética de Maxwell. Muchos, especialmente los profanos en ciencia, piensan que la *Verdad* científica es, una vez encontrada, incuestionable y que se difunde rápidamente en el mundo de los científicos. Sin embargo, no siempre esto es así, siendo muchos los motivos que explican semejante hecho. La percepción de lo que es correcto o no, y la dificultad de demostrar sus predicciones (nunca, de hecho, se puede probar completamente una teoría), es uno de esos motivos. Un segundo es la complicación de la nueva formulación; complicación, por ejemplo, en su presentación; un obstáculo este frecuente y que suele ir desapareciendo con el tiempo, al ir apareciendo presentaciones más simples, elegantes o didácticas. A este último rango pertenecen los problemas que encontró en su difusión la teoría electromagnética de Maxwell. Heinrich Hertz (1857-1894), quien en 1888 suministró una de las demostraciones más trascendentales de la corrección de la teoría electromagnética de Maxwell —la existencia de la radiación electromagnética—, se refirió a esta dimensión de la formulación maxwelliana en la «Introducción» de un libro que incluía una recopilación de sus escritos, publicado en 1892, en la que encontramos párrafos tan sustanciales como los siguientes:

Y ahora, para ser más preciso, ¿qué es lo que llamamos la teoría de Faraday-Maxwell? Maxwell nos ha dejado como resultado de su pensamiento maduro un gran tratado sobre Electricidad y Magnetismo; podría, por consiguiente, decirse que la teoría de Maxwell es la que se promulga en ese trabajo. Pero tal respuesta difícilmente será considerada satisfactoria por todos los científicos que han considerado de cerca la cuestión. Muchas de las personas que se han lanzado con celo al estudio del libro de Maxwell, e incluso aquellas que no han tropezado en las inusitadas dificultades matemáticas, se han visto obligadas, a pesar de todo, a abandonar la esperanza de formarse por sí mismas una visión consistente completa de las ideas de Maxwell. Yo mismo no he tenido mejor suerte. A pesar de tener la mayor admiración posible por las concepciones matemáticas de Maxwell, no

siempre me he sentido seguro de haber captado el significado físico de sus afirmaciones. Por consiguiente, no me ha sido posible guiarme en mis experimentos directamente por el libro de Maxwell. Más bien he sido guiado por el trabajo de Helmholtz, como de hecho se puede comprobar claramente de la manera en que mis experimentos han sido planteados. Pero desgraciadamente, en el caso especial límite de la teoría de Helmholtz que conduce a las ecuaciones de Maxwell, y a la que señalan los experimentos, la base física de la teoría de Helmholtz desaparece, como de hecho ocurre siempre, tan pronto como se deja de lado la acción a distancia.



James Clerk Maxwell.

El electromagnetismo y la institucionalización de la ciencia

La secuencia de avances en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos que acabo de esbozar, centrándome especialmente en Faraday y Maxwell, sirve para hacerse una idea de cómo se desarrolló un sistema teórico y experimental —la, ahora, denominada «electrodinámica clásica» (también «maxwelliana»)—, cuya importancia y papel en la comprensión de la naturaleza no

es menor que el de la dinámica y teoría de la gravitación universal newtonianas. Al mismo tiempo, he aprovechado la ocasión para presentar a dos gigantes de la ciencia de todos los tiempos: Faraday y Maxwell. Pero lo que en este capítulo me interesa sobre todo con relación a la física del electromagnetismo es mostrar el servicio que ésta prestó a la institucionalización de la ciencia que tuvo lugar durante el siglo XIX, y para ello, para resaltar las conexiones, de todo tipo, de la ciencia, de la ciencia electromagnética en este caso, con la sociedad, tengo que volver hacia atrás, ya que esos contactos, ese beneficio mutuo, no necesitó de la existencia de una teoría electromagnética acabada, tal y como aparecía, por ejemplo, en el *Treatise on Electricity and Magnetism* de Maxwell. Tengo, en concreto, que referirme a una de las grandes aplicaciones de la ciencia de la electricidad y magnetismo del siglo XIX: la telegrafía.



Maxwell y su esposa en Escocia (c. 1875).

Tras el descubrimiento de Oersted y de que Johann Schweigger (1779-1857) y Johann Poggendorff (1796-1877) —destacados físicos al igual que editores de dos de las revistas científicas más importantes alemanas: el *Journal für Chemie und Physik* y el *Annalen der Physik und Chemie*, respectivamente— construyesen, en 1820 y 1821,

los primeros galvanómetros, Ampère y Laplace propusieron la idea de telégrafos electromagnéticos que utilizasen carretes (solenoides) y agujas magnéticas en el extremo receptor, en un número igual al de los caracteres que se deseaban emplear en la transmisión. De hecho, Harrison Gray Dyar construyó una línea telegráfica en Long Island, Nueva York, que funcionó entre 1828 y 1829, en la que los mensajes se recogían en una banda de papel mediante procedimientos electroquímicos. En 1830 el físico estadounidense, ya citado, Joseph Henry construyó también una línea telegráfica de poco más de 300 metros, lo mismo que hicieron Wilhelm Weber (1804-1890) y Johann Karl Friedrich Gauss en Gotinga en 1833, aunque en aquella ocasión llegaron al kilómetro y medio de longitud.

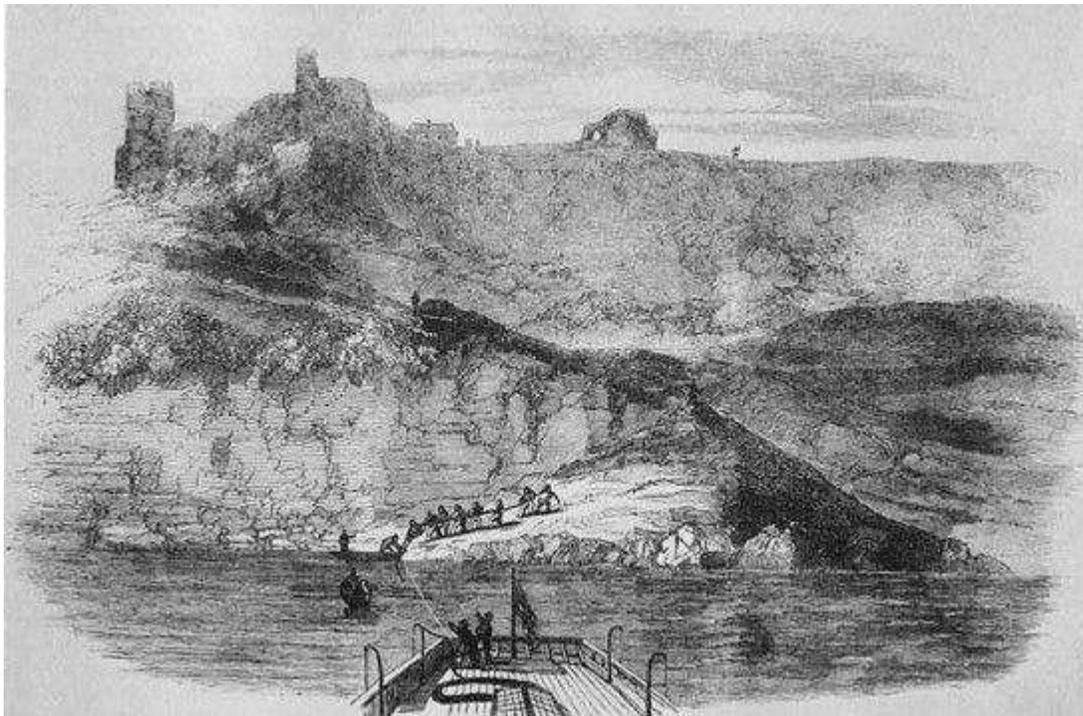
Hasta entonces se puede decir que, en esencia, la electricidad no pasaba de ser uno de los atractivos juguetes de la filosofía natural con el que, por ejemplo, un sabio apellidado Faraday practicaba en la Royal Institution londinense, y que algunos inventores parecían tomar en serio. Pero pronto cambiaría la situación de manera drástica, y aquellos inventores aventureros pasarían a ser considerados pioneros por amplios estratos sociales. Los primeros en hacer de la telegrafía un éxito comercial fueron dos británicos, William F. Cooke (1806-1879), un oficial del ejército británico que al regresar de la India asistió a una demostración práctica de la telegrafía en la Universidad de Heidelberg, y Charles Wheatstone (1802-1875), profesor del King's College de Londres, esto es, un filósofo natural (físico), pero uno que no desdeñaba en absoluto las aplicaciones prácticas de su disciplina, la física. Sus primeros intentos de telegrafía se realizaron en 1837, con una línea entre Euston y Camden Town, en Londres. Además de conseguir desarrollar un sistema comercial de telegrafía eléctrica, fueron capaces de persuadir a los ferrocarriles para que adoptasen su sistema, algo importante en un momento en que el ferrocarril se estaba extendiendo rápidamente. En 1846, nueve años después de haber entrado en el campo, Cooke y Wheatstone vendieron sus patentes a la Electric Telegraph Company, la primera gran empresa británica dedicada a explotar industrialmente la telegrafía. En 1868, existían en el Reino Unido 4.119 oficinas telegráficas y cerca de 40.000 kilómetros de líneas. En 1870, la profesión de «ingeniero telegrafista» había llegado al punto de que se crease una Society of Telegraph Engineers (Sociedad de Ingenieros de Telegrafía). Y, recuérdese una vez más, la creación de sociedades profesionales constituye el primer paso hacia la institucionalización.



Charles Wheatstone.

Naturalmente la historia del desarrollo de la telegrafía no se limita a Inglaterra (aunque también es cierto que esta nación mantuvo durante bastante tiempo una posición dominante en este campo); en una descripción medianamente completa habría que referirse también a, por ejemplo, al estadounidense Samuel Finley Morse (1791-1872), que en abril de 1838 obtuvo una patente de un sistema que incorporaba la idea de su luego famoso código. Pero no es mi intención entrar en esta cuestión. Lo que me interesa es que se entienda que las aplicaciones del electromagnetismo ya se abrían camino, con fuerza creciente, en la década de 1840, cuando Maxwell ni siquiera se había graduado en Cambridge (lo hizo en 1854). En este sentido, no se puede decir —vuelvo a una cuestión que apunté antes— que el conocimiento científico guiase al práctico, que la ciencia pura precediese a la aplicada. Como en muchos otros casos, anteriores y posteriores, la relación ciencia-tecnología resultó ser más complicada, y más rica también, que la contenida en tantos cantos a la belleza y valor —que, por supuesto, existen, pero hay más— del conocimiento científico puro, por sí mismo, previo a intereses, se dice, *aplicados* que prostituyen la esencia de la ciencia. Así, aunque el descubrimiento (científico)

de Oersted había dado pie a imaginar la posibilidad (práctica) de la telegrafía, una vez abierta la puerta de aquella posibilidad, inventores, emprendedores y científicos emprendieron, juntos o por separado, la lucha por lograr hacer realidad tal idea. A lo largo de ese camino, la ciencia siguió aportando beneficios a la, como diríamos hoy, tecnología (los trabajos de Faraday, Wheatstone o William Thomson, por ejemplo), pero también aquella se benefició de ésta. Se ha argumentado en este sentido que la noción de campo de Faraday, esencial para el desarrollo de la teoría electromagnética, es acreedora al descubrimiento del retraso que sufría la corriente eléctrica cuando era transmitida a lo largo de grandes distancias de cables telegráficos subterráneos.

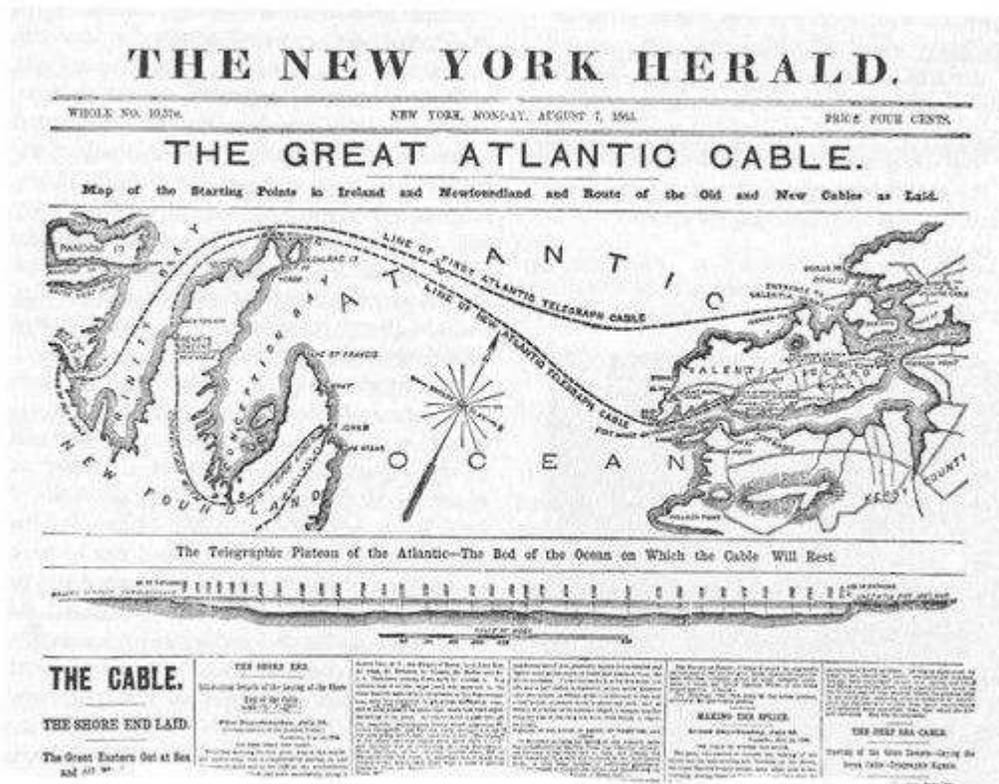


Llegada a tierra (Crimea, 1855) de un cable telegráfico submarino.

El caso de William Thomson/Kelvin es particularmente significativo: comenzó a interesarse en la telegrafía por cable por los alrededores de 1853-1854, y continuó ocupándose de ella durante el resto de su vida; una actividad que no sólo le reportó dinero y fama social, sino que también tuvo un profundo efecto en los problemas científicos de que se ocupó, e incluso, como han señalado sus más

recientes biógrafos (Smith y Wise), en la manera en que concibió los fenómenos electromagnéticos. Finalmente no podemos olvidar que el éxito de la telegrafía repercutió favorablemente en los físicos. Entre 1854 y 1867 dobló su tamaño la red telegráfica británica. El precio de un mensaje se redujo a la mitad y el volumen de comunicaciones se cuadruplicó. Obviamente aumentó también la oferta de trabajo en la producción y utilización de conductores eléctricos, aislantes, baterías e instrumental telegráfico, lo que a su vez creó una fuerte demanda de instrucción en telegrafía e, indirectamente, en electricidad. Los Royal Engineers, que durante la guerra de Crimea habían aprendido a valorar el nuevo medio de comunicación, establecieron en 1857 una Escuela Telegráfica Militar en Chatham, que instruyó a cientos de oficiales y soldados en los rudimentos de la electricidad, química y telegrafía. Los talleres industriales en los que se fabricaban aquellos materiales e instrumentos también fueron utilizados para formar especialistas. Pero ni Chatham ni los talleres servían para resolver los nuevos problemas que, inevitablemente, terminaban apareciendo. Se necesitaban otros centros. Uno de ellos fue el laboratorio de Kelvin en Glasgow (en realidad, este laboratorio, situado en un sótano desocupado, no estaba reconocido oficialmente por la universidad, de la que Thomson era catedrático). A finales de la década de 1850 y principios de la de 1860, aquel laboratorio fue el único centro universitario en el que se podía obtener algún tipo de enseñanza teórica y práctica relativa a la electricidad. Esto fue posible en gran medida debido a que Thomson estaba implicado en el desarrollo de la telegrafía, no porque su universidad o la sociedad reconociesen el valor de sus trabajos. Con James White, Thomson había fundado una compañía que generaba problemas que luego se intentaban resolver en su laboratorio. En 1859, por ejemplo, cerca de veinte estudiantes estaban trabajando allí sobre instrumentos telegráficos, galvanómetros, unidades de resistencia, etc. La decisiva participación de Thomson en el establecimiento de un cable submarino en 1866 entre las Islas Británicas y Norteamérica (tema al que volveré enseguida), le reportó una gran fama. Su universidad quiso agradecerle el reconocimiento que a través suyo estaba recibiendo, construyéndole un nuevo laboratorio, que fue inaugurado en 1870. Entre 1866 y 1874, cuando la construcción de líneas telegráficas submarinas estaba en su apogeo, el laboratorio de Thomson se vio inundado de estudiantes que querían convertirse en «ingenieros telegráficos»; esto es, la universidad (su laboratorio de física, más bien) desempeñaba las funciones de una Escuela Politécnica. De hecho, no existieron en Gran Bretaña laboratorios de ingeniería hasta 1878, lo que obligaba a los jóvenes que querían convertirse en lo que hoy denominamos «ingenieros» a recibir su instrucción práctica bien en industrias, como aprendices, bien en laboratorios de física en los que, como en el de Kelvin, la electricidad ocupase una posición dominante. Esto ayudó, evidentemente, a la física, y en este sentido se puede decir que la telegrafía favoreció claramente la

institucionalización de la ciencia física: entre 1878 y 1900 se establecieron 15 laboratorios de ingeniería eléctrica en Gran Bretaña.



El gran cable telegráfico submarino transatlántico que unía Europa y Norteamérica según la prensa de 1865.

Una vez en funcionamiento los cables telegráficos terrestres (aéreos o enterrados) y en constante expansión, era difícil evitar que se intentase utilizar el mismo principio para comunicar lugares separados por el mar. Hasta cierto punto era un servicio más necesario que el terrestre, ya que las comunicaciones por mar eran mucho más lentas y difíciles que por tierra. Fue en la India, en una fecha tan temprana como 1839, en donde un tal O'Shanghuessy, que se ocupaba del establecimiento de líneas telegráficas terrestres, sumergió un cable de cobre en el Ganges, cerca de Calcuta. Las señales fueron transmitidas de una orilla a otra, con lo que se demostraba experimentalmente las posibilidades de esta forma de

comunicación. En 1840, Wheatstone presentaba a la Cámara de los Comunes un proyecto de cable telegráfico submarino para unir Dover y Calais. Indicó los medios de ejecución y la forma de construir el cable, pero el material conductor que proponía tenía unas propiedades de conducción eléctrica tan malas que ni siquiera se lo pudo someter a ensayos. Existía, además, un problema importante: la conductibilidad del agua salada exigía que cualquier cable depositado en el fondo marino estuviese recubierto de un buen aislante para que no perdiera la electricidad que pasaba por él. Ocurría, no obstante, que las sustancias naturales que podrían servir de revestimiento aislante o eran muy caras o, como el caucho, se deterioraban rápidamente en el medio marino.

En 1849 esta situación cambió radicalmente con la introducción en Europa, procedente de China, de un nuevo material muy parecido al caucho, pero que tenía sobre éste la gran ventaja de ser inalterable con el agua, dulce o salada: la gutapercha. Con ella de recubrimiento se logró, tras un intento fallido, unir Dover y Calais. Un año más tarde, la línea se completaba uniendo directamente Londres y París. Otras líneas continuaron los años siguientes a lo largo y ancho del mundo.

En vista de estos logros era natural que pronto surgiese la idea de unir telegráficamente Gran Bretaña con el continente americano. Así fue. El 20 de octubre de 1856 se formó —básicamente, con capital británico y estadounidense— la Atlantic Telegraph Company. No iba a ser, sin embargo, una empresa fácil de llevar adelante. Las dificultades técnicas de todo tipo eran muy numerosas y aunque el primer cable se instaló en 1857, no se consiguió depositar uno que funcionase hasta 1866. William Thomson fue el máximo responsable de que se pudiesen superar todas las dificultades científico-tecnológicas, y por ello la reina Victoria le premió con el título de «sir», al que años más tarde seguiría el de «lord».



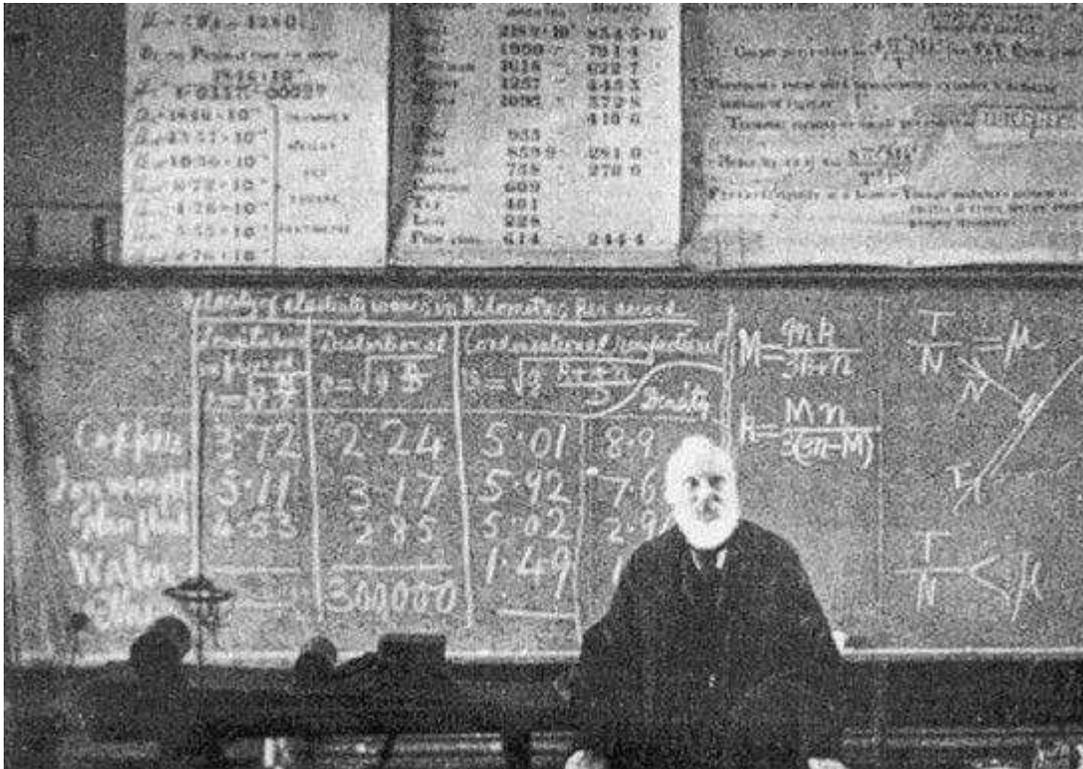
Lord Kelvin. Caricatura publicada en *Vanity Fair Album* (1897).

El impacto popular de semejante acontecimiento fue muy grande. Al fin y al cabo se había conseguido reducir una larga travesía marítima a unos breves instantes, en lo que a comunicaciones se refiere. En ninguna otra época de la historia de la humanidad, incluida la presente, a pesar de toda la tecnología electrónica disponible, se produjo una ruptura cualitativa de orden parecido. Políticos, militares, hombres de negocios —toda la sociedad, en definitiva— tuvieron que aprender nuevos modos de comportamiento. Cambió el mundo, el mundo de la política, el mundo de los negocios y el de las relaciones internacionales. Más correctamente: la física de la electricidad y el magnetismo cambió el mundo, y nadie pudo dejar de advertir este hecho. La ciencia dejaba así el estrecho dominio de los gabinetes, las aulas o las reales academias y entraba en los hogares, que ya se podían iluminar de otra manera, con luz «blanca», en los transportes, con trenes

eléctricos subterráneos que ahora llamamos «metros», en las comunicaciones, en la industria, en la política; en definitiva, en todas partes.

Hay que señalar también que aunque me he estado refiriendo hasta ahora a Gran Bretaña, no fue allí en donde únicamente se produjo el fenómeno que he esbozado. Alemania, que consideré a propósito de la química orgánica, constituye otro ejemplo magnífico, en algunos apartados más completo y desarrollado, desde el punto de vista industrial y económico, que el británico.

En el desarrollo e institucionalización de la ciencia física germana influyeron una serie de circunstancias de índole política y socioeconómica. A comienzos de la década de 1870 la física tenía algo que la sociedad alemana necesitaba: habilidad para suministrar conocimientos teóricos y prácticos en campos como la electricidad, la óptica y la termodinámica, que eran sumamente útiles para la industria. Favorecido por el establecimiento, en 1871, del Segundo Reich, que llevó estabilidad política a los estados alemanes, hacia el último cuarto del siglo XIX estaba en marcha el desarrollo industrial alemán, con sus industrias de alta tecnología (eléctricas, químicas, ópticas, del vidrio, metalúrgicas, instrumentos de precisión) y, al contrario que en otras naciones, en Alemania, como también mencioné con relación a la química orgánica, se estableció con frecuencia una relación fluida e intensa entre ciencia e industria, como denota el repentino crecimiento experimentado por el número y condiciones de los institutos de física, que coincidió con un hecho histórico clave en la industria eléctrica, las mejoras en el principio de la dinamo introducidas en la década de 1860 por Werner von Siemens y otros (posteriormente continuó siendo mejorada, por ejemplo, por Edison en la década de 1870; expresado de manera muy elemental, una dinamo es un dispositivo de transformación de energía: se aplica una cierta cantidad de potencia a la caja de la armadura para mantenerla en rotación, y la máquina produce corriente eléctrica mientras barre los terminales).



Lord Kelvin dictando su última clase (1899).

Todas esas industrias eran «hijas de la física» y estaban dispuestas a reembolsar a su madre por sus servicios. Se trataba, además, de las industrias responsables de la rápida industrialización alemana, de sacarla de la Gran Depresión de 1873-1896, y de convertirla en el principal poder económico mundial de principios del siglo XX. En otras palabras, el Estado que Bismarck estaba intentando construir necesitaba fomentar el desarrollo industrial, y por tanto requería —y así lo reconoció— de un grupo numeroso de profesionales y funcionarios con formación en ciencia y tecnología. Por este motivo, estuvo dispuesto a apoyar nuevas instituciones científico-tecnológicas, dotándolas, así como a las ya existentes, con mayor generosidad de como se había hecho en el pasado. Si hacia 1865 Alemania disponía de unos pocos, y en buena medida anticuados, gabinetes, albergados en locales construidos para otros fines, y un número todavía menor de laboratorios, en 1914 —el año que comenzó la Primera Guerra Mundial— cada una de sus 21 universidades disponía de avanzados laboratorios en edificios cuya construcción había costado cientos de miles de

marcos y que estaban dotados con presupuestos bastante generosos. Si hacia 1865 la asistencia a las clases de física raramente alcanzaba cifras superiores a los cincuenta alumnos, en 1914 los nuevos laboratorios eran capaces de instruir a cien o más estudiantes. Si con anterioridad a 1865 no existía más de un ayudante de física en ninguna universidad, en 1914 muchos institutos disponían de tres o cuatro asistentes.

¿Sorprenderá a alguien que en aquel medio surgieran en el nuevo siglo, el XX, personajes como Albert Einstein, Max Planck, Fritz Haber, Werner Heisenberg, Richard Willstätter, Otto Hahn o Max Born? No, claro que no. Aunque siempre es conveniente pensar que somos padres de nuestro futuro, sabemos muy bien que también somos hijos de nuestro pasado.

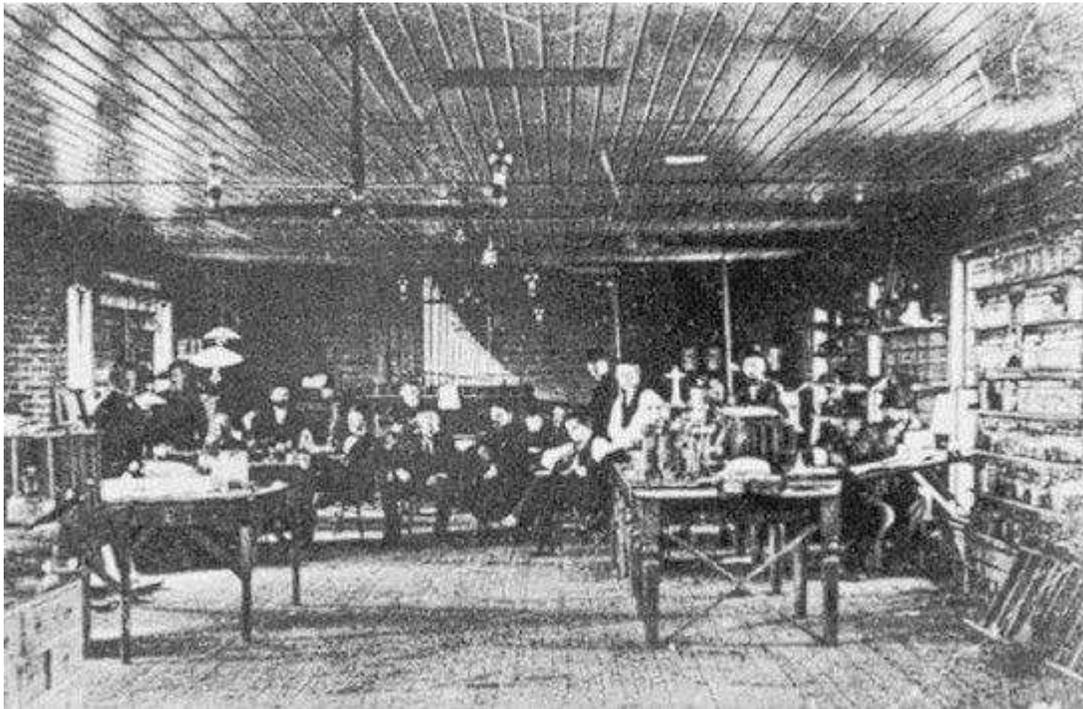
Un nuevo mundo: las ondas hertzianas

Ninguna exposición sobre la ciencia del electromagnetismo del siglo XIX estaría completa sin mencionar las ondas hertzianas. Ya aludí a ellas, mientras repasaba las principales contribuciones de Maxwell, pero fue muy de pasada e indirectamente; ahora sí es el momento, aunque no con mucha más extensión, de detenerme en ellas para terminar así este capítulo.

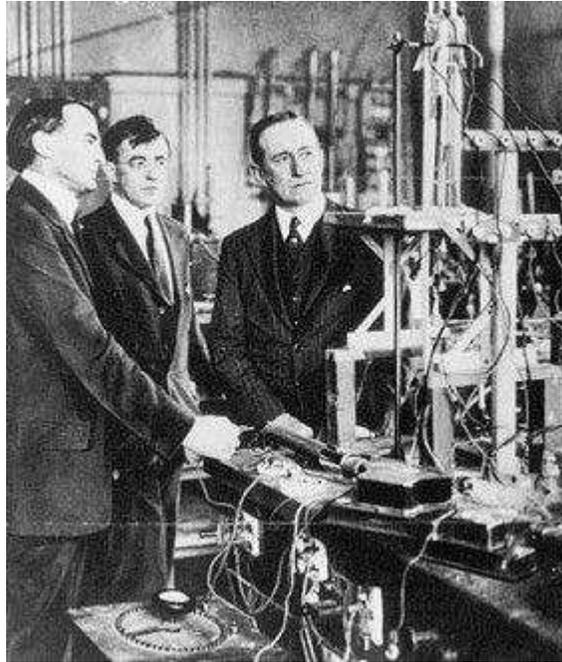
Todo comenzó con otra de las predicciones de la teoría de Maxwell: la existencia de radiación electromagnética; o, lo que es lo mismo, la emisión de ondas electromagnéticas, de energía, cuando se aceleran cuerpos cargados. Como ya señalé, esta predicción fue demostrada experimentalmente en 1888 por un antiguo estudiante de Helmholtz, Heinrich Hertz. El trabajo de Hertz atrajo atención inmediatamente al problema de la comunicación sin hilos. El prolífico inventor Thomas Alva Edison (1847-1931) y Nikola Tesla (1856-1943) en Estados Unidos, Oliver Lodge (1851-1940) y William Preece (1834-1913) en Inglaterra, y algunos otros, realizaron contribuciones en este sentido, pero fue el italiano Guglielmo Marconi (1874-1937) quien con más ahínco y habilidad combinó estos conocimientos para producir un sistema que, por primera vez, permitió la comunicación sin utilizar cables por los que circulase corriente eléctrica. ¿Quiere alguien hablar de nuevos mundos? Pues aquí se encuentra uno. Y de los más llamativos y sorprendentes.

Los hitos principales en la carrera de Marconi más relevantes en este contexto se pueden resumir en los siguientes: en 1895 realizó los primeros

experimentos en su casa de Bolonia, siendo pronto capaz de extender el alcance de sus transmisiones desde su casa al jardín y después a distancias de entre uno y dos kilómetros; en 1896 obtenía su primera patente, trasladándose a Inglaterra al año siguiente con el fin de que sus proyectos prosperasen; en 1898 lograba conectar la bahía de Alum, en la isla de Wight, con Bourne mouth, separados por una distancia de algo más de 20 kilómetros; en 1899 establecía la primera conexión internacional entre Folkestone y Boulogne (52 kms.), transmitiendo los primeros mensajes en abril; en 1900 formaba la Marconi International Marine Communications Company.



Laboratorio de Thomas A. Edison (en el centro) en Menlo Park (28 de febrero de 1880).



Guglielmo Marconi (a la derecha) en su laboratorio.

Ahora bien, es importante señalar que, al contrario de lo que se puede pensar en un mundo como el actual, dominado por las transmisiones electromagnéticas, a comienzos del siglo XX las aplicaciones prácticas de la telegrafía sin hilos eran escasas; de hecho, se pueden resumir fácilmente: comunicaciones marinas, entre barcos y tierra, o entre barcos entre sí, un mercado importante, pero nada comparable al que caracteriza hoy a esta tecnología. La radio no figuraba entre los pensamientos de Marconi, y en lo que se refiere a comunicaciones individuales a larga distancia, en realidad la telegrafía con hilos tuvo poco que temer de la sin hilos hasta el redescubrimiento de las ondas cortas en la década de 1920. Marconi supo, sin embargo, ver las posibilidades reales existentes y sacar partido de ellas; tuvo fe en las posibilidades de lo que estaba haciendo, una cualidad que no tuvieron, por ejemplo, Oliver Lodge o el físico ruso Alexander Popov (1859-1905), quienes muy probablemente dominaban las técnicas radiotelegráficas mejor que el emprendedor italiano. ¿Para qué, debió de pensar Lodge, una vez logró que funcionase su sistema experimental de radiocomunicación en 1894, preocuparse por sus aplicaciones a la comunicación, si existían problemas para poder implementarla en gran escala, mientras que la telegrafía con hilos funcionaba bastante bien? Tal vez uno de los problemas era que Lodge pertenecía a una nación

—la inglesa— que mantenía un liderazgo en la telegrafía sin hilos (ser el primero no siempre es lo mejor), mientras que Marconi no.

Tampoco debemos olvidar otro aspecto: el atractivo, el encanto casi se podría decir, que las ideas y logros de Marconi tenían para el gran público, independientemente de su posible rentabilidad o aplicación masiva. Esta popularidad, estos programas de investigación y desarrollo que fácilmente se podían imaginar, especialmente por aquellos que sin responsabilidades comerciales podían permitirse el lujo de dejar volar la imaginación, cumplieron también su función al fomentar la ciencia, por un lado, y la tecnología dependiente fuertemente de la ciencia, por otro. Afortunadamente no todos los desarrollos históricos se pueden explicar reduciéndolos a explicaciones socioeconómicas o políticas, a lo que la ciencia y la tecnología permiten o no en un momento determinado. La condición humana es más rica y plural, más imprevisible también, que todo eso. Debemos reconocer, y fomentar, el valor de la ciencia como instrumento de conocimiento y de cambio, de liberación material al igual que espiritual, pero no debemos olvidar, o cerrar los ojos, al valor de la ilusión, de la esperanza y de la convicción. Aquellos que piensan —que pensamos— que el futuro será mejor promoviendo la enseñanza e investigación científica, deberían recordar este hecho, este afortunado hecho, añadido yo, producto seguramente de las complejidades de la historia evolutiva de nuestra especie, que para sobrevivir necesitó fomentar la cooperación, la ilusión y los imprevisibles, pero no menos necesarios, sentimientos. Unas palabras valen a veces más que muchas aportaciones al conocimiento de la ciencia. Entre otras razones, porque la sociedad puede no estar dispuesta a apoyar esa ciencia si no se ilusiona con ella. Que se produjese su institucionalización en el siglo XIX es prueba de que entonces se ilusionó con ella, que vio que merecía la pena, por muchos motivos. Los económicos y políticos, por supuesto, pero no sólo por ellos. Porque ofrecía un futuro más luminoso, en el que las en principio limitadas capacidades humanas se verían amplificadas de forma insospechada.

Todo esto, el nuevo mundo que, de la mano de la ciencia y la tecnología, se adivinaba, y la capacidad y habilidad de generar —desde el lado de esa ciencia y esa tecnología— ilusiones en la sociedad, se manifiestan en la siguiente cita con la que terminaré este capítulo. La pronunció, ante el British Imperial Institute en 1897, poco después de que Marconi sacase su primera patente, alguien cuyo recuerdo, no el de sus palabras, se ha perdido salvo para unos pocos: William Edward Ayrton (1847-1908), *professor* de Física aplicada e Ingeniería eléctrica, desde 1884 hasta su muerte, en el City Guilds Central Technical College de Londres:

No hay duda de que llegará el día, en el que probablemente tanto yo como

ustedes habremos sido olvidados, en el que los cables de cobre, el hierro y la gutapercha que los recubre serán relegados al museo de antigüedades. Entonces cuando una persona quiera telegrafiar a un amigo, incluso sin saber dónde pueda estar, llamará con una voz electromagnética que será escuchada por aquel que tenga el oído electromagnético, pero que permanecerá silenciosa para todos los demás. Dirá «¿dónde estás?» y la respuesta llegará audible a la persona con el oído electromagnético: «Estoy en el fondo de una mina de carbón, o cruzando los Andes, o en medio del Pacífico». Ese mundo es, más de un siglo después, el nuestro.

Albert Einstein, espejo del siglo XX

Ningún nombre de científico es más conocido en la actualidad que el de Albert Einstein (1879-1955). Su popularidad, más de medio siglo después de su muerte, no ha decrecido; casi se podría decir de él que es la «cara pública» de la ciencia; para la sociedad, el científico por antonomasia. Las razones de este hecho, que se originó durante su propia vida, no son siempre fáciles de establecer con seguridad. Habitualmente se explica su fama basándose en elementos como la naturaleza de sus principales aportaciones científicas y su personalidad y manifestaciones públicas, con frecuencia estimulantes y atractivas, cuando no ocurrentes y simpáticas. Seguramente si no hubiese sido por factores como éstos no habría sido tan conocido como lo fue y continúa siendo. Pero yo creo que la explicación última y profunda de esta celebridad se halla en la forma, tan perfecta, en que su vida y obra se amoldan a la historia del siglo XX. Su biografía constituye, en efecto, un magnífico escaparate para contemplar y analizar mucho de lo más esencial, de lo mejor y de lo peor, de lo más humano y de lo más inhumano, de lo más genial y lo más elemental, que ha dado el siglo que hace poco nos abandonó. Es por esto por lo que he titulado este capítulo, «Albert Einstein, espejo del siglo XX». Y también es por esto por lo que con él me extenderé más en detalles biográficos y trataré más de cuestiones «no científicas» que en otros casos. Aunque, por supuesto, sin olvidar sus aportaciones científicas.

Einstein, Alemania y el siglo del Holocausto

El siglo XX fue particularmente rico en acontecimientos de todo tipo; desde luego en políticos. Y entre estos últimos, es imposible olvidar la persecución que sufrieron los judíos durante los años en que Adolf Hitler dominó Alemania primero, y extensos territorios y países después. Persecución, intento de exterminio total, lo que ha venido en llamarse el «Holocausto».

El Holocausto, la «cuestión judía», el sionismo, se relacionan hoy fundamentalmente con el estado de Israel, es decir, con una nación; poseen, por tanto, una dimensión que aunque emana de los individuos, afectándoles profundamente, la trasciende en cierto sentido, al adoptar una manifestación supraindividual. Pero a lo largo de mucho tiempo, durante la mayor parte de la

vida de Einstein, no existía el estado de Israel... salvo, claro está, como la memoria histórica — más bíblica y mítica que política— de una realidad, de un recuerdo, que se perdía en la noche de los tiempos. Debido a este hecho, tan elemental como frecuentemente olvidado, para entender bien esa «cuestión judía» hay que tener muy en cuenta la relación que mantuvieron individuos concretos con su ascendencia racial, o, por decirlo de otra manera, con la tradición de la que provenían, una tradición fuertemente idiosincrásica. Y en este punto, como ejemplo especialmente significado y rico, aparece nuestro protagonista.

Albert Einstein nació en Ulm (Alemania) el 14 de marzo de 1879, de padres judíos. Aunque una de las características más fuertes de su personalidad fue — ampliaré este punto más adelante— la de intentar ir más allá de lo particular, de lo contingente, de la situación específica, buscando la intemporalidad de las leyes generales y la trascendencia de las teorías científicas, su ascendencia judía terminó ejerciendo una influencia indudable en su biografía. Ello fue así debido a las circunstancias históricas en las que se desarrolló su vida, no como consecuencia del ambiente familiar: a pesar de que su certificado de nacimiento identificaba a sus padres, Hermann y Pauline, como «pertenecientes a la fe israelita», ninguno era religioso, ni seguían las costumbres judías. Como en tantos otros casos de la Alemania del siglo XIX y primeras décadas del XX, los Einstein eran, se consideraban o pretendían ser, «judíos asimilados», esforzándose por no distinguirse de cualquier otro alemán. Los mismos nombres que dieron a sus dos hijos, Albert y María, lejos de los tradicionales Jakob, David, Abraham o Ruth, denotan semejante hecho.

El que sus padres, como tantos otros judíos, intentasen ser «buenos alemanes», no quiere decir necesariamente que participasen de ese cáncer que plaga la historia de la humanidad: el nacionalismo. Por lo que se sabe de ellos, sus deseos no iban más allá de una asimilación que les permitiese vivir y ejercer libremente, sin obstáculos, una profesión. De hecho, cuando las condiciones lo requirieron, esto es, cuando, tras un período inicial floreciente, la empresa electrotécnica —la Elektro-Technische Fabrik J. Einstein & Cie.— regentada por los hermanos Jakob y Hermann Einstein (Jakob se ocupaba de las cuestiones técnicas, mientras que Hermann llevaba la parte comercial) comenzó a declinar, la familia de Albert no tuvo ningún problema en trasladar —en 1894— el negocio a Pavía, asociándose con italianos para fundar una nueva empresa: la Società Einstein, Garrone e Cia.

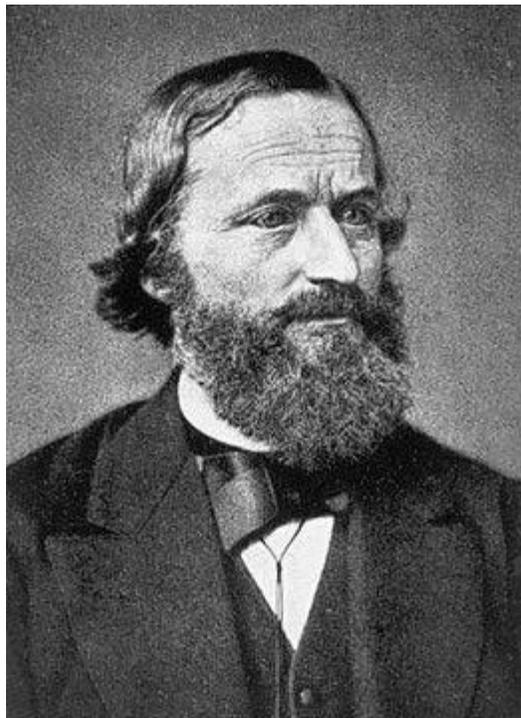
Es muy probable, por tanto, que para los padres de Einstein los sentimientos nacionalistas no significasen mucho. Menos, mucho menos, representaron para su hijo, que mostró con frecuencia a lo largo de toda su vida lo poco que estimaba los

nacionalismos, acaso no sólo porque su propio intelecto y sentimientos humanitarios le mostraban con claridad lo irracionales que son los discursos, las ideologías, en los que el rechazo a los «otros» constituye un elemento fundamental para definir la identidad propia, sino también como consecuencia de su propia experiencia. Un ejemplo que muestra cuáles fueron sus ideas en este punto lo encontramos en lo que manifestó el 3 de abril de 1935 a Gerald Donahue, un estadounidense que le había escrito expresando la idea de que los judíos eran primero y por encima de todo ciudadanos de sus países. «En última instancia —señaló Einstein—, toda persona es un ser humano, independientemente de si es un americano o un alemán, un judío o un gentil. Si fuese posible obrar según este punto de vista, que es el único digno, yo sería un hombre feliz.»

Si rechazaba el nacionalismo en general, simplemente como concepto, más lo hacía en el caso alemán (acaso sería más correcto decir en este caso que lo *detestaba*). Así, incapaz de soportar la filosofía educativa germana, en diciembre de 1894 —era prácticamente un niño— abandonó Múnich, donde estudiaba, siguiendo a su familia a Pavía. El 28 de enero de 1896 renunciaba a la nacionalidad alemana, permaneciendo apátrida hasta que en 1901 logró la ciudadanía suiza, la única que valoró a lo largo de su vida. En este sentido, el 7 de junio de 1918 escribía a Adolf Kneser, catedrático de matemáticas en la Universidad de Breslau (actualmente Wrocław, en Polonia): «Por herencia soy un judío, por ciudadanía un suizo y por mentalidad un ser humano, y *sólo* un ser humano, sin apego especial alguno por ningún estado o entidad nacional». No debe pasar desapercibido el que cuando Einstein escribía estas frases era, desde 1914, catedrático de la Universidad de Berlín y miembro de la Academia Prusiana de Ciencias, es decir, un alto funcionario de Prusia, lo que llevaba asociado la nacionalidad alemana, una circunstancia que él preferiría pasar por alto, manteniendo y refiriéndose siempre a su ciudadanía suiza (durante sus años en Berlín viajó habitualmente con pasaporte suizo; incluso lo renovó después de haber adquirido, en 1940, la nacionalidad estadounidense, un acto también de dudosa legalidad desde el punto de vista de la legislación norteamericana).

Muestra también de la peculiar manera en que miraba las adscripciones nacionales es lo que escribió sobre él mismo en el *Times* londinense el 28 de noviembre de 1919, poco más de un año después de que hubiese finalizado la Primera Guerra Mundial: «hoy soy descrito en Alemania como un “sabio alemán” y en Inglaterra como un “judío suizo”. Si alguna vez mi destino fuese el ser representado como una *bête noir*, me convertiría, por el contrario, en un “judío suizo” para los alemanes y en un “sabio alemán” para los ingleses».

Ahora bien, es preciso distinguir con claridad que su aversión por mucho de «lo alemán» no significa que no amase, y muy profundamente, dominios básicos de la cultura germana o, mejor, centroeuropea de habla alemana; que no amase, en primer lugar, su idioma, que siempre manejó con amor y sencillez, pero también con elegancia; un idioma que le permitía giros y combinaciones que encajaban magníficamente con su personalidad, plena de humor e ironía. Ni que no valorase especialmente la filosofía de habla alemana: en sus labios aparecían con frecuencia los nombres de Schopenhauer, Kant o Mach. ¡Y qué decir de la física y los físicos! Desde joven había bebido de las fuentes de los Kirchhoff, Helmholtz, Hertz, Mach o Boltzmann; estimaba especialmente a Max Planck (1858-1947), no tanto por sus aportaciones científicas, que desde luego valoraba, sino por la persona que era, aunque mantuvieran en ocasiones posturas encontradas. Nadie hizo más que Planck por atraerlo y retenerlo en Berlín. Y junto a Planck, Max von Laue (1879-1960), ario, y el químico-físico Fritz Haber (1868-1934), judío. En los peores tiempos, en agosto de 1933, desde Princeton, escribía a Haber, tras saber que éste también se había convertido finalmente en un exiliado: «Espero que no regresará a Alemania. No merece la pena trabajar para un grupo intelectual formado por hombres que se apoyan en sus estómagos ante criminales comunes y que incluso simpatizan en algún grado con estos criminales. No me decepcionan, porque nunca tuve ningún respeto o simpatía por ellos, aparte de unas finas personalidades (Planck, 60 por 100 noble, y Laue, 100 por 100)».



Gustav Kirchhoff.



Ludwig Boltzmann.

Tampoco podemos olvidarnos de la música, que para él representó siempre un lugar de reposo y consuelo. Amaba con pasión a Bach y a Mozart, mientras que a Beethoven le admiraba más que amaba («para mí, Beethoven es demasiado dramático y personal», escribió). Ante la insistencia del editor alemán de una revista que en 1928 quería que Einstein le contestase unas preguntas sobre Bach, respondió: «Esto es lo que tengo que decir sobre la obra de Bach: escuchen, toquen, amen, reverencien, y mantengan sus bocas cerradas». También estimaba a Schubert, uno de sus favoritos por «su superlativa habilidad para expresar emoción y sus enormes poderes de invención melódica», y a Schumann, por sus trabajos menores, en los que mostraba su «originalidad y riqueza de sentimientos», aunque, añadía, su «falta de grandeza formal me impiden disfrutarlo completamente». Por último,

admiraba la inventiva de Wagner, pero veía «su carencia de estructura arquitectónica como decadencia», y encontraba «su personalidad musical indescriptivamente ofensiva», lo que hacía que «la mayor parte de las veces le escuchase sólo con disgusto».

En vista de todas estas influencias y amores, ¿cómo olvidar lo mucho que Einstein debió a Alemania?, aunque a veces algunos parecen pensar que Alemania, el mundo centroeuropeo de habla e influencia germana fue algo así como un furúnculo que sólo perturbó al gran genio de la ciencia del siglo XX, deformación comprensible y cuyas fuentes principales son fácilmente identificables, pero deformación al fin y al cabo, y que resulta especialmente dolorosa ya que también participa del espíritu de exclusión que tanto dicen repudiar aquellos que airean el ejemplo einsteniano. Einstein fue un fruto, un excelso fruto, de la cultura germana de finales del siglo XIX y comienzos del XX, no importa lo mucho de detestable que esa misma cultura también terminó produciendo. Y no digo, un «fruto inevitable», porque los genios nunca se pueden reducir a semejantes términos, pero lo que sí es dudoso es que Einstein hubiese podido florecer como científico bajo otra cultura científica, filosófica y artística.

Pero continuemos. La aversión de Einstein por Alemania culminaría tras la Segunda Guerra Mundial: «un país de asesinos de masas», la denominó en una carta que escribió el 12 de octubre de 1953 al físico Max Born (1882-1970), uno de los creadores de la mecánica cuántica, también alemán, también judío, y que también tuvo que abandonar Alemania —terminó instalándose en Edimburgo— debido a la política racial implantada por Hitler. De hecho, Einstein, al contrario que muchos de sus colegas (Born incluido), nunca aceptó volver a pisar suelo germano, que había abandonado en 1932, en principio para pasar un tiempo, como ya había hecho en otras ocasiones, en el California Institute of Technology. Tras la llegada al poder de Hitler el 30 de enero de 1933, decidió romper sus relaciones con la nación que le había visto nacer. El manifiesto que hizo público en marzo de 1933 contiene la esencia de la filosofía que defendió a lo largo de su vida en cuestiones sociales: «Mientras se me permita elegir, sólo viviré en un país en el que haya libertades políticas, tolerancia e igualdad de todos los ciudadanos ante la ley. La libertad política implica la libertad de expresar las propias opiniones políticas verbalmente y por escrito; la tolerancia implica el respeto por todas y cada una de las creencias individuales. Estas condiciones no existen en Alemania hoy. Quienes más han hecho por la causa de la comprensión internacional, entre quienes se encuentran muchos artistas, sufren, en ella, persecución». Cuando en 1949 le invitaron a reanudar sus relaciones con la principal organización científica germana, la antigua Kaiser Wilhelm Gesellschaft (Asociación Káiser Guillermo), tras la Segunda Guerra

Mundial rebautizada Max Planck-Institut, Einstein contestó (28 de enero): «El crimen de los alemanes es verdaderamente el más abominable recogido nunca en los anales de la historia de las así llamadas naciones civilizadas. La conducta de los intelectuales alemanes —vista como un grupo— no fue mejor que la de la chusma. Incluso ahora no veo indicación de ningún arrepentimiento ni de algún deseo verdadero de reparar incluso lo más pequeño que ha quedado para restaurar después de los gigantescos asesinos. En vista de estas circunstancias, siento una irreprimible aversión a participar en cualquier cosa que represente algún aspecto de la vida pública en Alemania».

Einstein fue una auténtica bestia negra para los nazis. Su personalidad política —era un liberal, con fuertes inclinaciones socialistas, y un pacifista— y el hecho de ser judío constituían obstáculos insalvables para el régimen de Hitler. Y no sólo fue repudiada su persona, también su ciencia: surgió un movimiento en favor de una «ciencia aria», uno de cuyos presupuestos era que la relatividad einsteniana representaba una aberración. Científicos tan notables como Philipp Lenard (1862-1947), galardonado con el premio Nobel de 1905, se erigieron en líderes de semejante movimiento. En una obra de cuatro tomos sobre la «Física alemana», Lenard escribió lo siguiente: «Las “teorías de la relatividad” buscan revolucionar y dominar la física en su conjunto. De hecho, estas teorías son ahora obsoletas. Nunca pretendieron ni siquiera ser verdaderas». No era fácil en absoluto, en aquel ambiente político, salir en defensa de la física einsteniana. Sin embargo, algunos lo hicieron. Como Max von Laue o Max Planck.

Aunque no le faltaron ofertas en Europa (entre ellas una de Madrid, apoyada por el gobierno de la República), finalmente (octubre de 1933) entró a formar parte del selecto claustro de la Escuela de Matemáticas del entonces recientemente creado Institute for Advanced Study de Princeton (el primer claustro de *professors* de la Escuela estuvo formado, además de Einstein, por James Alexander, F. Aydelotte, Marston Morse, John von Neumann, Oswald Veblen y Hermann Weyl). Nunca abandonaría el suelo norteamericano.

No fue el único científico alemán que tomó aquel camino. Según algunas fuentes, alrededor de medio millón de personas abandonaron Alemania, Austria y Checoslovaquia entre 1933 y 1941, de los que cerca del 94 por 100, es decir, 470.000, eran de origen judío. Si nos limitamos a los emigrantes relacionados con las artes y las ciencias, Estados Unidos acogió, aproximadamente, al 48 por 100, Gran Bretaña al 10, Palestina al 8 y Suiza al 4 por 100. La medida en que aquel exilio afectó a la universidad alemana queda clara si tenemos en cuenta que alrededor de un tercio de los profesores universitarios perdieron su empleo. Limitándome a citar nombres

de premios Nobel (algunos, es cierto, obtuvieron el galardón ya instalados en sus destinos) que abandonaron Alemania, tenemos: en física, Franck, Schrödinger, Hess, Stern, Bloch, Born, Wigner, Bethe, Gabor, y por supuesto, Einstein; en química, Haber, Debye, de Hevesy y Herzberg; y en medicina y fisiología, Meyerhof, Loewi, Chain, Krebs, Bloch y Delbrück.

La persecución que sufrían los judíos —una persecución que no comenzó con Hitler (con él llegó a extremos absolutamente insoportables)— fue lo que le acercó a ellos, lo que le hizo sentirse miembro de ese pueblo bíblicamente legendario. «Cuando vivía en Suiza, no me daba cuenta de mi judaísmo», respondió en una entrevista publicada en el *Sunday Express* el 24 de mayo de 1931. «No había nada allí —continuaba—, que suscitase en mí sentimientos judíos. Todo eso cambió cuando me trasladé a Berlín. Allí me di cuenta de las dificultades con que se enfrentaban muchos jóvenes judíos. Vi como, en entornos antisemitas, el estudio sistemático, y con él el camino a una existencia segura, se les hacía imposible.» En el mismo sentido, con mayor brevedad y claridad aún, si es que cabe, dos años antes había escrito: «Hace quince años, al llegar a Alemania, descubrí por primera vez que yo era judío y debo ese descubrimiento más a los gentiles que a los judíos».



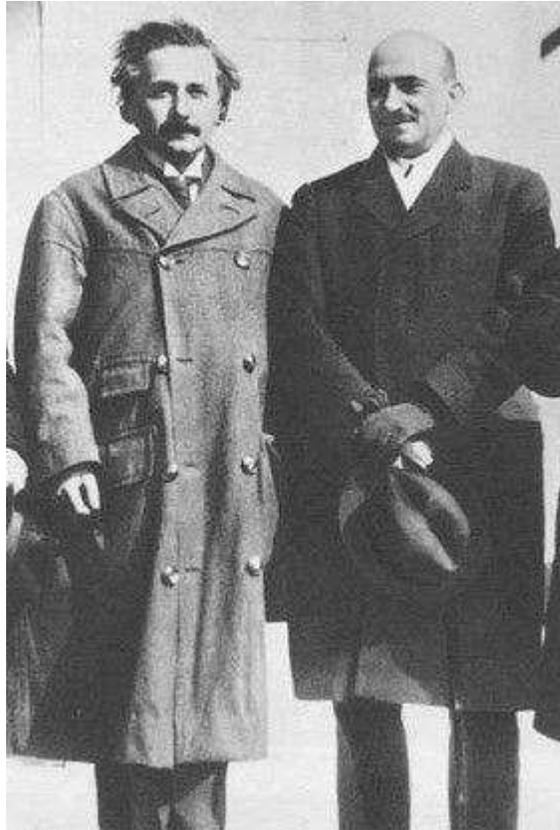
Einstein en una sinagoga de Berlín en 1930.

Su solidaridad con el pueblo hebreo y la fama mundial de que llegó a gozar explican que, en noviembre de 1952, tras la muerte de Chaim Weizmann (1874-1952), el primer presidente del Estado de Israel, a quien había ayudado en diversas ocasiones, Einstein recibiese la oferta de sucederle en el cargo. Merece la pena citar los primeros pasajes de la carta (fecha el 17 de noviembre de 1952) en la que Abba Eban, entonces embajador de Israel en Estados Unidos, realizó el ofrecimiento:

Querido Profesor Einstein:

El portador de esta carta es Mr. David Goitein de Jerusalén, que está sirviendo ahora como Ministro en nuestra embajada en Washington. Le lleva a usted la cuestión que el Primer Ministro Ben Gurion me pidió le transmitiese; a saber, si aceptaría usted la Presidencia de Israel, en el caso de que le fuese ofrecida por un voto del Knesset. La aceptación significaría trasladarse a Israel y adoptar su nacionalidad. El Primer Ministro me asegura que en tales circunstancias el Gobierno y el pueblo, que son totalmente conscientes del significado supremo de su labor, le proporcionarían facilidad y libertad completa para continuar su gran trabajo científico.

Un día más tarde, Einstein rechazaba la oferta: «Estoy profundamente conmovido por la oferta de nuestro Estado de Israel, y al mismo tiempo apesadumbrado y avergonzado de no poder aceptarla. Toda mi vida he tratado con asuntos objetivos, por consiguiente carezco tanto de aptitud natural como de experiencia para tratar propiamente con personas y para desempeñar funciones oficiales. Sólo por estas razones me sentiría incapacitado para cumplir los deberes de ese alto puesto, incluso si una edad avanzada no estuviese debilitando considerablemente mis fuerzas. Me siento todavía más apesadumbrado en estas circunstancias porque desde que fui completamente consciente de nuestra precaria situación entre las naciones del mundo, mi relación con el pueblo judío se ha convertido en mi lazo humano más fuerte». El 21 del mismo mes, Einstein revelaba una razón suplementaria a Azriel Carlebach, director del periódico *Ma'ariv*: «También pensé en la difícil situación que podría surgir si el Gobierno o el Parlamento tomasen decisiones que pudiesen crear un conflicto con mi conciencia; ya que el hecho de que uno no pueda influir realmente en el curso de los acontecimientos no le exime de responsabilidad moral».



Einstein con Chaim Weizmann.

Como vemos, Einstein se vio conducido al judaísmo como un acto de solidaridad. Un acto de solidaridad con un grupo de personas que sufrían discriminaciones, y del que sabía que formaba parte, aunque a él inicialmente no le atrajese para nada la idea de formar parte de algún grupo. Semejante adhesión al judaísmo no le impidió, sin embargo, plantearse preguntas que muchos, antes y después que él, se han formulado: ¿en qué consiste ser judío? ¿existen rasgos, ideas, comportamientos, sentimientos que les caracterizan, que comparten?

Son numerosos los lugares en que abordó tales cuestiones. En la revista estadounidense *Collier*, manifestó en 1938:

¿Cuáles son las características del grupo judío? ¿Qué es, de hecho, un judío? No existe una respuesta sencilla a esta pregunta... el judío que renuncia a su religión (en el sentido formal del término) continúa siendo un judío.

Lo que une a los judíos y los ha unido durante miles de años es en primer lugar un ideal democrático de justicia social y la idea de la obligación de ayuda mutua y tolerancia entre toda la humanidad. El segundo rasgo característico de la tradición judía es su alta estima por toda clase de comportamiento intelectual y actividad mental.

En cuanto a si existe una concepción judía del mundo, esto es lo que escribí en 1934:

En mi opinión, desde el punto de vista filosófico, no existe una concepción del mundo judía. Creo que el judaísmo sólo se preocupa por la actitud moral en la vida y hacia la vida. Considero que lo fundamental en él es una actitud hacia la vida encarnada en el pueblo judío, y que las leyes que se conservan en la Torá y que están interpretadas en el Talmud tienen menos importancia. Para mí, la Torá y el Talmud sólo representan el testimonio principal de la concepción judía de la vida en tiempos antiguos...

El judaísmo no es un credo: el Dios de los judíos no es solamente la negación del elemento supersticioso, el resultado imaginario de su eliminación de ese elemento. También es un intento de basar el código moral en el miedo, un intento lamentable y deshonesto. Creo, sin embargo, que la vigorosa tradición moral del pueblo judío se ha liberado de ese temor, al menos en gran medida.



Einstein a bordo del *Rotterdam* camino de Estados Unidos (12 de marzo de 1921). De izquierda a derecha: Menachem Ussishkim, Chaim Weizmann y su esposa, Albert Einstein, Elsa Einstein y Benzion Mossinson.

¿Y sobre la posibilidad de que se crease un Estado judío? En un discurso que pronunció en Nueva York el 17 de abril de 1938, con motivo de un acto organizado por el Comité Nacional para crear un Estado judío en Palestina, Einstein reconocía que «el pueblo judío ha contraído una deuda de gratitud con el sionismo. El movimiento sionista ha revivido entre los judíos el sentimiento comunitario y ha llevado a cabo un esfuerzo que supera todas las expectativas», señalando también que los judíos se encontraban en una situación difícil en Palestina («los campos que se cultivan durante el día han de tener protección armada durante la noche, a causa de los ataques de bandidos árabes fanáticos»). Pero aun así, no obstante la solidaridad y comprensión que manifestaba hacia los judíos instalados en Palestina, el gran físico tenía más cosas que decir, mostraba temores que desgraciadamente no han resultado infundados:

Quiero agregar unas pocas palabras, a título personal, acerca de la cuestión de las fronteras. Desearía que se llegase a un acuerdo razonable con los árabes, sobre la base de una vida pacífica en común; me parece que esto sería preferible a la creación de un Estado judío. Más allá de las consideraciones prácticas, mi idea acerca de la naturaleza esencial del judaísmo se resiste a forjar la imagen de un Estado judío con fronteras, un ejército y cierta cantidad de poder temporal, por mínima que sea. Me aterrorizan los riesgos internos que se derivarían de tal situación para el judaísmo; en especial los que surjan del desarrollo de un nacionalismo estrecho dentro de nuestras propias filas, contra el que ya hemos debido pelear con energía, aun sin la existencia de un Estado judío. Pero estoy avanzando demasiado, y además la biografía de Einstein en modo alguno se puede reducir a la «cuestión judía». Tengo que volver atrás. A los inicios de su carrera científica.

Años de formación, de esperanzas y de frustraciones

Aunque nació en Ulm, Einstein no pasó allí mucho tiempo: al año de su nacimiento su familia se trasladó a Múnich, donde su padre y su tío Jakob establecieron un negocio de instalación de agua y gas, aunque luego se dedicarían, como ya vimos, al de la electrotécnica. En la capital bávara, y a pesar de que no comenzó a hablar hasta la edad de tres años, no tuvo dificultades en la escuela primaria (fue, de hecho, y contrario al mito tan extendido, un magnífico alumno), entrando a los nueve años en un famoso centro de Múnich, el Gymnasium Luipold, el mismo que abandonaría, en 1894, para seguir a su familia a Italia.

El hecho de dejar Alemania no significa que no desease seguir estudios universitarios. En el otoño de 1895, el joven Albert llegaba a Zúrich procedente de Italia con el propósito de entrar directamente en la Escuela (posteriormente Instituto) Politécnica Federal (Eidgenössische Technische Hochschule; ETH) de aquella ciudad, que por entonces había alcanzado reputación como centro de vanguardia en la enseñanza superior de las tecnologías físicas en el mundo de habla alemana. Al no cumplir ninguno de los requisitos para acceder a esta prestigiosa Escuela (poseer un certificado de segunda enseñanza y tener dieciocho años), tuvo que someterse al examen de admisión especial para los solicitantes sin título. Fracasó en el intento, aparentemente por no realizar satisfactoriamente la parte general del examen. Sin embargo, debió de destacar en la parte científica, ya que el profesor de física, Heinrich Weber (1843-1912), le dio permiso para asistir a sus clases si permanecía en Zúrich. No obstante, Einstein siguió el consejo del director

de la institución y se matriculó en la Escuela Cantonal de Aargau, en Aarau, para finalizar su educación secundaria. Cuando entró en aquel centro, en octubre de 1895, éste consistía en un Gymnasium y en una Escuela Técnica Comercial, a los que asistían, respectivamente, cincuenta y seis y noventa alumnos.

Durante aquel año inicial en Suiza, en Aargau (vivía en la casa de Jost Winteler, un profesor de la Escuela, desarrollando estrechas relaciones con toda la familia), se forjó el apego del futuro gran físico por la nación helvética, cuyo espíritu de tolerancia y costumbres se acomodaban perfectamente a su personalidad. Apátrida, como ya indiqué, desde el 28 de enero de 1896, fecha en la que se aceptó su renuncia a la ciudadanía de Württemberg, Einstein comenzó el intrincado proceso de solicitar la nacionalidad suiza a finales de 1899, culminándolo poco más de un año después, el 7 de febrero de 1901 (muestra de su interés es que entre 1896 y 1900 vivió con una asignación de 100 francos suizos mensuales, de los cuales apartaba 20 para pagar los documentos de nacionalización).

En octubre de 1896 obtuvo el título necesario, e inmediatamente entró en el Departamento VI de la Escuela Politécnica de Zúrich, la «Escuela para maestros especializados en temas matemáticos y científicos». Cuando llegó, 23 de los 841 estudiantes de la ETH seguían estudios en esa sección, 11 de los cuales en el curso inicial. Entre esos once solamente había una mujer, una serbia llamada Mileva Marić (1875-1948).

En su autobiografía, Einstein se refirió a sus maestros en la ETH de la siguiente manera: «Allí tuve excelentes profesores (por ejemplo, Hurwitz, Minkowski), de manera que realmente podría haber adquirido una profunda formación matemática. Yo, sin embargo, me pasaba la mayor parte del tiempo trabajando en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia». Heinrich Weber fue el principal responsable de este hecho: siguió ocho de sus cursos de física experimental (principalmente electrotecnia). De hecho, su intención era continuar utilizando el laboratorio de Weber tras graduarse, para investigar en termoelectricidad, con la esperanza de poder utilizar los resultados para una tesis doctoral dirigida por el propio Weber.

Tales esperanzas no llegaron, sin embargo, a concretarse. Ni las de iniciar una carrera académica inmediatamente después de finalizar sus estudios. Fue el único de los cuatro estudiantes (además de él, Marcel Grossmann, Jakob Ehrat y Louis Kollrosque) que pasaron los exámenes finales de su Sección en julio de 1900, que no consiguió un puesto de *assistent* (ayudante), el primer escalón en la carrera universitaria, y ello a pesar de que la nota media que obtuvo fue razonable: 4,91 de

un máximo de 6. El que ocurriese esto fue una sorpresa para el propio Einstein. Tenía, por ejemplo, esperanzas de llegar a ocupar un puesto con el matemático Adolf Hurwitz (1859-1919): «Es probable que con la ayuda de Dios llegue a criado de Hurwitz», escribía a Mileva Marić el 13 de septiembre de 1900. Pero no tuvo éxito. Ni tampoco con Eduard Riecke (1845-1915), director de la División de Física Experimental del Instituto de Física de la Universidad de Gotinga, a quien escribió en marzo de 1901. Por entonces estaba convencido de que tenía en su contra a Weber, a quien no perdonó jamás: cuando éste falleció, en 1912, escribió a un amigo (Heinrich Zangger): «La muerte de Weber es buena para la ETH».



Hermann Minkowski.

En realidad, no se entiende bien la pretendida animadversión de Weber para con Einstein, ya que las calificaciones que éste obtuvo en las asignaturas explicadas por aquél fueron excelentes. Probablemente, la razón del fracaso de Einstein fuera su propio carácter. En cierta ocasión, escribió a una estudiante norteamericana que le había presentado un vehemente alegato contra la injusticia de los profesores, de quienes se creía víctima: «A mí también me trataron de la misma manera mis profesores, que no me querían por mi independencia, por lo que me apartaron cuando necesitaron un ayudante».



Mileva Marić-Einstein y Albert Einstein (Praga, 1911).

Al mismo tiempo que se dirigió a Riecke, hizo lo propio —y con análogo resultado— con Wilhelm Ostwald (1853-1932), el célebre químico-físico de la Universidad de Leipzig, algunos de cuyos trabajos Einstein estudió en aquella época. Infatigable, no cesaba en sus esfuerzos por encontrar otras posibilidades para obtener un puesto de *assistant*. A Mileva, con quien se casó el 6 de enero de 1903, le contaba (4 de abril de 1901) que se había dirigido «al Politécnico de Stuttgart, donde hay un puesto libre, y he vuelto a escribir a Ostwald. ¡Pronto habré honrado con mi oferta a todos los físicos desde el Mar del Norte hasta la punta meridional de Italia!». Una semana más tarde confesaba que ni Ostwald ni el profesor de Stuttgart le habían escrito, «ni tampoco tengo nada a la vista por ahora en Italia. Pero no estoy desanimado por eso y ya me he sacudido de encima el enfado, que en gran parte procedía de la vanidad herida». Dos días después se dirigía a Heike Kamerlingh Onnes (1853-1926), el gran director del laboratorio de

física de bajas temperaturas de Leiden, señalándole que «había sabido a través de un amigo que tenía una vacante para una ayudantía. Me tomo la libertad de solicitar tal puesto». Además de ofrecerle enviar una copia de su expediente académico, adjuntaba un ejemplar de su primer artículo («Folgerungen aus den Capillaritätserscheinungen» [«Conclusiones extraídas del fenómeno de la capilaridad»], publicado en 1901 en los *Annalen der Physik*).

A pesar de sus animosas manifestaciones a Marić, la situación en la que se encontraba el joven Albert era lo suficientemente crítica como para que se sintiese deprimido. Su padre, percibiendo sin duda su estado de ánimo (Einstein se encontraba entonces con su familia en Milán), se atrevió a escribir (el 13 de abril de 1901) una carta a Ostwald, a quien, como acabamos de ver, se había dirigido el futuro gran físico:

Estimado *Herr Professor*:

Por favor perdone a un padre que es tan atrevido como para dirigirse a usted, estimado *Herr Professor*, en el interés de su hijo.

Comenzaré por decirle que mi hijo Albert tiene 22 años, que estudió en el Politécnico de Zúrich durante cuatro años y que pasó sus exámenes para el diploma en matemáticas y física con magníficas notas el verano pasado. Desde entonces ha estado intentando, sin éxito, obtener un puesto de *assistent*, que le permitiera continuar su educación en física teórica y experimental. Todos aquellos en situación de dar su opinión al respecto elogian sus talentos; en cualquier caso, puedo asegurarle que es extraordinariamente estudioso y diligente y se apega con gran amor a su ciencia.

Mi hijo se halla, por consiguiente, profundamente infeliz con su actual falta de un puesto, y su idea de que ahora se encuentra fuera de órbita hace que se sienta cada día más arrinconado. Además, se siente oprimido por el pensamiento de que es una carga para nosotros, gente de medios modestos.

Como es a usted, altamente respetado *Herr Professor*, a quien mi hijo parece admirar y respetar más que a cualquier otro investigador de los activos actualmente en la física, es a usted a quien me tomo la libertad de recurrir con la humilde petición de que lea su artículo publicado en el *Annalen für Physik* y que le escriba, si es posible, unas pocas palabras de ánimo, de forma que pueda recobrar su alegría de vivir y trabajar.

Si, además, pudiese procurarle un puesto de *assistant* para ahora o para el próximo otoño, mi gratitud no conocería límites.

Le pido una vez más que perdone mi imprudencia al escribirle, y también me tomo la libertad de mencionar que mi hijo no sabe nada acerca de este inusual paso.

Por lo que sabemos, la respuesta que obtuvo Hermann Einstein de Ostwald fue la misma que tuvo su hijo: ninguna.

En esta situación, algunos de sus amigos intentaron ayudarle. Michele Angelo Besso (1873-1955), un ingeniero suizo a quien Einstein había conocido en una velada musical celebrada en Zúrich en 1896 y la única persona a quien Einstein agradeció su colaboración en su artículo de la relatividad especial (que no contiene ninguna referencia a otros trabajos), buscó la ayuda de un tío suyo, profesor en Italia. El 15 de abril de 1901, Einstein tenía buenas noticias que contar a Marić. Por un lado, que el profesor Jakob Rebstein, del Politécnico de Winterthur, le había escrito preguntándole si quería sustituirlo del 15 de mayo al 15 de julio, fechas en las que tenía que cumplir con su servicio militar. «¡Puedes imaginarte con qué gusto hago esto! Tengo que dar unas 30 horas semanales, entre ellas incluso geometría descriptiva, pero el valiente suabo no se asusta», escribía a Mileva. Por otra parte, acababa de recibir una carta de su amigo y compañero de estudios Marcel Grossmann (1878-1936), con quien en 1912-1913, siendo ambos profesores en la ETH, aprendió y desarrolló el aparato matemático (la geometría riemanniana) necesario para la relatividad general, en la que éste le comunicaba que probablemente recibiría pronto, con la ayuda del padre de Marcel, un puesto estable en la Oficina de Protección de la Propiedad Intelectual de Berna. «¡Imagínate qué trabajo tan maravilloso sería para mí! Sería más que feliz si saliera.»

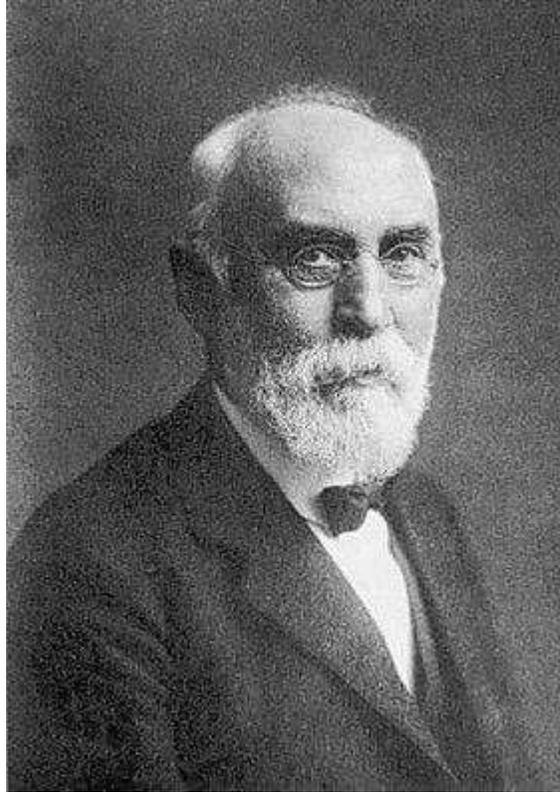
Ambas posibilidades llegarían a convertirse en realidad, aunque no con igual rapidez. A Winterthur se incorporó en las fechas previstas. En cuanto al empleo en la Oficina de Patentes de Berna, el anuncio de la vacante no apareció hasta el 11 de diciembre, solicitándolo Einstein el día 18. Seis meses después, el 16 de junio de 1902, recibía un empleo, provisional, de técnico experto de tercera clase, en la Oficina de Patentes. El día 23 comenzaba a trabajar. (Entre su trabajo temporal en Winterthur y el empleo de Berna, Einstein trabajó —desde mediados de septiembre de 1901— como tutor en una escuela-internado privada en Schaffhausen.) Hasta el 15 de octubre de 1909, en que fue nombrado profesor asociado de la Universidad de Zúrich, aquel sería su lugar de trabajo. Fue, por

consiguiente, mientras era un empleado de la Oficina de Patentes suiza, trabajando ocho horas al día, seis días a la semana, cuando escribió sus tres grandes artículos de 1905, su *annus mirabilis*.

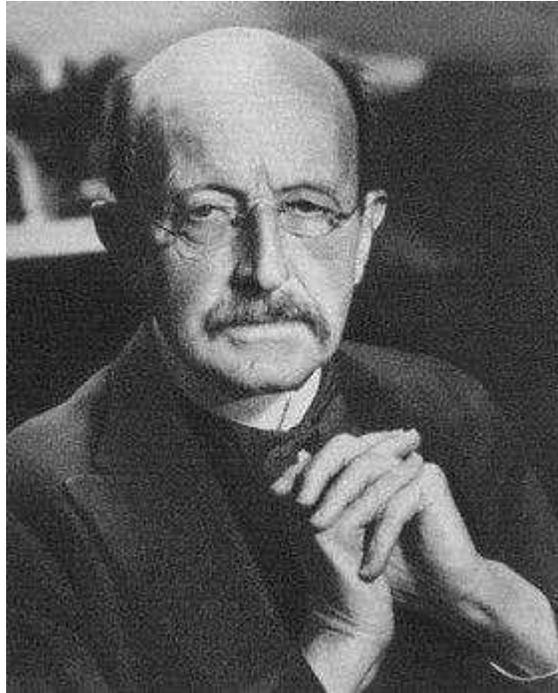
Contribuciones científicas

Aquel año, en efecto, Einstein publicó en la revista *Annalen der Physik* tres trabajos que terminarían conmoviendo los pilares de la física. El primero se titula, «Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt» («Sobre un punto de vista heurístico relativo a la producción y transformación de la luz»), y en él Einstein extendió a la radiación electromagnética la discontinuidad cuántica que Planck había introducido en la física cinco años antes; por una de las aplicaciones de los principios que sentó en este artículo, y que aparece al final del mismo, el efecto fotoeléctrico, en 1922 la Academia Sueca de Ciencias le concedió el premio Nobel de Física correspondiente a 1921. El segundo de los artículos de 1905 lleva por título «Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen» («Sobre el movimiento requerido por la teoría cinético-molecular del calor para partículas pequeñas suspendidas en fluidos estacionarios»), y contiene un análisis teórico del movimiento browniano que permitió a su autor demostrar la existencia de átomos de tamaño finito, un logro en absoluto menor en un momento en el que muchos negaban tal atomicidad (fue el botánico escocés Robert Brown [1773-1858] quien descubrió, en 1828, este fenómeno, en el que se producen movimientos aparentemente erráticos en granos de polen suspendidos en el agua en reposo de un contenedor, movimientos que sólo se pueden observar con un microscopio). Finalmente, en el tercero, «Zur Elektrodynamik bewegter Körper» («Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento»), creó la teoría de la relatividad especial, sistema teórico-conceptual que eliminaba las discrepancias que habían surgido entre la mecánica newtoniana y la electrodinámica maxwelliana, que estaban causando una crisis en una parte importante de la física teórica. La relatividad especial, que sustituyó a la mecánica que Isaac Newton había establecido en 1687, condujo a resultados que modificaban drásticamente conceptos hasta entonces firmemente afincados en la física, como los de tiempo y espacio, conduciendo, en manos de su antiguo maestro en Zúrich, el matemático Hermann Minkowski (1864-1909), a la creación del concepto, matemático y físico, de espacio-tiempo cuatrimensional, que el propio Minkowski presentó de manera pública con singular fuerza y dramatismo el 21 de septiembre de 1908, ante el Congreso de Científicos y Médicos Alemanes reunidos en Colonia:

«A partir de ahora —manifestó en aquella ocasión—, el espacio por sí mismo y el tiempo por sí mismo están condenados a desvanecerse en meras sombras, y solamente una especie de unión de los dos conservará su independencia».



Hendrik A. Lorentz.



Max Planck.

Esta unión espacio-temporal no es sino reflejo de uno de los resultados más celebrados de la relatividad especial: el de que la simultaneidad de acontecimientos o la medida de longitudes depende del sistema de referencia (inercial) en que se encuentran aquellos que realizan las observaciones. Este resultado es, a su vez, consecuencia de un postulado básico de la teoría, el de que la velocidad de la luz es independiente del estado de movimiento de la fuente que la emite, postulado totalmente contraintuitivo y que a pesar de las evidencias indirectas en su favor que se habían ido acumulando a lo largo de las últimas décadas sólo Einstein —y no otros en principio en mejor situación (especialmente el gran físico holandés Hendrik Antoon Lorentz [1853-1928])— imaginó. Esta relatividad en las medidas, junto al propio nombre de la teoría, *de la relatividad*, es responsable de una deformación conceptual especialmente importante y lamentable: la afirmación de que la construcción einsteniana de 1905 es una teoría de «relativos», y que su éxito en la descripción de la naturaleza induce a pensar que el principio «todo es relativo» debe ser introducido en otros ámbitos, entre ellos los filosóficos y sociológicos. Sin embargo, y muy al contrario de este planteamiento, la relatividad especial es una «teoría de absolutos», que pretende suministrar los elementos

necesarios para que sea posible describir las *leyes* (que es lo verdaderamente esencial, no conceptos cinemáticos como longitudes o tiempos) de la física de forma tal que sean comunes a observadores situados en sistemas de referencias inerciales diferentes, un hecho este que sostuvo con frecuencia el propio Einstein y en el que insistió Max Planck, el primero en darse cuenta de la importancia y novedad de la nueva teoría (junto a Wilhelm Wien [1864-1928] era editor de los *Annalen der Physik*, la revista a la que, recordemos, Einstein envió su trabajo). Fue, no obstante, el propio Planck quien introdujo, en septiembre de 1906, el nombre *Relativtheorie* («teoría relativa»), ya que en su artículo de 1905 Einstein únicamente había hablado del «principio de relatividad». Sería en un artículo que publicó en 1911 cuando introdujo por primera vez el nombre *Die Relativitäts-Theorie* («La teoría de la relatividad»), que a partir de entonces acompañó a la teoría que había creado.



Louis de Broglie.

Naturalmente es inevitable mencionar también lo que no es sino un mero corolario de la teoría (que Einstein publicó en otro artículo de 1905), condensado en una sencilla expresión matemática, $E = mc^2$ (en donde E representa la energía, m la masa y c la velocidad de la luz), que permitió comprender inmediatamente la razón

—aunque no la causa que subyacía en el fenómeno— de la aparentemente infinita energía producida en los procesos radiactivos, descubiertos a finales del siglo XIX por Henri Becquerel (1852-1908). Las explosiones nucleares que pusieron término a la Segunda Guerra Mundial dieron buena prueba de que masa y energía son, efectivamente, equivalentes.

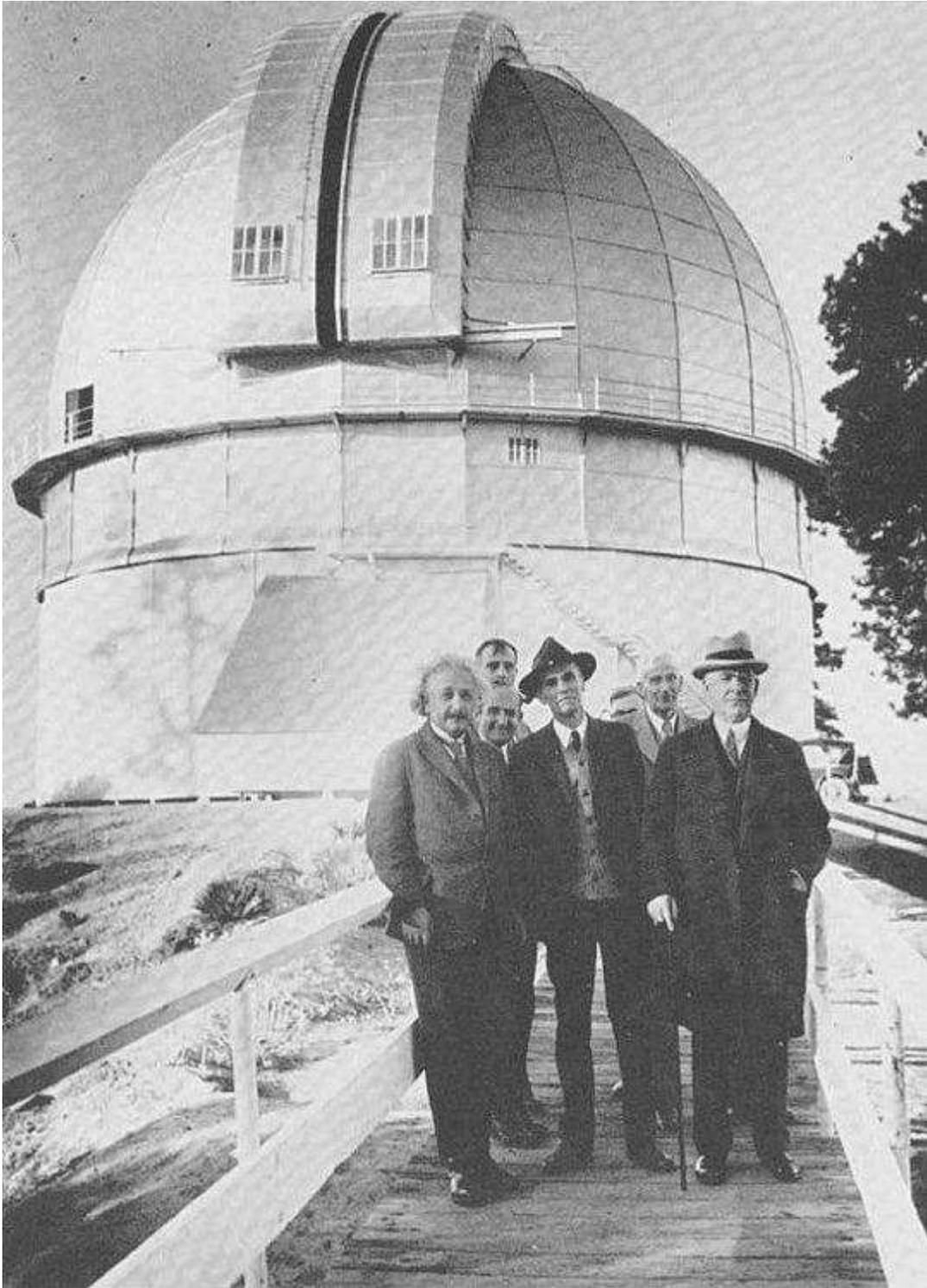
Una vez explotadas las principales consecuencias de la relatividad especial, hasta aproximadamente 1911, Einstein centró sus investigaciones principalmente en el campo de la física cuántica, esto es, en el mundo de las radiaciones y de los fenómenos microscópicos. De aquella época son sus trabajos sobre la aplicación de los principios cuánticos al estudio de los sólidos, lo que le permitió explicar, por ejemplo, desviaciones que se observaban en la ley (basada en la denominada «física clásica») de Dulong y Petit, o sobre la coexistencia de propiedades ondulatorias y corpusculares en varios fenómenos, que allanaron el camino a las más definidas ideas de Louis de Broglie (1892-1987) sobre la dualidad onda-corpúsculo (1923-1924).

El estilo científico einsteiniano. A. Einstein y el germen de la idea de la teoría de la relatividad especial, según sus «Notas autobiográficas» (1949): Reflexiones de esta índole [relativas a la radiación electromagnética] me hicieron ver claro, poco después de 1900, es decir, a poco de publicarse el innovador trabajo de Planck, que ni la mecánica ni la electrodinámica (salvo en casos límite) podían aspirar a validez absoluta. Poco a poco fui desesperando de poder descubrir las leyes verdaderas mediante esfuerzos constructivos basados en hechos conocidos. Cuanto más porfiaba y más denodado era mi empeño, tanto más me convencía de que solamente el descubrimiento de un principio formal y general podía llevarnos a resultados seguros. El ejemplo que veía ante mí era el de la termodinámica. El principio general venía dado allí por el teorema: las leyes de la naturaleza están constituidas de tal suerte que es imposible construir un *perpetuum mobile* (de primera y segunda especie). Mas ¿cómo encontrar un principio general de este tipo? Tras diez años de reflexión, ese principio resultó de una paradoja con la que me topé ya a los dieciséis años: si corro detrás de un rayo de luz con la velocidad c (velocidad de la luz en el vacío), debería percibir el rayo luminoso como un campo electromagnético estacionario, aunque parcialmente oscilante. Pero semejante cosa no parece que exista, ni sobre la base de la experiencia ni según las ecuaciones de Maxwell. De entrada se me antojó intuitivamente claro que, juzgada la situación por semejante observador, todo debería desarrollarse según las mismas leyes que para un observador que se hallara en reposo con respecto a la Tierra. Pues ¿cómo podría el primer observador saber o constatar que se encuentra en un estado de rápido movimiento uniforme? Como se ve, en esta paradoja se contiene ya el

germen de la teoría especial de la relatividad. Naturalmente, hoy nadie ignora que todos los intentos de aclarar satisfactoriamente esa paradoja estaban condenados al fracaso mientras el axioma del carácter absoluto del tiempo, o de la simultaneidad, siguiera anclado inadvertidamente en el inconsciente. El identificar claramente este axioma y su arbitrariedad representa ya en realidad la solución del problema. En mi caso, el pensamiento crítico que hacía falta para descubrir este punto central lo fomentó especial y decisivamente la lectura de los escritos filosóficos de David Hume y Ernst Mach. No obstante, a partir de 1911 Einstein dedicó sus energías casi de manera exclusiva a la búsqueda de una teoría de la interacción gravitacional que fuese compatible con los requisitos de la relatividad especial, ya que la teoría de la gravitación universal de Newton no satisface los requisitos —la invariancia Lorentz— de la relatividad especial. En realidad, ya antes de 1911 Einstein había identificado la pieza maestra que le serviría para orientarse en esa búsqueda: «el principio de equivalencia», la idea de que a distancias pequeñas un sistema de referencia acelerado es equivalente a un campo gravitacional. La manera como Einstein llegó a este principio, que desvela la profunda significación de un hecho aceptado hasta entonces (por Galileo y Newton) sin mayores problemas —la proporcionalidad (igualdad en un sistema de unidades adecuado) entre masa inercial y masa gravitacional—, muestra de manera espléndida la gran característica del estilo científico einsteiniano: su increíble capacidad para encontrar lo realmente esencial de la naturaleza, aquello que proporciona las claves más simples, pero a la vez más profundas, de la estructura del mundo. En este caso, como en otros (por ejemplo, al introducir en la relatividad especial el postulado de la constancia de la velocidad de la luz), Einstein únicamente recurrió a experimentos mentales (con observadores situados en ascensores, en presencia y en ausencia de campos gravitacionales) que cualquiera puede entender.

La búsqueda que Einstein emprendió le condujo en noviembre de 1915 a una nueva teoría, que sustituía a la clásica gravitación universal desarrollada por Newton en los *Principia*: la relatividad general, que va más allá de los requisitos básicos de la relatividad especial (al exigir la equivalencia de *todos* los sistemas de referencia, inerciales o no), aunque, al contrario que ésta, la nueva formulación únicamente se aplica a la interacción gravitatoria. Característica prominente de la relatividad general es que en ella el espacio deja de ser un marco inmutable ajeno a su contenido energético-material; como consecuencia, hay que hablar de un espacio-tiempo, curvo, de cuatro dimensiones, lo que implica que debe usar la geometría no euclidiana desarrollada por Lobachevski, Bolyai y Riemann. Nadie, antes o después de Einstein, produjo en la física una teoría tan innovadora, tan radicalmente nueva y tan diferente de las existentes anteriormente. Una posición que todavía ocupa, resistiendo a todas las pruebas experimentales, aunque con el

grave problema de no haber aceptado ningún procedimiento para hacerla compatible con los requisitos cuánticos, imprescindibles para cualquier teoría física, lo que hace pensar que probablemente, no obstante toda su belleza y originalidad, será sustituida en el futuro por otra formulación muy diferente.



Einstein en el Observatorio de Monte Wilson (California), junto a los astrónomos Walter Adams y William Campbell, 12 de abril de 1922.

A. Einstein. Resumen de las dos teorías de la relatividad (fecha y contexto de elaboración desconocidos). Manuscrito depositado en la Biblioteca Nacional y Universitaria Judía (Jerusalén): Teoría de la Relatividad. Toda teoría física emplea un sistema de coordenadas (descripción de lugar) y el concepto de tiempo. En la mecánica clásica, cuyos principales fundadores fueron Galileo y Newton, las coordenadas de un punto están relacionadas con un «sistema inercial», esto es, con un sistema de movimiento tal que la ley de inercia de Newton se aplica al sistema. Según esta teoría, existe un número infinito de sistemas inerciales que se mueven uniformemente entre sí; se supone que las leyes son válidas con respecto a cada uno de estos sistemas. El tiempo es tratado como una magnitud independiente, que es la misma para todos los sistemas inerciales. A la equivalencia de estos sistemas inerciales se la denomina el «principio de relatividad especial». Teoría Especial de la Relatividad. Esta teoría tuvo sus orígenes en la convicción, reforzada por un conjunto de hechos empíricos, de que la velocidad de la luz tiene el mismo valor constante en todos los sistemas inerciales. Partiendo de este principio llegamos al resultado de que las coordenadas de un punto y el tiempo están sujetas a leyes de transformación diferentes (para la transición de un sistema inercial a otro) de lo que se había supuesto tácitamente con anterioridad (transformación de Lorentz). Los contenidos de la teoría constituyen la respuesta a la pregunta: ¿cómo se deben modificar las leyes conocidas de la naturaleza para tomar en consideración el postulado de la constancia de la velocidad de la luz? De esto emerge en particular que el tiempo no es «absoluto», esto es, independiente de la elección de sistema inercial. Surge, asimismo, una ley de movimiento que difiere de la de Newton en el caso de grandes velocidades del orden de la velocidad de la luz. También resulta ese teorema ($E=mc^2$) para la equivalencia de la masa inercial m y la energía E de un sistema, que ha llegado a ser particularmente importante para la teoría de los elementos químicos y procesos radiactivos. Teoría de la Relatividad General. Esta es una generalización de la teoría especial de la relatividad, que abole el estatus especial de «sistemas inerciales» frente a sistemas de coordenadas en otros estados de movimiento. Esta teoría debe su origen al hecho, conocido desde siglos, de que la inercia y el peso de un cuerpo están caracterizados por el mismo número (masa). Fue en conexión con esta relación del peso como esta teoría proporcionó una nueva ley de gravitación, que es válida con mayor precisión que la teoría de la gravitación de Newton. Característica de la teoría de la relatividad es la cuestión: ¿cómo deben estar constituidas las leyes de la naturaleza, de forma que se apliquen de la misma manera a cualquier sistema de coordenadas? (Postulado de la invariancia de las leyes de la naturaleza con respecto a transformaciones arbitrarias de espacio y tiempo.) Casi inmediatamente, en 1916, Einstein aplicó su nueva teoría de la

gravitación (modificada introduciendo un nuevo elemento en sus ecuaciones básicas: la constante cosmológica) al conjunto del cosmos, encontrando un modelo de universo estático de densidad uniforme, con el que creó la cosmología, entendida como disciplina auténticamente científica, frente a las apenas analíticas, en modo alguno predictivas, cosmogonías anteriores. Tal modelo fue finalmente arrinconado ante la evidencia experimental —proporcionada por el astrofísico estadounidense Edwin Hubble (1889-1953) en 1929— de que el universo no es estático sino que se expande. Afortunadamente para la cosmología relativista, existen soluciones de sus ecuaciones (que además no necesitan de la constante cosmológica), estudiadas por diversos científicos (como Georges Lemaître [1894-1966], Alexander Friedmann [1888-1925], Howard P. Robertson [1903-1961] o Arthur G. Walker [n. 1909]) que conducen a modelos de universo en expansión.

A partir de entonces, el mundo de la relatividad general fue el tema de investigación preferido por Einstein; en especial, lo que llamó «teoría del campo unificado», con la que pretendía encontrar un marco (geométrico) común para las dos interacciones conocidas en aquella época, la electromagnética y la gravitacional. Al dedicarse a este problema, tuvo que terminar siguiendo un camino en el que eran las posibilidades matemáticas —estructuras formales suficientemente ricas como para, en principio, dar cabida a variables electromagnéticas y gravitacionales— las que dirigían sus esfuerzos. Fue la suya una lucha titánica y solitaria, ya que la gran mayoría de sus colegas no compartían sus esperanzas, entre las que figuraba de forma prominente desarrollar una teoría que no renunciase a la continuidad y al determinismo, los fenómenos de que daba cuenta —recurriendo a la discontinuidad y a probabilidades— la teoría cuántica. Y es que Einstein, que junto con Planck había sido uno de los que originaron el movimiento que condujo a la mecánica cuántica, nunca aceptó completamente esta teoría, que entendía no se podía considerar completa. No aceptaba su carácter estadístico, situación un tanto peculiar, toda vez que también fue él quien, en 1916-1917, introdujo realmente tal rasgo en la física cuántica. Ahora bien, tal oposición no le impedía reconocer que se trataba de la teoría física de más éxito de su tiempo, en tanto que permitía comprender unitariamente las experiencias relativas al carácter cuántico de los procesos micromecánicos.



Max Born.

Más concretamente, el rasgo de la física cuántica que chocaba sobre todo a Einstein era el de que en ella el resultado de una medida dependiese del proceso de medición; pensaba que tal característica de la interpretación más ampliamente aceptada de la mecánica cuántica —la denominada interpretación de Copenhague— era incompatible con una definición aceptable del concepto de «lo físicamente real». Es particularmente famosa una de sus manifestaciones «antiprobabilistas» y «realista», contenida en una carta que escribió a Max Born —quien se distinguió en la introducción de los aspectos probabilistas en la nueva teoría— el 4 de diciembre de 1926: «La mecánica cuántica obliga a que se la respete. Pero una voz interior me dice que todavía no es la cosa real. La teoría nos aporta muchas cosas, pero apenas nos acerca al secreto del Viejo. De todas maneras, yo estoy convencido de que Él, al menos, no juega a los dados».

Lejos de limitarse a expresar una oposición de carácter meramente programático o metodológico, Einstein expresó su rechazo mediante argumentos que utilizaban situaciones experimentales posibles. La manifestación más conocida de sus ideas es un artículo que publicó en 1935, en colaboración con Boris Podolsky

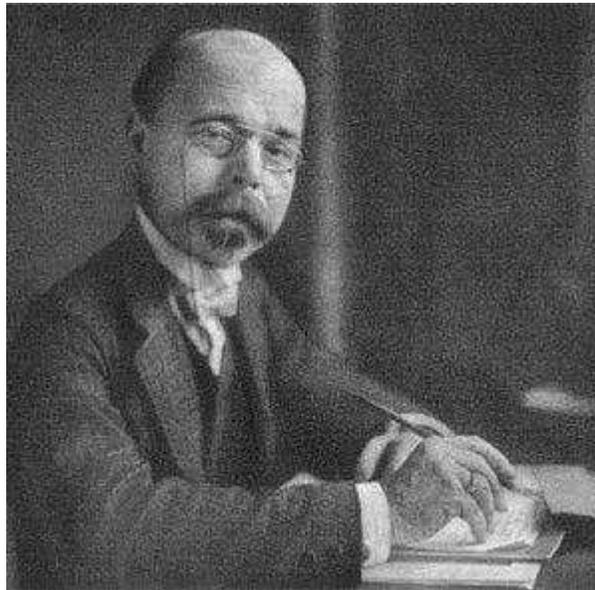
(1896-1966) y Nathan Rosen (1909-1995), en la revista *Physical Review*: «Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?» («¿Puede considerarse completa la descripción mecanocuántica de la realidad?»). El efecto de este artículo fue inmediato. Niels Bohr (1885-1962), el creador del primer modelo atómico cuántico (1913), gran patrón de la física cuántica y, en particular, de la interpretación de Copenhague (ciudad en la que se encontraba su Instituto de Física), que de hecho había mantenido vivas discusiones con Einstein sobre estos temas durante el Congreso Solvay de 1930, publicó inmediatamente, con el mismo título y en la misma revista, una respuesta a las objeciones de Einstein, abriendo un debate que sólo parece haberse cerrado en los últimos años (favoreciendo a la teoría cuántica tradicional).

Einstein, científico-filósofo: *No es frecuente encontrarse con un artículo científico en el que se defina nada más y nada menos que la realidad, pero esto es lo que hicieron Einstein, Podolsky y Rosen en «¿Puede considerarse completa la descripción mecanocuántica de la realidad?» (1935). A continuación se citan los pasajes en los que lo hacían. Representa un ejemplo de un aspecto de la personalidad científica de Einstein que sólo he mencionado de pasada: su dimensión filosófica, su capacidad de penetrar en los estratos más profundos del estudio de la naturaleza, en los que física y filosofía se distinguen con dificultad. Cualquiera que sea el significado que se asigne al término completa, el siguiente requisito para una teoría completa parece ser necesario: todo elemento de la realidad física debe tener una contrapartida en la teoría física. Llamaremos a esto la condición de completitud... Los elementos de la realidad física no pueden ser determinados mediante consideraciones filosóficas a priori, sino que deben encontrarse recurriendo a resultados de experimentos y medidas. Una definición general y completa de realidad no es, sin embargo, necesaria para nuestros propósitos. Quedaremos satisfechos con el siguiente criterio, que consideramos razonable. Si, sin perturbar en forma alguna un sistema, podemos predecir con seguridad (esto es, con probabilidad igual a la unidad) el valor de una magnitud física, entonces existe un elemento de realidad física que corresponde a esta magnitud física. Por fin, un científico profesional respetado*

La lógica interna que existe en los intereses y aportaciones científicas de Einstein me ha llevado más allá de la época en la que trabajaba en la Oficina de Patentes de Berna. Es preciso, para reconstruir su biografía, y la del tiempo que le tocó vivir, volver, otra vez, hacia atrás.

Gracias a las aportaciones a la física que realizó a partir de 1905, el mundo

académico comenzó a advertir su presencia. En 1909 consiguió su primer puesto universitario, profesor asociado en la Universidad de Zúrich. En 1911, fue designado catedrático de Física en la Universidad alemana de Praga. La propia existencia de una universidad *alemana* en una ciudad checa muestra algunos de los conflictos con los que se encontró allí Einstein: una ciudad, de aproximadamente medio millón de personas, la mayoría (en torno al 90 por 100) checoslovacos, pero en la que la minoría germana (un 7 por 100 de la población, la mitad judíos) ocupaba una posición de privilegio económico, situación que producía numerosos conflictos, entre los cuales se encontraba una división cultural que explica la existencia de la universidad a la que se incorporó Einstein. No era, sin embargo, esta división étnica la única: también había otra que afectaba a los judíos, contra los que se unían los alemanes que no lo eran y los checoslovacos.



Walther Nernst.

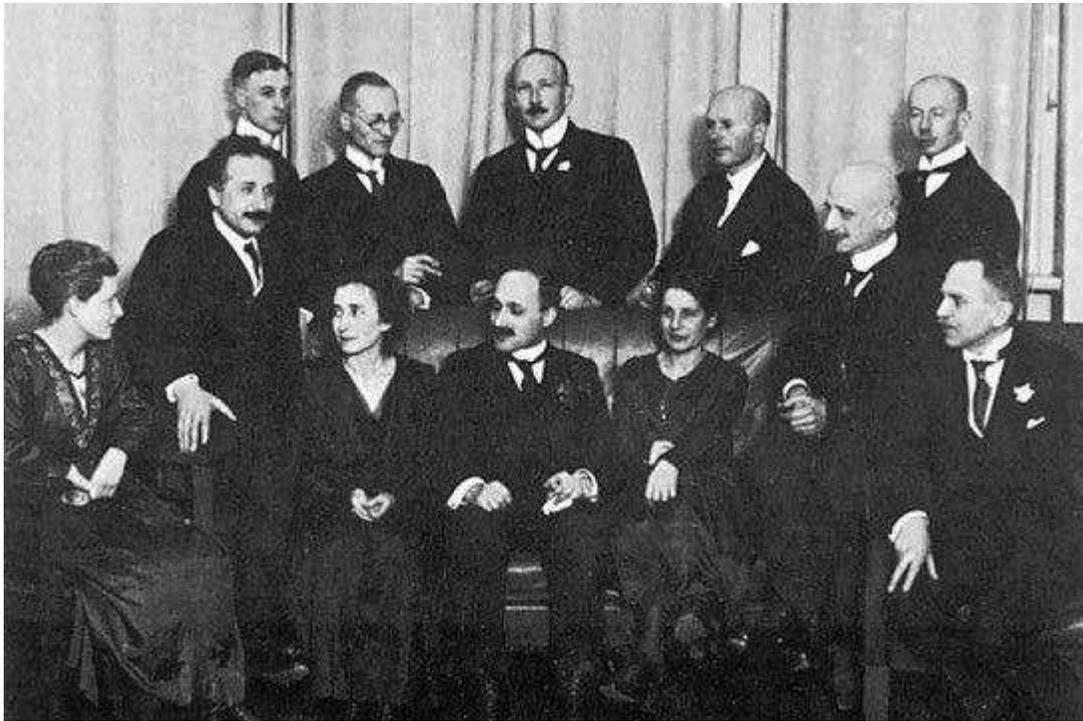
Muy poco después de llegar a Praga, algunos colegas y amigos suyos de Zúrich comenzaron a impulsar la idea de que el creador de la relatividad abandonase Praga por una cátedra en el Politécnico, su *alma mater*. Pierre Weiss (1865-1940), distinguido experto en paramagnetismo y ferromagnetismo, tuvo la idea de dirigirse a dos de los científicos más conocidos y respetados del momento para saber qué opinaban de Einstein, con la intención de incluir sus respuestas en el informe que finalmente debía llegar al Departamento Federal del Interior suizo. Los

científicos elegidos fueron Henri Poincaré (1854-1912) y Marie Curie (1867-1934). El informe que ésta preparó el 17 de noviembre de 1911, sirve para hacerse una idea de lo que opinaba entonces la élite de la física mundial:

He admirado mucho los trabajos que han sido publicados por M. Einstein sobre las cuestiones que tocan la física teórica moderna. Creo, además, que los físicos-matemáticos están de acuerdo en considerar que estos trabajos son sin duda de primer orden. En Bruselas, en donde he asistido a un consejo científico [se refiere al primer Consejo Solvay] del que M. Einstein formaba parte, he podido apreciar la claridad de su espíritu, la extensión de su información y la profundidad de sus conocimientos. Si se considera que M. Einstein es todavía muy joven, se tiene derecho a basar en él las más grandes esperanzas y a ver en él a uno de los primeros teóricos del futuro. Pienso que una institución científica que dé a Einstein los medios de trabajo que él desea, llamándole, por ejemplo, a ocupar una cátedra en las condiciones que merece, se verá grandemente honrada por tal decisión y prestará ciertamente un gran servicio a la ciencia. Y, naturalmente, le fue ofrecida una cátedra en el Politécnico, a donde se incorporó en 1912. Dos años más tarde, alcanzaba la cumbre de su profesión: catedrático sin obligaciones docentes en la Universidad de Berlín, director de un Instituto de Física teórica, que se crearía especialmente para él en la Asociación Káiser Guillermo, y miembro, con un salario de 12.000 marcos, de la Academia Prusiana de Ciencias. Planck y el químico-físico Walther Nernst (1864-1941) en persona viajaron desde Berlín a Zúrich, en el verano de 1913, para transmitirle la oferta. ¿Cómo resistirse ante ella, más aún con semejantes embajadores? Aunque el humor de Einstein no le impidió comentar, justo después de la visita, a su amigo y futuro premio Nobel de Física Otto Stern (1888-1969): «¿Sabes?, los dos me parecieron como si quisiesen obtener un raro sello postal».

Los científicos también son humanos

Continuando con su perfil humano, es preciso detenerse en otros aspectos de la biografía de Einstein, aquellos que involucran relaciones, al margen de la ciencia, con otras personas. Y es que los científicos también son humanos, por mucho que con frecuencia nos encontremos con obras —hagiografías más bien— en las que parezca lo contrario.



Científicos berlineses: Einstein (a la izda., sentado), James Franck (en el sofá, en el centro), Fritz Haber (a la dcha., sentado de lado), Otto Hahn (en el sillón, a la dcha.) y Gustav Hertz (de pie, en el extremo derecho).

El 6 de enero de 1903, Einstein contrajo matrimonio con Mileva Marić, como hemos visto compañera de estudios en la ETH. Hace unos pocos años se publicaron las cartas que ambos intercambiaron durante su noviazgo (ya he citado algunas), en las que el futuro gran físico aparece bajo una luz que no le distingue demasiado de tantos otros jóvenes enamorados: «Cuando no te tengo —escribía el 6 de agosto de 1900—, siento como si no estuviera completo. Si me siento, quisiera marcharme; si me voy, me alegro de volver a casa; si me entretengo, quisiera estudiar; si estudio, me falta recogimiento y tranquilidad, y si me voy a dormir, no estoy satisfecho con el día vivido. Que lo pases bien, corazón, y recibe los besos más afectuosos de tu Albert».

Cartas como estas eran prácticamente desconocidas hasta muy poco antes de la aparición del primer tomo de los *Einstein Collected Papers* (1987); formaban parte de un conjunto de 430 cartas pertenecientes al legado literario de Mileva Marić, un

auténtico tesoro que finalmente salió a subasta pública (con precios astronómicos) el 25 de noviembre de 1996, en la casa Christie's, y cuyo contenido completo irá apareciendo —así se ha prometido al menos— en sucesivos volúmenes de los *Einstein Collected Papers* (efectivamente, ya se pueden leer algunas en los diez tomos publicados hasta la fecha).

Las cartas ya publicadas contienen, además de detalles como los señalados, y de referencias a las lecturas e intereses científicos de Einstein entre 1897 y 1902, sorpresas inesperadas. Como el que hacia enero de 1902, antes por consiguiente de casarse, Mileva tuvo una hija de Albert, a la que en sus cartas llamaban «Lieserl». Del destino de esta niña no ha quedado ningún rastro (no es improbable que fuese dada en adopción). Más tarde, ya casados, tuvieron dos hijos: Hans Albert (14 de mayo de 1904), que llegaría a ser profesor de ingeniería en la Universidad de Berkeley (Estados Unidos), en donde murió en 1973, y Eduard (28 de julio de 1910), que falleció en 1965 en un hospital psiquiátrico suizo en el que llevaba décadas recluido debido a su esquizofrenia. Su padre, en un detalle que en absoluto le honra, le había visitado por última vez en 1932.

Esas cartas personales nos permiten contemplar, con toda transparencia y dramatismo, cómo se fueron deteriorando las relaciones personales entre Albert y Mileva, que les condujo al divorcio (se separaron en 1914, con Einstein permaneciendo en Berlín y Mileva regresando a Zúrich con sus dos hijos; el divorcio llegó en febrero de 1919). El Einstein que se encuentra en algunos de esos documentos es muy diferente al que aparece en escritos en los que defendía el pacifismo, la solidaridad o el valor de la ciencia. Veamos si no, las condiciones que imponía a Mileva, en torno al 18 de julio de 1914, para continuar viviendo en el domicilio familiar:

Condiciones.

A. Debes asegurarte

- 1) que mi ropa, limpia y por lavar, se mantenga en buen orden y arreglada
- 2) que recibo mis tres comidas de manera regular *en mi habitación*
- 3) que mi habitación y despacho se mantienen siempre limpios y, en particular, que mi mesa esté dispuesta *sólo para mí*.

B. Renuncias a todas las relaciones personales conmigo en tanto que no sea absolutamente necesario mantenerlas por razones sociales. Específicamente, debes

renunciar

- 1) a que me sienta en casa contigo
- 2) a que salga o viaje contigo.

C. En tus relaciones conmigo debes aceptar explícitamente adherirte a los siguientes puntos:

- 1) No debes esperar de mí intimidad ni reprocharme en forma alguna.
- 2) Debes desistir inmediatamente de dirigirte a mí si te lo pido.
- 3) Debes abandonar inmediatamente mi habitación o despacho sin protestar si te lo pido.

D. Aceptas no menospreciarme ni de palabra ni de hecho delante de mis hijos.

Eran, ciertamente, unas condiciones brutales, pero ¿es que los científicos, los grandes, grandísimos, científicos incluidos, son diferentes del resto de los seres humanos, entre los que se dan pasiones de todo tipo? No, por supuesto. Y este es un hecho que no hay que olvidar, especialmente en épocas, como la presente, en las que los conocimientos científicos constituyen valores no sólo aceptados, sino buscados con fervor por la sociedad (al menos por una parte importante de ella), una situación que coloca a los científicos en posiciones de privilegio, siendo sus voces y opiniones especialmente apreciadas.

Tampoco hay que olvidar, como en este caso se ha hecho en más de una ocasión (por ejemplo, por algún colectivo feminista, propagando la completamente infundada —y por ello ridícula— tesis de que Einstein se había aprovechado en sus grandes aportaciones científicas de aquella época del trabajo e ideas de Mileva), a la otra parte, ya que existen evidencias del complicado carácter de Marić. Otra carta (no publicada todavía; formaba parte de los documentos ofrecidos en la subasta de Christie's de noviembre de 1996; se citaba en el catálogo publicado) de Einstein a Mileva, del 24 de octubre de 1925, da tal vez una imagen menos brutal aunque no menos cruel, acaso más realista, de su autor: «Cuando leo una carta tuya, me siento como un criminal, especialmente cuando no puedo recordar las circunstancias reales. De hecho, siempre hice todo lo que fue humanamente posible para hacer más fácil y mejorar tu vida... No aprecias nada de lo que hago. Todo lo que saco de ti es insatisfacción y desconfianza. Ya no lo tomo a mal porque creo que estoy

tratando con alguien anormal. Me haces reír con tu amenaza de tus memorias. ¿No se te ha ocurrido pensar que ni siquiera un gato daría un penique por semejantes garabatos si no fuese porque el hombre con el que te relacionabas había logrado algo importante? Si una persona es un cero a la izquierda, entonces no hay nada que le puedas reprochar. Sin embargo, uno debería ser agradable y modesto y mantener la boca cerrada; este es el consejo que te doy. Pero si el diablo no te abandona, entonces, en el nombre de Dios escribe lo que él quiera que digas. He tenido que enfrentarme ya con tantas tonterías de otras personas, que puedo afrontar las tuyas con calma».

Al tener que enfrentarse con la —con demasiada frecuencia inevitable— dureza de la vida, los seres humanos reaccionan de muy diversas maneras: con desesperación, extrañamiento, violencia o depresión, por citar algunas posibilidades. Einstein encontró en la ciencia, que para él consistía en la búsqueda de lo objetivo, su vía de escape. Ilustrativas en este sentido son las siguientes frases, extraídas de un discurso que pronunció durante la celebración del sexagésimo aniversario de Max Planck (1918) en la Sociedad de Física de Berlín: «En principio, creo, junto con Schopenhauer, que una de las más fuertes motivaciones de los hombres para entregarse al arte y a la ciencia es el ansia de huir de la vida de cada día, con su dolorosa crudeza y su horrible monotonía; el deseo de escapar de las cadenas con que nos atan nuestros, siempre cambiantes, deseos. Una naturaleza de temple fino anhela huir de la vida personal para refugiarse en el mundo de la percepción objetiva y el pensamiento». No hace falta decir que algunos admirarán semejante postura, mientras que otros la criticarán, como expresión de egoísmo o cobardía. Sea como fuese, el hecho es que para comprender a Einstein el hombre, al igual que una parte de sus escritos no científicos, hay que tener muy en cuenta su filosofía trascendentalista.

En cualquier caso, el descubrimiento de que Einstein no fue, en su cotidianeidad, un santo laico, parece haber constituido una sorpresa para muchos. Así, han florecido, y continúan haciéndolo, obras en las que se insiste en sus «debilidades» humanas. Y entre esas debilidades se han destacado, como difícilmente podía ser de otra forma en el mundo actual, sus relaciones con mujeres. Veamos dos ejemplos, uno importante por el papel que desempeñó en su vida, otro que tiene más de anecdótico que de otra cosa.

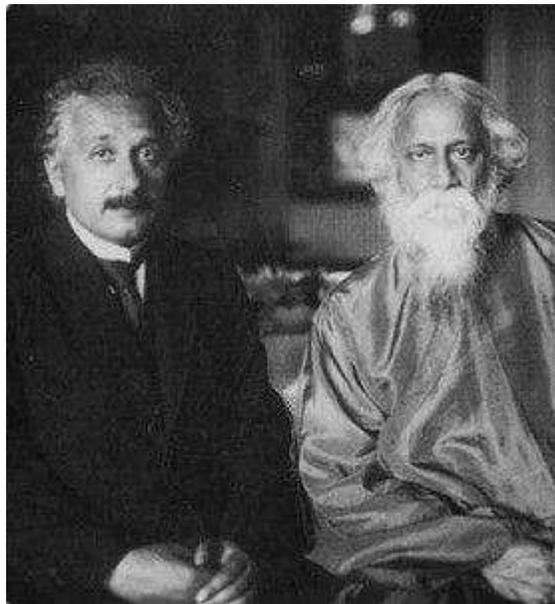
El primer ejemplo tiene que ver con su prima, Elsa Einstein Löwnthal (1874-1936), con la que volvió a relacionarse cuando estaba divorciada y con dos hijas. En una fecha tan temprana como el 30 de abril de 1912, tras una visita a Berlín en la que había visto a Elsa, Einstein le escribía que la amaba. La pasión de Albert

por su prima continuó durante los siguientes años, en los que la cuestión de su divorcio con Mileva aparece constantemente en las cartas que intercambiaron. Pero semejante entusiasmo debió de decrecer en algún momento, cuando la materialización del divorcio se encontraba próxima. Y decreció de una manera ciertamente no convencional, como muestra una carta que una de las hijas de Elsa, Ilse, escribió desde Berlín a Georg Nicolai (1874-1964), profesor titular de Fisiología en la Universidad de Berlín y notable pacifista (preparó un manifiesto en 1914 en favor de la paz entre los pueblos europeos, al que se sumó Einstein), el 22 de mayo de 1918: «Recordará usted que recientemente hablamos del matrimonio entre Albert y mamá, y que usted me dijo que un matrimonio entre Albert y *yo* sería más propio. Nunca pensé seriamente acerca de ello hasta ayer, cuando se suscitó la cuestión repentinamente de si A. quería casarse con mamá o conmigo... El propio Albert rechaza tomar una decisión, está preparado para casarse conmigo o con mamá. Sé que A. me quiere mucho, acaso más de lo que lo hará nunca otro hombre, me lo dijo él mismo ayer. Por otra parte, puede incluso preferirme a mí como esposa ya que soy joven y podría tener hijos conmigo, lo que naturalmente no se aplica en el caso de mamá».



Albert y Elsa Einstein junto a Charles Chaplin en el estreno de *Luces de la ciudad* en Los Ángeles (1931).

Finalmente, el 2 de junio de 1919, Einstein se casó con Elsa. No tuvieron, por supuesto, hijos y Elsa cuidó bien de su marido, disfrutando de su fama, como se puede comprobar en numerosas fotografías, en las que aparece junto a Albert y luminarias del tipo de Charles Chaplin, Chaim Weizmann o Rabindranath Tagore. Que Einstein disfrutase igualmente es mucho más dudoso. Existe un documento profundamente revelador en este sentido: una carta que escribió el 21 de marzo de 1955, muy poco antes de su muerte, al hijo y a la hermana de Michele Angelo Besso, que acababa de fallecer. Ya mencioné que Besso fue uno de sus grandes amigos, y continuó siéndolo toda su vida. Pues bien, en aquella carta se lee: «Ha sido verdaderamente muy amable por su parte darme, en estos días tan tristes, tantos detalles sobre la muerte de Michele. Su fin ha sido armonioso, a imagen de su vida entera, a imagen también del círculo de los suyos. El don de llevar una vida armoniosa raramente va acompañado de una inteligencia tan aguda, sobre todo en la medida en que él la poseía. Pero lo que yo admiraba más en Michele, como hombre, era el hecho de haber sido capaz de vivir tantos años con una mujer, no solamente en paz, sino también constantemente de acuerdo, empresa en la que yo, lamentablemente, he fracasado por dos veces».



Einstein y Rabindranath Tagore, Berlín 1930.

El otro ejemplo se refiere a uno de los últimos descubrimiento de los amores de Einstein. En, de nuevo, una subasta pública celebrada el 26 de junio de 1998 en Nueva York, esta vez realizada por Sotheby's, se ofreció un lote compuesto por nueve cartas de Einstein a Margarita Konenkova (1900-1982), junto a otros materiales (el precio de salida fue de 250.000 dólares). Lo mejor es citar del propio catálogo preparado por Sotheby's:

LA HASTA AHORA DESCONOCIDA RELACIÓN AMOROSA DE EINSTEIN CON UNA ESPÍA RUSA. El material de este lote comprende el descubrimiento más significativo con relación a la vida personal y emocional de Einstein desde que se conocieron en 1937 las primeras cartas que escribió a su primera esposa, Mileva. La historia que cuentan es incluso más llamativa y considerablemente más compleja que las del joven y típico amante que muestran las cartas a Mileva. Las cartas y otros materiales relacionados que ofrecemos sacan a la luz por primera vez la historia de la relación amorosa de Einstein con Margarita Konenkova (c. 1900-1982), esposa del eminente escultor ruso Sergei Konenkov (1874-1971). Los Konenkov vivieron como emigrados en Estados Unidos durante más de veinte años, desde comienzos de los años veinte hasta finales de 1945, cuando fueron reclamados por la Unión Soviética. Sergei Konenkov tenía un estudio en Greenwich Village, donde, aunque rechazó aprender inglés, desarrolló una carrera con bastante éxito realizando retratos para muchos americanos eminentes, incluyendo algunos miembros de la Corte Suprema. Además de ayudar a su marido, durante los años de guerra Margarita sirvió como secretaria ejecutiva de la Sociedad Americana para Ayuda a Rusia. También fue... una espía soviética.

En este punto, el catálogo indica que Einstein conocía a los Konenkov desde al menos 1935, cuando Sergei realizó un busto suyo (que ahora se encuentra en el Institute for Advanced Study de Princeton), y que aunque no es posible determinar durante cuánto tiempo Einstein y Margarita habían sido amantes, a finales del otoño de 1945 «su relación era apasionada». Y a continuación, como si fuese una novela de espías, se incluyen los siguientes comentarios: «Es igualmente manifiesto, tanto de las cartas como de otros materiales ofrecidos aquí, que se han conservado a través de un miembro de la familia Konenkov, que el papel de Margarita fue complicado. Tuvo que hacer juegos malabares con los deseos y necesidades de Einstein, de su marido y de quien la controlaba, el vicecónsul soviético Pastelniak (que utilizaba el nombre falso de Pavel Mikhailov y que le dio a ella el nombre en clave de Lucas). Amor, manipulación y desengaño estuvieron inseparablemente unidos en su relación con Einstein. La tradición familiar de que tuvo otras muchas relaciones amorosas, incluyendo entre ellas con Rachmaninoff y con el artista emigrado Boris Chaliapin, sugieren que estaba bien entrenada para su relación con Einstein». Uno de los últimos servicios que Margarita realizó, antes de regresar

apresuradamente a la Unión Soviética, fue intentar, a mediados de agosto de 1945, que Einstein recibiese a Mikhailov, aparentemente para discutir cuestiones relacionadas con la bomba atómica que, recordemos, se acababa de probar con éxito sobre Hiroshima y Nagasaki.

Pacifista

Abandonemos ya el ámbito de lo privado y regresemos al de lo público. La física einsteniana pudo ser intrincada, dando origen a mitos como aquel que propagó el astrofísico británico Arthur Eddington (1882-1944) de que sólo tres personas entendían la teoría de la relatividad general, pero su palabra era transparente y de una belleza y altura moral singulares, cuando hablaba de cuestiones humanas trascendentales. Y entre esas cuestiones humanas, una llamó muy particularmente su atención: la lucha contra la guerra, el pacifismo. Un interés promovido por las circunstancias históricas en las que se desarrolló su vida. Circunstancias históricas como la Primera Guerra Mundial.

Al poco de comenzar la Gran Guerra, el 4 de octubre de 1914, movidos en parte por las repercusiones negativas que había tenido en el mundo la invasión de Bélgica, 93 intelectuales alemanes dieron a conocer lo que denominaron «Llamamiento al mundo civilizado» («Aufruf an die Kulturwelt»). Aquel manifiesto defendía con una parcialidad sobrecogedora las acciones germanas. Contenía puntos como el siguiente: «*No es verdad* que la lucha contra lo que se ha llamado nuestro militarismo no sea una lucha contra nuestra cultura, como pretenden hipócritamente nuestros enemigos. Sin el militarismo alemán, la cultura alemana habría desaparecido de la faz de la tierra hace mucho tiempo. Es para proteger esa cultura, que un país que durante siglos ha sufrido más invasiones que ningún otro, ha salido de sus fronteras. El ejército y el pueblo alemanes forman una unidad. Semejante convicción une hoy día a 70 millones de alemanes, sin distinción de educación, condición social y partido».



Einstein y Leo Szilard discutiendo la carta del primero al presidente Roosevelt.

Entre los firmantes de este llamamiento figuraban 15 científicos, algunos del calibre de los químicos Adolf von Baeyer (Múnich), Emil Fischer (Berlín), Fritz Haber (Berlín), Walther Nernst (Berlín), Wilhelm Ostwald (Leipzig) y Richard Willstätter (Berlín), el matemático Felix Klein (Gotinga), y los físicos Philipp Lenard (Heidelberg), Max Planck (Berlín), Wilhelm Röntgen (Múnich) y Wilhelm Wien (Wurzburgo).

En la atmósfera que reinaba entonces en Alemania era difícil oponerse públicamente a aquella declaración (en otros países tampoco fue fácil defender posiciones no beligerantes, como demuestra el caso de Bertrand Russell en Inglaterra). Sin embargo, pocos días después de su publicación un destacado pacifista alemán, Georg Nicolai, con quien nos hemos encontrado previamente, preparó una réplica que hizo circular entre sus colegas universitarios. Sólo tres personas se adhirieron a ella: uno de ellos era Einstein. El documento en cuestión, titulado «Manifiesto a los europeos», fue distribuido a mediados de octubre, y

contenía párrafos como los siguientes: «La guerra que ruge difícilmente puede dar un vencedor; todas las naciones que participan en ella pagarán, con toda probabilidad, un precio extremadamente alto. Por consiguiente, parece no sólo sabio sino obligado para los hombres instruidos de todas las naciones el que ejerzan su influencia para que se firme un tratado de paz que no lleve en sí los gérmenes de guerras futuras, cualquiera que sea el final del presente conflicto. La inestable y fluida situación en Europa, creada por la guerra, debe utilizarse para transformar el Continente en una unidad orgánica... Nuestro único propósito es afirmar nuestra profunda convicción de que ha llegado el momento de que Europa se una para defender su territorio, su gente y su cultura... El primer paso en esa dirección sería el que unan sus fuerzas todos aquellos que aman realmente la cultura de Europa; todos aquellos a los que Goethe proféticamente llamó “buenos europeos”».

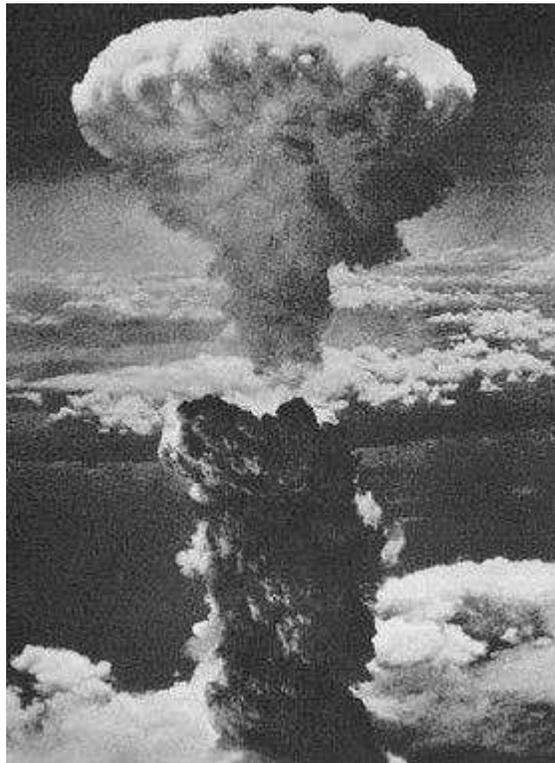
Sin embargo, con dolorosa frecuencia la vida de los humanos se mueve en situaciones que provocan sentimientos encontrados, sentimientos que impiden mantener líneas de comportamiento sencillas o lineales. Así, a pesar de sus ideas pacifistas, Einstein contribuiría a impulsar el establecimiento del proyecto nuclear estadounidense, el «Proyecto Manhattan», que culminó con el lanzamiento de dos bombas atómicas sobre Japón. El 2 de agosto de 1939, a petición de tres físicos de origen húngaro que también habían tenido que abandonar Alemania, Leo Szilard (1898-1964), Edward Teller (1908-2003) y Eugene Wigner (1902-1995), Einstein escribió una carta al presidente Franklin D. Roosevelt (1882-1945) en la que indicaba el peligro potencial de que, a raíz del descubrimiento de la fisión del uranio, realizado por Otto Hahn (1879-1968) y Fritz Strassmann (1902-1980), en Berlín en diciembre de 1938, Alemania pudiese fabricar bombas atómicas. El contenido de esa carta resume un momento importante de la historia del siglo XX, no siendo posible, sin conocerla, comprender la historia mundial posterior.

A. Einstein a Franklin D. Roosevelt, 2 de agosto de 1939: Señor: Trabajos recientes de E. Fermi y L. Szilard, que me han sido comunicados en manuscrito, me hacen esperar que el elemento uranio pueda convertirse en una nueva e importante fuente de energía en el futuro inmediato. Ciertos aspectos de la situación que se ha producido exigen que se la vigile cuidadosamente y, si es necesario, que la Administración actúe rápidamente. Creo, por consiguiente, que es mi deber llamar su atención sobre los siguientes hechos y recomendaciones: En el curso de los últimos cuatro meses se ha hecho probable —a través del trabajo de Joliot en Francia, al igual que de Fermi y Szilard en América— que puede ser posible establecer una reacción nuclear en cadena en una gran masa de uranio, mediante la cual se generarían vastas cantidades de energía y grandes cantidades de nuevos elementos del estilo del radio. Parece ahora casi seguro que esto podría conseguirse

en el futuro inmediato. Este nuevo fenómeno conduciría también a la construcción de bombas y es concebible —aunque mucho menos seguro— que de esta manera se puedan construir bombas de un nuevo tipo extremadamente poderosas. Una sola bomba de esta clase, transportada por barco y hecha explotar en un puerto, podría muy bien destruir todo el puerto junto a parte del territorio que lo rodease. Sin embargo, tales bombas podrían ser demasiado pesadas como para que se las pudiese transportar por aire. Los Estados Unidos solamente tienen yacimientos muy pobres de uranio en cantidades moderadas. Existe algún buen yacimiento en Canadá y en la antigua Checoslovaquia, mientras que la fuente de uranio más importante se encuentra en el Congo belga. En vista de esta situación, acaso pueda usted considerar aconsejable que exista algún contacto permanente entre la Administración y el grupo de físicos que trabajan en reacciones en cadena en Estados Unidos. Una forma posible de lograr esto sería que confiase esta tarea a una persona de su confianza y que acaso pudiera servir de manera no oficial. Su misión podría consistir en lo siguiente: a) relacionarse con los departamentos gubernamentales, mantenerles informados de los desarrollos que se produzcan y presentar recomendaciones para acciones del Gobierno, prestando atención particular al problema de asegurar el suministro de uranio para los Estados Unidos; b) acelerar el trabajo experimental que en la actualidad se está desarrollando dentro de los límites de los presupuestos de los laboratorios universitarios, proporcionando fondos, en el caso de que fuesen necesarios, a través de sus contactos con personas que deseen hacer contribuciones a esta causa, y acaso también obteniendo la cooperación de laboratorios industriales que dispongan de los equipos necesarios. Entiendo que Alemania ha detenido en la actualidad la venta del uranio de las minas checoslovacas de las que ha tomado control. El que haya adoptado esta acción tan pronto puede tal vez entenderse en base a que el hijo del subsecretario de Estado alemán, Von Weizsäcker, está asociado al Instituto Kaiser-Wilhelm de Berlín en donde se están repitiendo algunos de los trabajos americanos sobre el uranio. Aunque es difícil determinar en qué medida la carta de Einstein influyó en la posterior decisión del gobierno estadounidense de establecer el proyecto Manhattan, que conduciría a la fabricación de las bombas que se lanzaron sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945 y que provocaron la inmediata rendición de Japón, el hecho es que el temor que sentía por un mundo dominado por Hitler hizo que Einstein violentase sus creencias pacifistas. En tiempos difíciles, cuando las pasiones y la sangre empañan la tierra, la pureza es un bien que se agosta rápidamente. ¡Qué siglo el XX, qué siglos todos en realidad, que terminaron arruinando lo mejor de nuestra especie, la solidaridad y los deseos de hermandad!

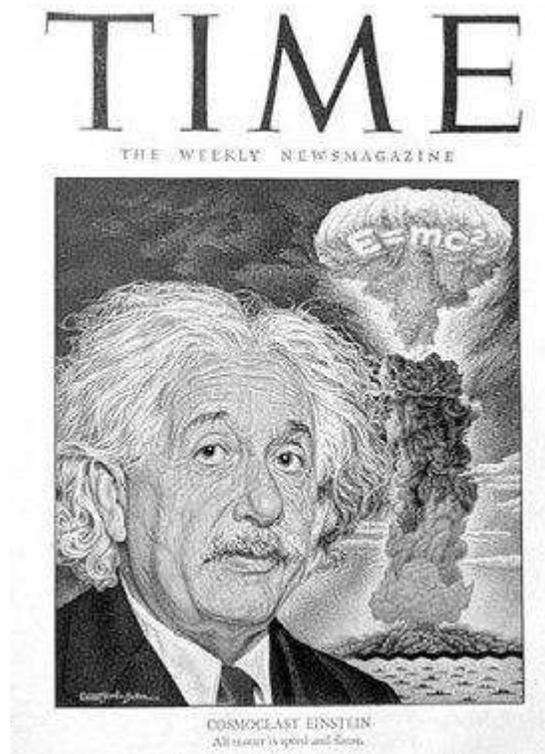
Que el «mundo», y yo mismo aquí, se haya ocupado de la biografía de Einstein con el detalle con que lo ha hecho, penetrando en todos los rincones accesibles de su vida, se debe a la fama popular que llegó a alcanzar, no necesariamente —¡ay!— a la excelencia de sus contribuciones a la ciencia, aunque, por supuesto, fama y ciencia estén relacionadas.

La continuamente ascendente carrera académica de Einstein desde que abandonó la Oficina de Patentes de Berna, y que culminó al llegar a Berlín a principios de 1914, muestra el reconocimiento que recibió. Pero ello ocurrió entre sus colegas, entre los físicos que se daban cuenta de lo extraordinario de sus contribuciones científicas. Entre los legos, en el mundo social, su apellido sólo pasó a ser conocido, multitudinariamente, en noviembre de 1919, cuando una expedición británica confirmó, midiendo las trayectorias de la luz de algunas estrellas durante un eclipse de Sol, que, efectivamente, se verificaba que los rayos de luz cambian de dirección en presencia de campos gravitacionales, una de las predicciones de la teoría que había desarrollado a finales de 1915, la relatividad general.



El hongo atómico sobre Hiroshima, 6 de agosto de 1945.

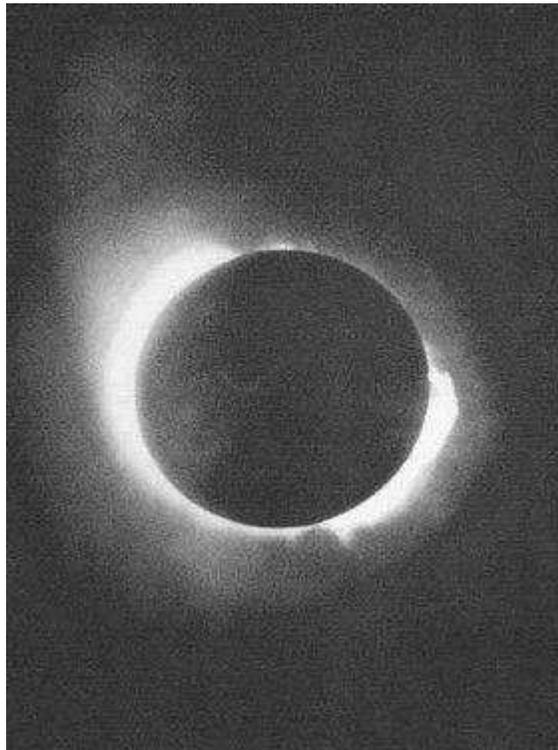
Los resultados de la misión británica se dieron a conocer el 6 de noviembre de 1919, en la sede londinense de la Royal Society, en una reunión conjunta de la sociedad anfitriona con la Royal Astronomical Society. Alfred North Whitehead, el lógico y filósofo cuyo nombre ya nos apareció en el capítulo 1, que asistió a aquella reunión, describió años más tarde (en su libro *Science and the Modern World*, 1926) el ambiente que la rodeó: «Toda la atmósfera de tenso interés era exactamente la de un drama griego: nosotros éramos el coro comentando el decreto del destino revelado en el desarrollo de un incidente supremo. Había una cualidad dramática en la misma representación; el ceremonial tradicional, y en el trasfondo el retrato de Newton para recordarnos que la mayor de las generalizaciones científicas iba a recibir ahora, después de más de dos siglos, su primera modificación».



Einstein y la bomba atómica, portada en *Time*, 1 de julio de 1946.

El día siguiente, *The Times* anunciaba en sus titulares:

REVOLUCIÓN EN CIENCIA Nueva teoría del Universo Ideas newtonianas desbancadas También en *The Times*, el día 8, Joseph John Thomson (1856-1940), que en 1897 había identificado el electrón como la primera partícula elemental, y que había presidido la reunión celebrada dos días antes, declaraba: «Uno de los grandes logros en la historia del pensamiento humano... No es el descubrimiento de una isla remota, sino de todo un continente de nuevas ideas científicas... Es el mayor de los descubrimientos en relación con la gravitación desde que Newton enunciase sus principios».



Fotografía tomada durante el eclipse total de Sol del 29 de mayo de 1919.



Llegada de Einstein a Nueva York (1921).



Einstein rodeado de periodistas en Pittsburgh, 28 de diciembre de 1934.

Y con ello, Einstein se convirtió en una figura mundialmente célebre. A partir de entonces rara vez tuvo la paz que siempre dijo desear y buscar.

Y famoso murió en Princeton el 18 de abril de 1955, como consecuencia de un aneurisma aórtico. Años antes, en mayo de 1936, a requerimiento de un editor estadounidense que iba a comenzar las obras para una librería y que deseaba enterrar una caja de metal con mensajes para la posteridad, Einstein escribió unas líneas con las que yo quiero terminar este capítulo. No son seguramente muy trascendentes, ni imponentes, ni cargadas de seriedad, pero dan idea tanto de lo que le preocupaba del futuro como de su sentido del humor, por lo que sirven espléndidamente para caracterizar su personalidad:

Querida posteridad,

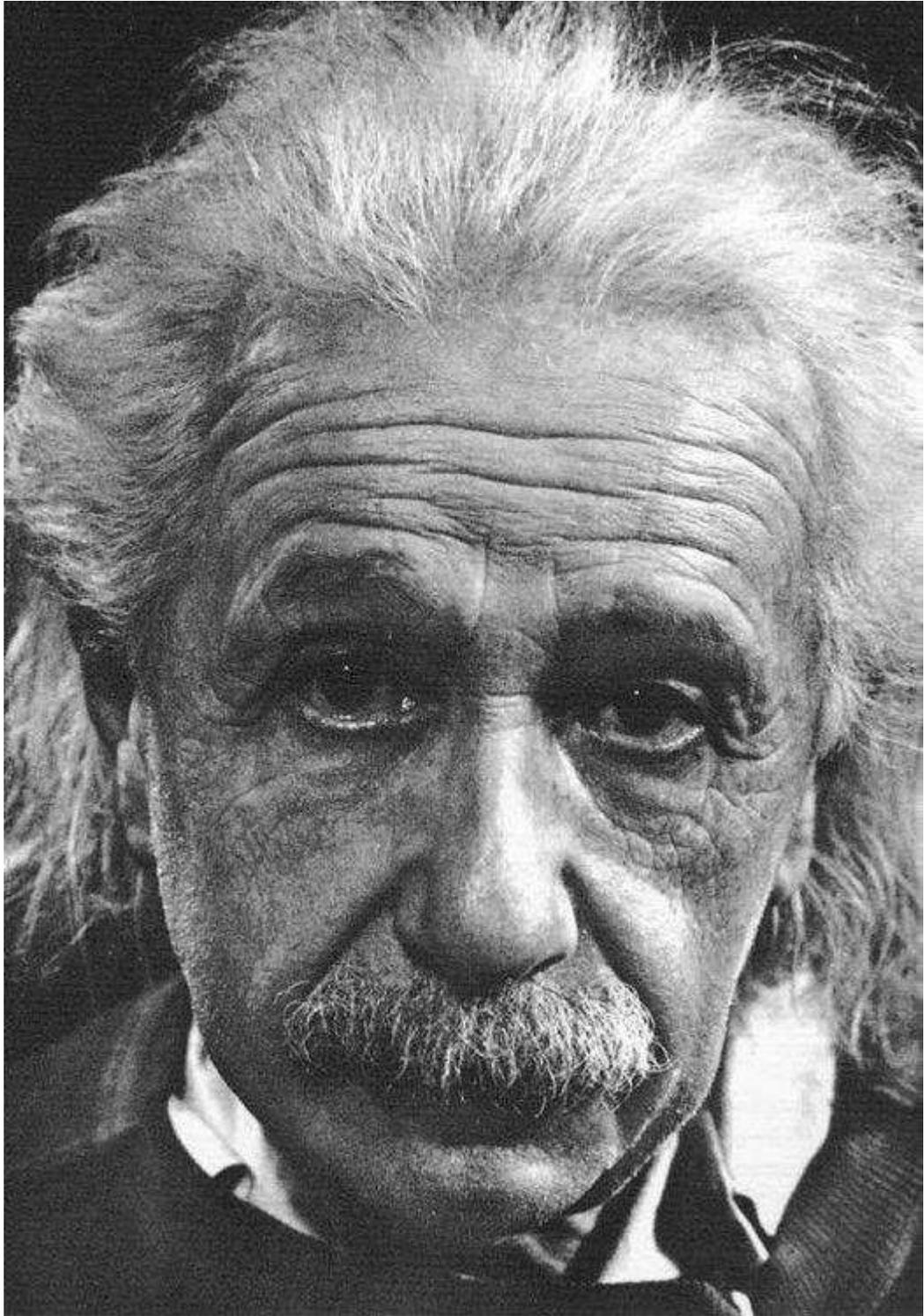
Si no has llegado a ser más justa, más pacífica y generalmente más racional de lo que somos (o éramos) nosotros, entonces que el Diablo te lleve.

Habiendo, con todo respeto, manifestado este piadoso deseo, Soy (o era),

Tuyo,

Albert Einstein.

Aunque la posteridad no sea más justa, pacífica o racional, es más que probable que recuerde el nombre y las contribuciones al conocimiento de la naturaleza del hombre que escribió estas líneas.



Albert Einstein en 1947. Fotografía de Philippe Halsman.

Una revolución en curso: sobre moléculas y genes

Nada mejor, para finalizar un libro como el presente, que ocuparse de un apartado de la ciencia que está protagonizando el tiempo en que vivimos, un tiempo dominado por una profunda revolución científica: la biología molecular.

Vivimos, en efecto, en una época científicamente revolucionaria. Se trata, además, de una revolución con características muy especiales: al contrario que otras revoluciones científicas de tiempos pasados —como la newtoniana, la lavoisieriana, la einsteiniana o la promovida por la física cuántica (la planckiana, podríamos acaso denominarla)—, esta tiene que ver de una forma mucho más directa con nosotros mismos, en tanto que tiene como objetivo el estudio de la vida, incluyendo, claro está, la vida humana. Mientras los temas, los protagonistas, de revoluciones tan recientes como la relativista y la cuántica se llamaban «espacio-tiempo», «átomos», «principio de incertidumbre», «fisión nuclear», «niveles energéticos», «transistores», «agujeros negros» o «universo en expansión», en la revolución biológica molecular en curso esos temas, esos protagonistas, se denominan «ADN», «genes», «transgénicos», «clonación» o «células madre», conceptos que evidentemente, en sentido inmediato, nos son mucho más cercanos.

Nos encontramos, en definitiva, justo en medio (al principio tal vez) de una revolución con profundas implicaciones no sólo en el dominio de la ciencia, sino también en el social. Estamos asistiendo, y siendo creadores al igual que objetivos, de uno de esos períodos en los que, por decirlo de alguna manera, el suelo tiembla bajo nuestros pies, en el que nos damos cuenta de que el futuro será diferente del presente y de que el propio presente cambia, debido precisamente a los instrumentos que se van creando dentro de esa revolución.

Los caminos de la vida: cromosomas y genes

Como ya señalé en el capítulo 4, a mediados del siglo XIX Gregor Mendel desarrolló la teoría según la cual ciertos elementos discretos, sobre cuya estructura él poco podía decir, son responsables de los rasgos hereditarios, un resultado al que llegó cruzando variedades diferentes de guisantes y observando los productos de tales hibridaciones en generaciones sucesivas. En el lenguaje actual, distinguió

entre la apariencia de un organismo (su *fenotipo*), que, por supuesto, puede ser una mezcla de las características de sus progenitores, y el conjunto de factores (genes) heredados de cada uno de los padres (el *genotipo*), que continúa siendo discreto y sin mezcla.



Mendel (Museo de Moravia, Brno).

También mencioné que la esencia de las ideas de Mendel pasó desapercibida para la comunidad de biólogos hasta su redescubrimiento en 1900, gracias a los trabajos de Hugo de Vries, Carl Correns y Eric von Tschermak. Esto fue así porque difícilmente sus contemporáneos podrían haber relacionado el concepto de elementos hereditarios discretos con las nociones existentes entonces en el dominio de la biología celular, sin olvidar que la metodología estadística mediante la cual Mendel interpretó sus resultados era ajena al modo de pensamiento vigente en aquella época. Su artículo de 1865 fue redescubierto cuando ya se había introducido el concepto de cromosomas, la «primera aproximación a la unidad discreta de herencia».

Pasajes de «Versuche über Pflanzen-Hybriden» («Experimentos sobre la

hibridación de plantas») de Mendel (1865):*Observaciones preliminares.* El tema de los ensayos de los que se hablará en este trabajo surgió de una serie de fecundaciones artificiales realizadas en plantas ornamentales con el fin de obtener nuevas variantes de color. La sorprendente regularidad con que reaparecían las mismas formas híbridas cada vez que se realizaba la fecundación entre las mismas especies, sugirió otros experimentos complementarios para investigar el desarrollo de los descendientes de esos híbridos. Observadores tan minuciosos y concienzudos como Kölreuter, Gärtner, Herbert, Lococq, Wichura y otros han dedicado con incansable perseverancia una parte de su vida a ese problema. En particular, fue Gärtner quien, en su obra *La obtención de mestizos en el reino vegetal*, reunió observaciones altamente valiosas. Últimamente, Wichura ha publicado sus profundas investigaciones sobre los híbridos de los sauces. El que hasta ahora no haya sido posible formular una ley general sobre la formación y el desarrollo de los híbridos, no puede extrañar a nadie que, conociendo el alcance del problema, sepa apreciar las dificultades que hay que vencer en ensayos de este tipo. Sólo se podrá obtener una solución definitiva cuando se realicen experimentos detallados con las diversas familias de plantas. El que examine los trabajos existentes en esta materia llegará a la convicción de que ninguno de los numerosos experimentos conocidos ha sido realizado en la escala y en la forma necesarias para determinar las cantidades necesarias de las diferentes formas bajo las cuales aparecen los descendientes de los híbridos, para ordenar tales formas con seguridad en las distintas generaciones y determinar las relaciones numéricas respectivas... El presente artículo trata de un intento de tal experimento de detalle. Según correspondía, se limitó a un pequeño grupo de plantas y está ahora, después de ocho años, prácticamente finalizado.... *La configuración de los híbridos.* Experimentos realizados en años anteriores con plantas ornamentales ya demostraron que los híbridos no representan siempre un término medio entre las especies paternas. En algunos caracteres que saltan a la vista, como los que se refieren a la forma y el tamaño de las hojas, a la pubescencia de las distintas partes, etc., resulta evidente la estructura intermedia; en otros casos, en cambio, es tan grande la supremacía de uno de los dos caracteres paternos, que resulta difícil o completamente imposible descubrir el otro progenitor en el híbrido. Ahora bien, no fue en modo alguno fácil llegar a una teoría de la reproducción y de la herencia basada en elementos discretos. De hecho, cuando se analiza la historia de la biología correspondiente a, básicamente, las décadas de 1870 y 1880, no es difícil detectar que los indudables avances que se fueron realizando coexistieron con planteamientos menos atinados. Y es que, seguramente la mayor parte de las veces la creación de nuevas teorías constituye un complejo y delicado proceso en el que lo viejo —los conceptos, expectativas o, simplemente, «modos de mirar la naturaleza» asumidos hasta entonces— se mezcla con lo nuevo, en una combinación en ocasiones explosiva de la que surge con dificultad, y no siempre rápidamente, una

visión, un modelo, diferente.

Un ejemplo magnífico en este sentido es el del catedrático de zoología y anatomía comparada en la Universidad de Friburgo, August Weismann (1834-1914), considerado como uno de los fundadores de la genética moderna. Ya hacia 1868, Weismann llegó a la conclusión de que la «dirección de desarrollo» se transfería por medio del protoplasma del esperma y de la célula del huevo. A través de consideraciones evolucionistas e investigando la cuestión de si se podían heredar caracteres adquiridos, Weismann (que era un ferviente darwinista) desarrolló su teoría del «plasma germinal», basada en la existencia de una sustancia responsable de la transmisión de los rasgos hereditarios (él argumentaba —contra Lamarck— que los caracteres adquiridos no se pueden heredar, ya que en tal caso tendrían que afectar al propio plasma germinal). Estrictamente, no fue él el único en pensar en base a la continuidad de una «sustancia de la herencia». En 1872, por ejemplo, Francis Galton (1822-1911), más conocido por sus tesis eugenésicas, la había vislumbrado, pero es a Weismann a quien se le debe adjudicar el crédito de haber desarrollado esa teoría en un conjunto más o menos coherente, un conjunto que fue reelaborando para ponerlo en relación con los resultados de las nuevas investigaciones sobre la estructura celular. En 1883, todavía concebía las células germinales como portadoras de configuraciones de moléculas que conducían a las células reproductivas. Estaba, en definitiva, tratando aún con la cuestión de la herencia en términos de toda la célula (germinal), y es desde semejante perspectiva como se debe entender su manifestación (recogida en obras suyas como *Das Keimplasma [El plasma germinal]*, de 1892, o en la edición inglesa de sus ensayos completos: *Essays upon Heredity and Kindred Biological Subjects [Ensayos sobre herencia y temas biológicos relacionados]*, publicada en 1891) de que la reproducción ponía en juego células de un tipo particular, las células germinales (o sexuales), frente a las somáticas, o corporales, que contienen una sustancia, decía, «cuya constitución físico-química, incluida su naturaleza molecular, le otorga la facultad de convertirse en un nuevo individuo de la misma especie».

Sin embargo, y al hilo de los resultados que iban obteniendo otros investigadores, en los años siguientes su concepto del plasma germinal fue cambiando. En particular, las décadas de 1870 y 1880 constituyeron un período muy activo en hallazgos que terminaron imponiendo la idea de que es en el núcleo de las células donde tiene lugar el proceso que controla la reproducción (una idea esta que de alguna manera ya había defendido por razones teóricas el zoólogo germano Ernst Haeckel [1834-1919] en 1866). Un nombre que hay que resaltar en este sentido es el de Walther Flemming (1843-1905), catedrático de anatomía en la Universidad de Kiel, quien, a partir de investigaciones de las divisiones celulares en

anfibios (describió y bautizó el proceso de la «mitosis»), reunidas en su texto *Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung* (*Sustancia celular, núcleo y división celular*; 1882), fue capaz de, primero, diferenciar en los núcleos celulares una parte fuertemente teñible, la cromatina, y una parte muy poco teñible, la acromatina, y, después, poner de manifiesto que durante la división celular, los gránulos de cromatina se disponían en filamentos, a los que más tarde, en 1888, el anatomista de la Universidad de Berlín, Wilhelm von Waldeyer-Hartz (1836-1921), dio el nombre de «cromosomas» (también inventó la palabra «neurona» y un cierto número de términos embriológicos). Ahora bien, hay que señalar que Flemming fue incapaz de distinguir los cromosomas durante la interfase del ciclo celular, lo que dio lugar a interpretaciones diferentes del fenómeno. En cualquier caso, en 1885 Carl Rabl (1853-1917) señalaba que los gránulos cromosomas debían de mantenerse a lo largo de los diversos cambios que se producen durante la división celular, lo que le llevó en 1887 a defender su individualidad, un aspecto básico para la teoría cromosómica, aunque sería Theodor Boveri (1862-1915), de la Universidad de Múnich, quien clarificó y sistematizó esa teoría durante sus estudios citológicos: «En todas las células que proceden de la división de un huevo fecundado —escribía en 1891—, la mitad de los cromosomas son de origen paterno y la otra mitad, de origen materno».



Hugo de Vries.



Carl Correns.



Francis Galton, retrato de Frank Carter.

El propio Weismann llegó a situar su plasma germinal en el núcleo, aunque no estaba seguro de cuál era el papel que desempeñaban en los procesos hereditarios los filamentos nucleares —es decir, los cromosomas— observados. Por supuesto, la naturaleza de esa sustancia era desconocida, y continuaría siéndolo durante mucho tiempo (hasta la identificación del papel del ADN), pero la idea estaba clara, y así no nos debe extrañar que se introdujese un nuevo término-idea para describirla. En efecto, en 1909, en un libro titulado *Elemente der Exakten Erblchkeitslehre* (*Elementos para el estudio de los caracteres hereditarios exactos*), el danés Wilhelm Johannsen (1857-1927), catedrático de botánica en la Universidad de Copenhague, acuñaba el término *gen* (derivado de la raíz griega —que se encuentra también en vocablos como «génesis» o «generación»— que denota el concepto de engendrar), para denominar unas «partículas» hipotéticas —algo discreto— que portarían los cromosomas y que determinarían la herencia (todavía en 1926, y aunque él mismo había efectuado contribuciones sustanciales en favor de la identificación de los genes como entidades dotadas de realidad, Thomas Morgan, al que me referiré más adelante, recalca ese carácter hipotético de los genes en su libro *The Theory of the Gene* [*Teoría del gen*]: «Con el mismo criterio con el que los químicos dan por reales átomos invisibles y los físicos electrones, el estudioso de la herencia apela a unos elementos invisibles llamados genes»).



August Weismann.



Eric von Tschermak.

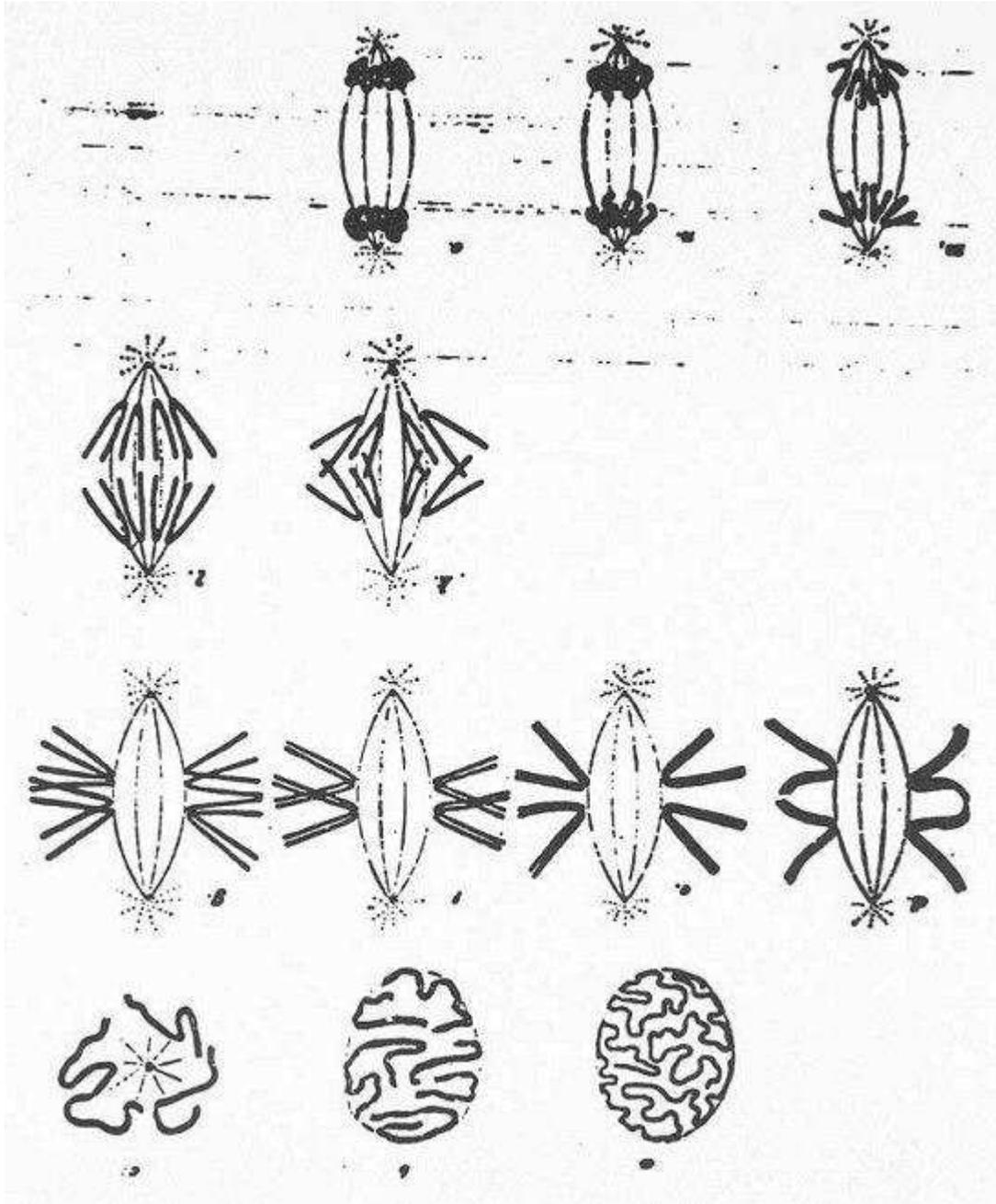


Diagrama de la mitosis celular según Walther Flemming (*Zellsubstanz, Kern und Zelltheilung*, 1882).



Wilhelm Johannsen y William Bateson ante la casa de este último (The Manor House, Merton).

Con el redescubrimiento del trabajo de Mendel y el apoyo de la teoría cromosómica, la genética pasó a ser uno de los campos más importantes de la investigación en biología. Estableciendo un paralelismo no demasiado correcto, aunque sugerente, se podría decir que la teoría cromosómica fue para la biología lo que el modelo atómico de Ernest Rutherford (1871-1937) para la física: aunque el átomo que el físico neozelandés instalado entonces en Manchester propuso en 1911 permitía explicar algunos fenómenos (como la difusión de partículas α), no aportaba nada a otros problemas —como el de los espectros asociados a los diferentes elementos—; para avanzar en esta dirección hubo que esperar un par de años: al modelo de Niels Bohr, que ya tomaba en consideración los cuantos de Planck-Einstein. Análogamente —aunque, insisto, este paralelismo tiene límites evidentes—, la teoría cromosómica permitía explicar algunos aspectos de la herencia, pero nada decía sobre cuestiones como los cambios que ahora asociamos a mutaciones, o a los mecanismos de la vida del tipo de, por ejemplo, la relación entre los genes («unidades estructurales», como veremos, más básicas localizadas dentro de los cromosomas) y las características propias del individuo.



Thomas Morgan trabajando en su laboratorio (en el «Cuarto de las moscas») de la Universidad de Columbia, c. 1915-1920.

En efecto, junto al problema de la composición de los cromosomas y de esas misteriosas unidades bautizadas como genes (y el de la posible relación existente entre ambos), estaba el de cómo es posible que se produjesen los cambios evolutivos tan radicales que terminaban conduciendo a la creación de nuevas especies, tal como defendía Darwin.

Las mutaciones constituyen, como sabemos, el motor responsable de tales

cambios evolutivos, el mecanismo que contrarresta la estabilidad de la herencia. Pero la historia del concepto de mutación es larga, y confusa, ya que se empleó con significados diferentes. Hugo de Vries fue uno de los que primero recurrieron a él. En 1901, por ejemplo, la definía de la manera siguiente en el primer tomo de su *opus magnum*, *Die mutationstheorie* (*La teoría de mutaciones*; 1901-1903): «Por teoría de la mutación designo la aseveración de que las propiedades de los organismos están construidas por unidades acusadamente distintas... Los grados intermedios, que en tan gran número se dan entre las formas exteriores de plantas y animales, no existen entre estas unidades en mayor grado que entre las moléculas químicas». Sin embargo, y no obstante lo moderno que nos puedan sonar tales declaraciones, su teoría de la mutación no se amoldaba a la selección de las especies de Darwin. La teoría darwiniana, escribió, «supone que la variabilidad usual, la denominada individual, es el punto de partida del origen de especies nuevas. Según la teoría de la mutación, las dos variabilidades (la individual y la mutacional) son completamente independientes. Como espero demostrar, la variabilidad habitual no puede conducir a una transposición efectiva de los límites de la especie, incluso con la selección más intensa y rápida». Para él, «una especie nueva se origina de forma repentina. Surge de la ya existente sin preparación visible y sin transición». Desde semejante punto de vista, conceptos como selección natural o lucha por la existencia eran claramente superfluos para De Vries.

Serían, sobre todo, los estudios de Thomas Hunt Morgan (1866-1945), que se había doctorado en 1890 en la Universidad Johns Hopkins, los que representaron un momento crucial en la historia de la teoría de la mutación y, en general, de la genética.

Ahora bien, cuando Morgan llegó, en 1904, a la Universidad de Columbia, en Nueva York, como catedrático de Zoología experimental, era muy escéptico con respecto al mendelismo, esto es, a una teoría de la herencia que utilizase unidades discretas. Su cambio de actitud se debió básicamente a las investigaciones que emprendió con *Drosophila melanogaster*, la mosca del vinagre o de la fruta.

Inicialmente, Morgan había intentado estudiar la transmisión de caracteres en ratones y ratas, pero no tuvo éxito. Sólo hizo progresos tras elegir como protagonista de sus investigaciones a la humilde *Drosophila*, que podía crearse por millares en botellas de leche (como ventajas adicionales estaba el que el ciclo vital completo de estos animales, que únicamente poseen cuatro cromosomas, dura solamente diez días; además, los costes de manutención se reducían a unos pocos plátanos). Dadas estas características, pudo realizar sus investigaciones genéticas en una pequeña habitación de 4 × 6 metros, conocida como el «Cuarto de las

moscas».

Entre 1907 y 1917, Morgan y su equipo trabajaron en el «Cuarto de las moscas» buscando mutaciones en ellas. Con un equipo ridículamente simple, el «Cuarto de las moscas» proporcionó poco a poco nuevos cimientos a la biología evolutiva. Los resultados que le llevaron a creer en las ideas mendelianas fueron los siguientes: aun cuando no se produjeron en sus cultivos notables mutaciones a nivel de especie, en 1910 encontró que en una de sus botellas de cría apareció repentinamente una curiosa mosca macho de ojos blancos. Morgan cruzó al macho mutante con una hembra normal (de ojos rojos). Todos los descendientes mostraron el rasgo normal, esto es, los ojos rojos. Sin embargo, cuando cruzó algunos miembros de la primera generación entre sí, descubrió que el carácter de los ojos blancos aparecía de nuevo, aunque sólo en los machos, nunca en las hembras. Por otra parte, si se cruzaba a un macho de ojos blancos con hembras de la primera generación, la mitad de los descendientes machos y la mitad de las descendientes hembras tenían ojos blancos. Morgan encontró que estos resultados se podían explicar sin demasiada dificultad a partir de la teoría mendeliano-cromosómica. Este fue el hecho que estimuló su transformación de escéptico mendeliano en partidario suyo.

No fue la menor de las aportaciones del grupo de Morgan el que fueran también capaces de encontrar marcadores cromosómicos que les sirvieron para establecer algo así como una cartografía de la estructura de los cromosomas: en 1911 construyeron el primer mapa cromosómico, que puso en evidencia la posición relativa de cinco genes ligados al sexo; once años después, otro de sus mapas indicaba las posiciones relativas de más de dos mil genes pertenecientes a los cromosomas de *Drosophila*. Con todo ello pudieron defender la tesis de que los genes se encuentran ordenados linealmente en los cromosomas y que experimentan cambios repentinos permanentes, o mutaciones, que producen un cambio en un rasgo concreto determinado por el gen, tal como el cambio del color rojo de un ojo al blanco.

Visto retrospectivamente, inmersos como estamos en una época en la que los genes son protagonistas indiscutidos de la biología contemporánea, el valor de los hallazgos de Morgan y su equipo adquiere dimensiones casi gigantescas. Una lectura superficial de su libro de 1926, todo un clásico de la ciencia contemporánea, *The Theory of the Gene*, en el que sintetizó las principales ideas a que había llegado tras décadas de investigaciones, muestra con claridad la importancia de su obra, y al hilo de ella, cómo había cambiado la genética desde los tiempos de Mendel, cuando apenas había transcurrido medio siglo de la publicación de «Versuche über

Pflanzen-Hybriden», y hasta qué punto manejaba ideas que se instalarían definitivamente en el *corpus* de la biología. «Tenemos ahora —escribía— la posibilidad de formular la teoría de los genes.» Y como primer punto de esa teoría incluía el siguiente: «Los caracteres del individuo están relacionados a partes de elementos —genes— en la materia germinal, mantenidos juntos en un número de grupos enlazados».

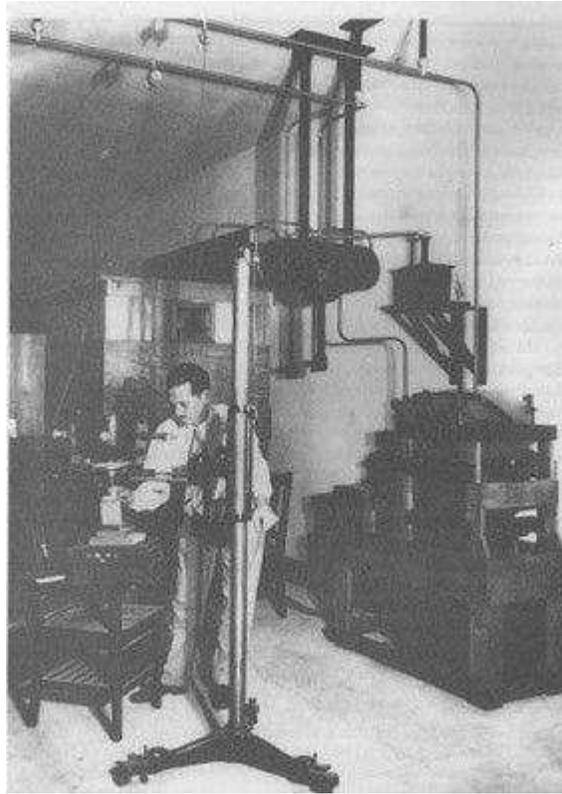
Una cuestión de especial interés era la naturaleza de los genes. «¿Cómo puede ser que —se preguntaba—, tratándose de moléculas orgánicas, se conserven invariables, con plena estabilidad? Tal estabilidad significa que el gen es individualizado como una molécula viva, la cual se mantiene prácticamente invariable a pesar de su metabolismo, o que tiende a evolucionar según un modo definido... Hace unos años me propuse calcular el tamaño de los genes con la esperanza de que se consiguieran resultados útiles para avanzar en estos problemas. No contamos, sin embargo, con medidas suficientemente exactas para que podamos escapar de razonamientos que no sean puramente especulativos. Parece, sin embargo, que el volumen del gen es del orden de las mayores moléculas orgánicas. Podría tratarse, en efecto, de una gran molécula, pero es más verosímil pensar que el gen sea una estructura, un conjunto de moléculas orgánicas relacionadas por vínculos químicos, por la simple afinidad —como es una combinación química—, si no por otras fuerzas organizadoras.» Y añadía: «Es difícil, con todo, evitar la fascinante idea de que el gen sea constante precisamente porque constituya una entidad química organizada». Frases todas estas que suenan familiares, en absoluto extrañas, a todos aquellos que conocen lo que la biología molecular dice en la actualidad de los procesos hereditarios.

Fruto de sus trabajos, que tanto hicieron por la genética, en 1933 Morgan recibió el premio Nobel de Fisiología o Medicina, por «sus descubrimientos relativos a la función de los cromosomas en la transmisión de la herencia». Por entonces ya era, desde 1928, director del Laboratorio de Ciencias Biológicas del California Institute of Technology, en Pasadena, puesto que mantuvo hasta su muerte.

El desarrollo de la genética fue abriendo —con lentitud, a veces incluso entre contradicciones y puntos de vista opuestos— el camino a grandes avances en la comprensión de la vida, hasta tal punto que si del siglo XIX se puede decir que, en lo que se refiere a las ciencias biomédicas, fue el siglo de la fisiología, el XX fue el de la genética. En el plano teórico, suministró una base firme para entender la evolución. Al ser la fuente principal de novedad biológica, la mutación de genes se erigía en el motor que la gobernaba. De hecho, lo que selecciona el mecanismo

darwiniano son organismos que transportan nuevos genes, o nuevas combinaciones de viejos genes, que confieren mayores ventajas en la lucha de la vida y la reproducción. Ahora bien, durante la primera mitad del siglo XX, mientras la genética se convertía en la reina de las ciencias biológicas, la naturaleza física del concepto central, el gen, continuó envuelto en misterio. Todavía en 1950, en un artículo titulado «The development of the gene theory» («El desarrollo de la teoría de los genes»), Hermann J. Muller (1890-1967), en el pasado colaborador de Morgan, y entonces uno de los más respetados genéticos y defensor de la teoría de los genes, declaraba que nadie sabía de qué estaban hechos los genes, cómo podían ser capaces de imponer su carácter sobre los organismos que los transportan, o cómo se reproducen fielmente en la división celular.

No obstante, seis años antes de que Muller realizase semejantes afirmaciones, en 1944, Oswald Avery (1877-1955) y sus colegas, Colin MacLeod (1909-1972) y Maclyn McCarty (1911-2005), habían anunciado en un artículo titulado «Induction of transformation by a desoxyribonucleic acid fraction isolated from Pneumococcus type III» («Inducción de transformación por una fracción de ácido desoxirribonucleico aislada del neumococo tipo II»), publicado en el *Journal of Experimental Medicine*, que los genes se encuentran sumergidos en ácido desoxirribonucleico (ADN). La razón de esta omisión por parte de Muller se debe a que, como en el caso de Mendel, el descubrimiento de Avery y sus colaboradores fue prematuro, en el sentido de que planteaba problemas importantes para cuya solución no se disponía aún de los recursos necesarios. Las ideas entonces en vigor acerca de la naturaleza molecular del ADN hacían que fuese muy complicado pensar que el ADN pudiese ser el vehículo de la información hereditaria. Lo que desde luego no fue similar al caso de Mendel es que el artículo de Avery, MacLeod y McCarty tuviese que ser redescubierto, ya que su publicación constituyó toda una sensación, y sin duda Muller lo conocía muy bien cuando escribió su artículo.

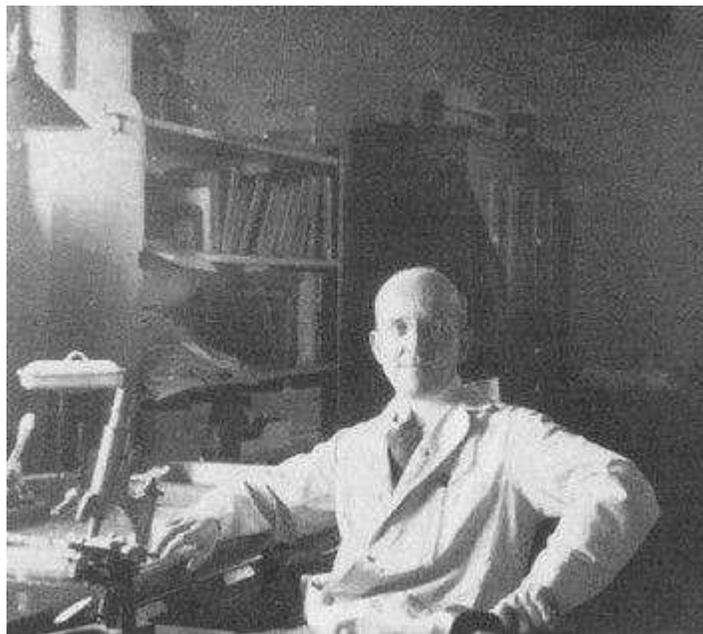


Aparato de rayos X para inducir mutaciones, siendo utilizado por Clarence Oliver en la Universidad de Texas (1927).

Uno de los motivos por los que se puede calificar —como he hecho— el descubrimiento de Avery de «premature» es porque no basta con encontrar «algo» —ADN, en este caso— en un lugar (los cromosomas) para establecer una relación causal explicativa. Para hacerlo es preciso elaborar algún tipo de mecanismo, «abrir», por así decirlo, «la caja negra». Y en aquel momento y para aquel problema, la biología no era suficiente, se necesitaba el auxilio de otras disciplinas científicas, más dotadas para la construcción de «mecanismos». Disciplinas como la química (la bioquímica fue —y es— imprescindible en el desarrollo de la biología molecular) y la física.

Antes de continuar por esta línea, es oportuno aprovechar la ocasión para señalar que aunque tendemos a establecer fronteras definidas entre las diferentes ciencias (esto pertenece al dominio de la química, esto al de la matemática, aquello al de la biología, eso al de la física, etc.), con frecuencia se necesitan herramientas de

diversas disciplinas para resolver problemas vinculados a una de ellas. Es la interdisciplinariedad, con la que ya nos hemos encontrado, explícita o implícitamente (recordemos el caso de la fisiología del siglo XIX), en otros lugares de este libro. De hecho, se puede argumentar que una de las consecuencias del desarrollo científico es el derrumbamiento de tales fronteras, surgiendo disciplinas mixtas —como químico-física, bioquímica, biofísica o electroquímica, sin olvidar las «tecnocientíficas»—; más aún, algunas de las novedades científicas más atractivas que han surgido a lo largo del último medio siglo tienen su razón de ser precisamente en la interdisciplinariedad. El caos, esa sensibilidad extrema a las condiciones iniciales que hace que sea imposible predecir la evolución futura de un sistema, constituye un buen ejemplo. Su descubridor fue Edward Lorenz (1917-2008), un meteorólogo estadounidense con una sólida formación matemática. El artículo de 1963 en el que Lorenz introdujo el caos trataba de un fenómeno típicamente atmosférico: las corrientes de convección. Sin embargo, investigaciones posteriores han mostrado que existen movimientos caóticos en muchos otros dominios: en la física, por ejemplo, en la magnetización del helio superfluido o en los plasmas; en la ingeniería, en numerosos fenómenos aerodinámicos; en medicina, en oscilaciones cardíacas, como las arritmias, también en la dinámica del funcionamiento cerebral; en ecología, en ciertos modelos que estudian las relaciones entre depredador y presa. Tampoco se libra del caos (en un sentido matemático) la economía, en donde está siendo estudiado su posible efecto en macromodelos.



Ostwald Avery en su laboratorio del Rockefeller Hospital.

Pero regresemos a la biología y al problema de los mecanismos de transmisión de los caracteres hereditarios. Como apuntaba antes, este problema tuvo que esperar para su resolución, como veremos a continuación, a una línea de investigación muy influida por la física —por no decir estrechamente ligada a ella—. En la actualidad, que fuese así —que cromosomas, genes o ADN se explicasen en términos físicos o químicos— nos puede parecer trivial, no absolutamente necesario pero sí plausible. Sin embargo, en las primeras décadas de «existencia» de los genes, todavía era común aceptar de manera acrítica fronteras entre disciplinas, permaneciendo la genética separada habitualmente de las ciencias físico-químicas. Así, en 1939 en un libro de texto, *Introduction to Genetics (Introducción a la genética)*, dos biólogos del California Institute of Technology, discípulos de Morgan, Alfred H. Sturtevant (1891-1970) y George W. Beadle (1903-1989), escribían: «La física, la química, la astronomía y la fisiología tratan con átomos, moléculas, electrones, centímetros, segundos, gramos (todos sus sistemas de medidas se reducen a estas unidades comunes). La genética no tiene a ninguno de estos como componentes de sus unidades fundamentales y, sin embargo, es una materia formulada matemáticamente que es lógicamente completa y autocontenida».

Física, biología y mutaciones

Para introducir la línea de investigación que terminaría relacionando la física con la genética, me voy a referir de entrada a un científico alemán, que iba para físico cuántico: Max Delbrück (1906-1981).

Tras haber estudiado física, Delbrück se planteó doctorarse, recibiendo un tema de Walter Heitler (1904-1981). Teniendo en cuenta de quién procedía la idea (en 1927, Heitler fue el autor, en colaboración con Fritz London [1900-1954], de un influyente artículo que marcó el desarrollo de la teoría del enlace químico, titulado «Interaction between neutral atoms and homopolar binding according to quantum mechanics» [«Interacción entre átomos neutros y enlace homopolar según la mecánica cuántica»]), no sorprende que el tema fuera explicar en términos semicuantitativos por qué el enlace covalente entre dos átomos de litio era mucho más débil que el enlace homólogo formado entre dos átomos de hidrógeno. En 1929, en Gotinga, Delbrück finalizó su tesis, que involucraba cálculos bastante

engorrosos.

Tras pasar un año en Bristol, con John Lennard-Jones (1894-1954), Delbrück obtuvo una beca de la Fundación Rockefeller por un año. Decidió pasar la primera mitad en Copenhague, junto a Niels Bohr, y la segunda en Zúrich (llegó allí en febrero de 1931), con Wolfgang Pauli (1900-1958), uno de los «grandes» de la historia de la mecánica cuántica. Como muchos otros científicos de la época, Delbrück pasó a formar parte del círculo de Bohr, y precisamente debido a este hecho recibió una influencia decisiva: durante una conferencia que Bohr pronunció el 15 de agosto de 1932, titulada «Luz y vida». En uno de sus artículos, que escribió muchos años después, Delbrück se refirió a aquella conferencia de la manera siguiente:

Con respecto a la biología, en su conferencia «Luz y vida» de 1932, Bohr propuso que tal vez no fuera reducible a la física atómica. Sugirió que entre los aspectos físicos y psicológicos de la vida acaso hubiera una complementariedad, análoga a los aspectos de onda y de partícula del electrón. En ese caso habría una especie de principio de incertidumbre de la biología...

Desde el punto de vista de la física, en aquella época los misterios de la vida eran, en efecto, impresionantes. Los fisiólogos celulares habían descubierto innumerables modos con los que las células responden inteligentemente a cambios de las condiciones ambientales. Los embriólogos habían demostrado cosas tan asombrosas como la posibilidad de obtener dos animales a partir de dos mitades de un embrión. Estos descubrimientos recordaban vagamente la «unidad orgánica» del átomo y la estabilidad de sus estados cuánticos. La estabilidad de los genes y el álgebra de la genética mendeliana sugirieron a Bohr que los procesos que subyacían a los fenómenos eran parecidos a la teoría cuántica.

Vemos así que la idea de que la física cuántica tenía algo que decir con relación al desarrollo de la biología data, al menos, de comienzos de la década de 1930. El propio Delbrück se dedicó, a partir de 1934, a buscar una conexión entre la biología y la física, y lo hizo de una manera muy directa, interesándose por la influencia de la luz en la vida. Una ayuda esencial en semejante dirección surgió de la genética clásica: en 1927, Hermann Muller, con quien ya nos hemos encontrado, describió una técnica por la que los rayos X inducen mutaciones en la mosca *Drosophila* en una proporción mucho mayor que la que se produce de forma natural. Además de permitir a Muller aislar varios cientos de mutaciones, una gran parte de las cuales se mantuvieron en las siguientes generaciones de moscas, este descubrimiento abrió el camino a los físicos para que estudiaran los procesos

físico-químicos en la entidad biológica denominada «gen», concepto que el propio Muller promovió con fervor, postulando que era la auténtica «base de la vida», aunque se daba cuenta de que «el genetista es incapaz de analizar... sus propiedades» (1936).

Muller urgió a los físicos para que fuesen en su ayuda, y de hecho en 1932 se trasladó a Berlín para colaborar con un emigrado ruso, Nikolai Timoféeff-Ressovsky (1900-1981), que dirigía el Laboratorio de Genética del Instituto de Investigación del Cerebro de la Asociación Káiser Guillermo. Por entonces, Delbrück se encontraba también en Berlín, en donde había organizado un pequeño grupo de discusión en la casa de su madre. Allí conoció a Timoféeff-Ressovsky. Con él y con Karl Günter Zimmer (1911-1988), desarrolló en 1935 un modelo cuántico de mutación genética («Über die Natur der Genmutation und der Genstruktur» [«Sobre la naturaleza de la mutación genética y la estructura de los genes»]), que aunque resultó incorrecto, a la postre ejerció una notable influencia. De hecho, se puede decir que aquel trabajo constituye una de las primeras aproximaciones a una auténtica biología molecular.



Max Delbrück en el California Institute of Technology.

Si el artículo de Delbrück, Timoféeff-Ressovsky y Zimmer ejerció alguna

influencia, fue debido a la labor de divulgación ejercida en favor suyo por un librito del creador de la mecánica cuántica ondulatoria, el físico y premio Nobel austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961): *What is Life? (¿Qué es la vida?)*, publicado en 1944 y fruto de una serie de conferencias en el Institute for Advanced Studies de Dublín, al que Schrödinger se había incorporado tras exiliarse de la Alemania hitleriana.

Que el texto de Schrödinger participaba de un espíritu análogo al de Delbrück es algo que se puede comprobar fácilmente sin más que ojear sus páginas, en las que se pueden encontrar sentencias como la siguiente: «El holandés Hugo de Vries descubrió hace unos cuarenta años que incluso en la descendencia de cepas realmente puras un número muy pequeño de individuos, algo así como dos o tres entre varias docenas de miles, aparece con cambios pequeños, pero que suponen una especie de “salto”. La expresión “salto” no quiere significar que el cambio sea especialmente importante, sino que supone una discontinuidad, en el sentido de que no hay formas intermedias entre la forma inalterada y los pocos individuos que han cambiado. Tras su observación, De Vries les dio el nombre de mutaciones. El hecho significativo es la discontinuidad. Al físico le recuerda la teoría cuántica, según la cual no hay energías intermedias entre dos niveles energéticos contiguos. Podríamos denominar a la teoría de la mutación, de forma figurada, la teoría cuántica de la biología... Las mutaciones se deben, de hecho, a saltos cuánticos en las moléculas del gen. Pero la teoría cuántica sólo tenía dos años cuando De Vries publicó su teoría de la mutación, en el año 1902. No es, pues, extraño que se necesitase una generación más para descubrir la íntima relación entre ambas».



Erwin Schrödinger.

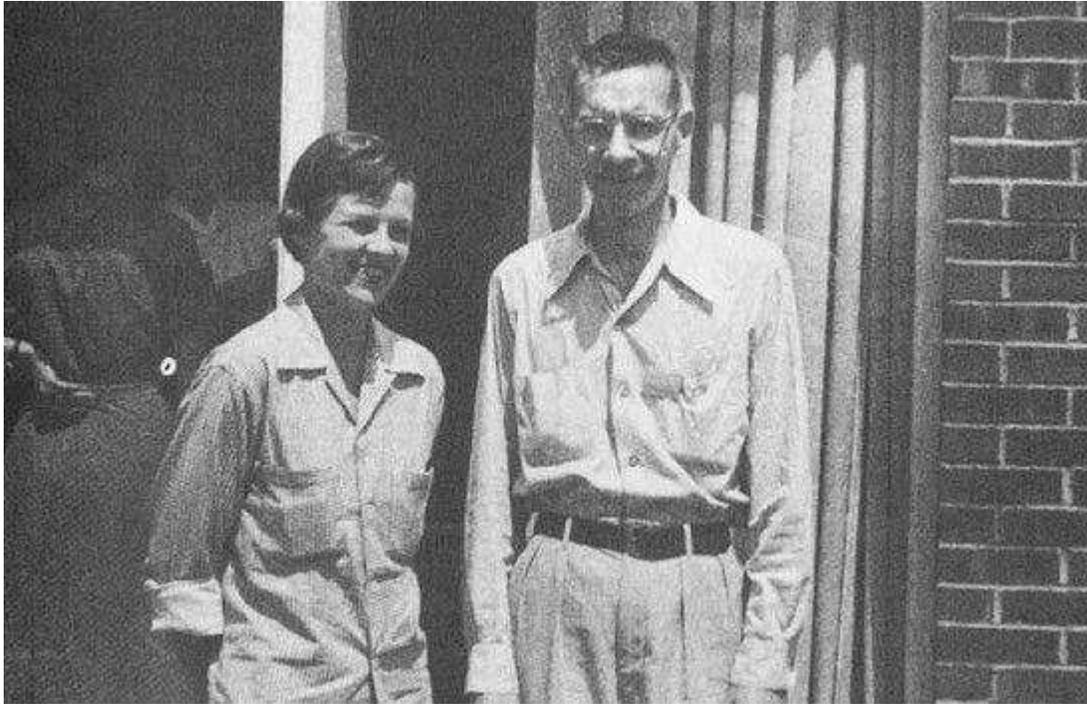
Dan una idea del impacto de *What is Life?* las siguientes palabras de Francis Crick, quien, por cierto, se había graduado en física y trabajado como físico antes de iniciarse en la biología, y al que el libro de Schrödinger influyó considerablemente: «Leí el librito... de Erwin Schrödinger *What is Life?*», escribió Crick en un libro autobiográfico (*What Mad Pursuit* [*Que loco propósito*]; 1989), refiriéndose a los años de la Segunda Guerra Mundial (que él pasó trabajando para el Ministerio de Defensa británico), aunque «sólo más adelante logré ver sus limitaciones —como la mayoría de los físicos, su autor no sabía nada de química—, pero sin duda creaba la sensación de que cosas importantes estaban a la vuelta de la esquina».

En concreto, las principales preguntas que se hizo Schrödinger en *What is Life?* se podrían resumir de la siguiente manera: ¿Cuál es la estructura física de las moléculas que se duplican cuando se dividen los cromosomas? ¿Cómo se debe entender el proceso de la duplicación? ¿Cómo retienen, de generación a generación, estas moléculas su individualidad (problema de la herencia)? ¿Cómo logran controlar el metabolismo de las células? ¿Cómo crean la organización que se ve en

la estructura y en las funciones de los organismos superiores? A Schrödinger le preocupaba, en suma, el hecho de que los acontecimientos a nivel atómico son muy inestables y efímeros, mientras que los organismos vivos muestran una gran estabilidad. No contestó las preguntas que se formuló, limitándose a sugerir que, de alguna manera, la información necesaria para retener los caracteres que se transmiten de generación en generación debía de estar contenida en los enlaces covalentes de un «cristal aperiódico gigante», que denominó «el código hereditario», pero el simple hecho de formular semejantes cuestiones contribuyó a favorecer el desarrollo de la biología molecular.

Mientras que Schrödinger poco más podía añadir al problema de la vida, o de los genes, Delbrück ya había comenzado antes (al menos en 1938) a estudiarlos experimentalmente, instalado en Estados Unidos, en el California Institute of Technology, recurriendo a los virus bacterianos, o *fagos*.

Aunque los fagos son demasiado pequeños para observarlos con microscopios ordinarios, y estructural y químicamente son muy sencillos (mitad proteínas, mitad ADN), están dotados de una gran capacidad de autorreproducción. Delbrück demostró que un fago que infecta a una célula puede dar lugar a cientos de fagos idénticos en media hora, con lo que se convertían en extraordinarios instrumentos para estudiar la replicación genética. Dos años después, se encontró con Salvador Luria (1912-1991) y Alfred Hershey (1908-1997), formando el conocido «Grupo de los Fagos», cuyos miembros estaban unidos por un deseo común: resolver el misterio del gen. Es interesante también mencionar que en 1947, Luria, entonces profesor en Indiana, tomó como estudiante graduado a un joven llamado James Watson, iniciándole como miembro del Grupo de los Fagos. La «conexión física del ADN», esta vez, ciertamente, de manera algo más indirecta que en el caso de Crick, se cerraba.



Martha Chase y Alfred Hershey en Cold Spring Harbor.

Pero antes de abandonar esta senda, la de los fagos, mencionaré la importancia que tuvieron para la aceptación del ADN como material genético los experimentos realizados en 1952 por otros miembros de ese grupo, el citado Alfred Hershey y Martha Chase (1927-2003), con los que demostraron que cuando un fago (el denominado T2) infecta a una bacteria y se reproduce allí produciendo más fagos, solamente el ácido nucleico, el ADN, entra en la bacteria, mientras que la proteína del fago permanece en el exterior. Estos resultados resaltaron la importancia del ADN, reavivando asimismo el interés y el recuerdo de los de Avery de 1944, facilitando las nuevas observaciones que Watson y Crick realizarían enseguida. En su autobiografía, Salvador Luria escribió, en este sentido:

En un conjunto de experimentos justamente célebres por su elegante sencillez, [Alfred Hershey] y su colega Martha Chase demostraron que cuando una partícula de bacteriófago, que se compone de una proteína y ADN, ataca una bacteria, la proteína queda fuera y el ADN penetra en la bacteria, se multiplica y hace surgir más bacteriófagos. En los bacteriófagos, como en las bacterias de Avery y como en cualquier organismo vivo, hoy estamos seguros de que los genes son

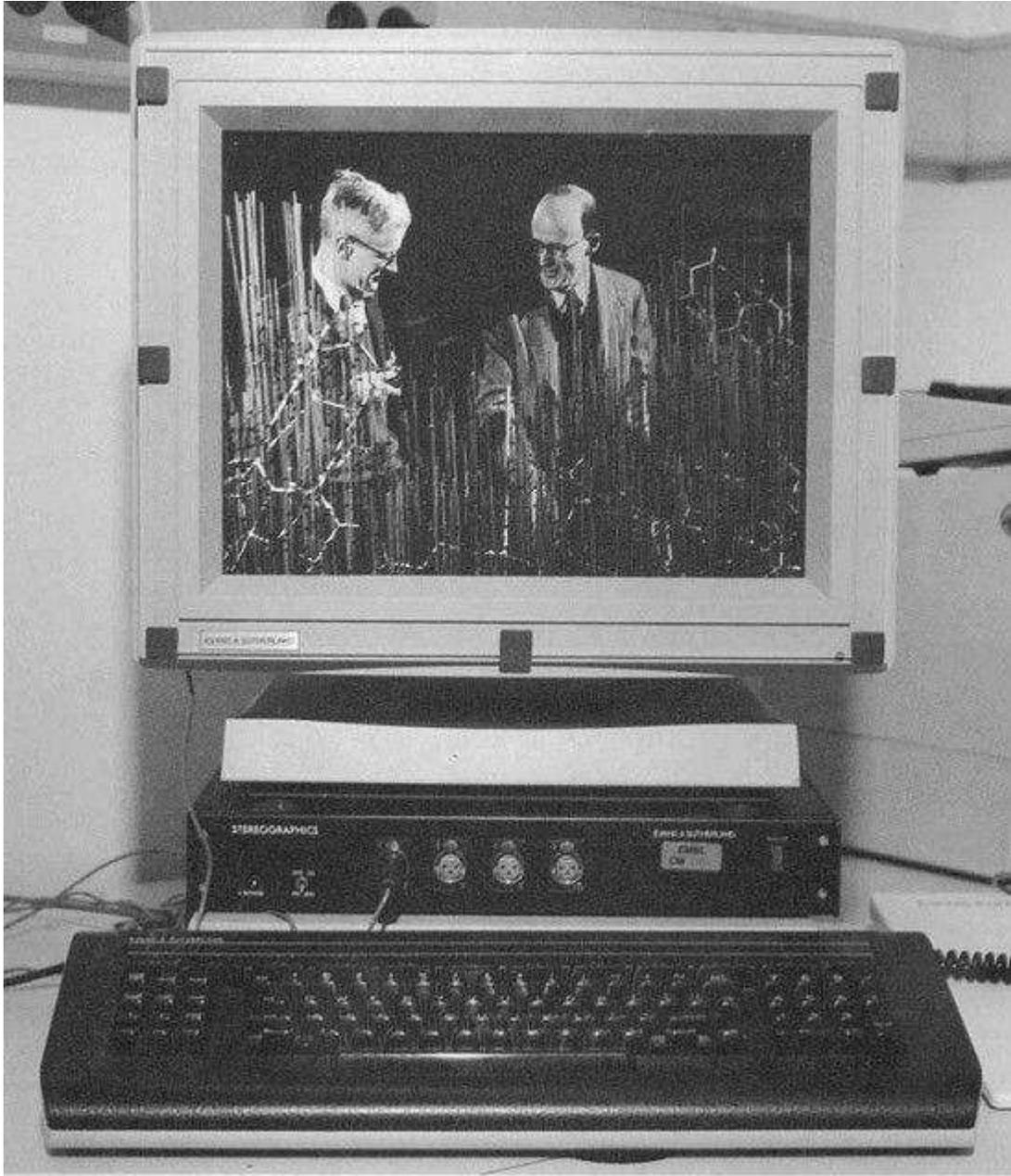
ADN (algunos virus se las arreglan con genes hechos de otra clase de ácido nucleico llamado ARN).

La importancia de los descubrimientos que identificaron como ADN el material genético, primero de las bacterias, luego de los bacteriófagos y, a la postre, de todos los organismos consistió en que convirtieron el problema del gen en un problema para la química (aunque seguía siendo, plenamente, un problema de genética). Aún no se conocía la estructura del ADN a nivel molecular, pero al menos químicos y genéticos sabían que estaban tratando con una sustancia química específica.

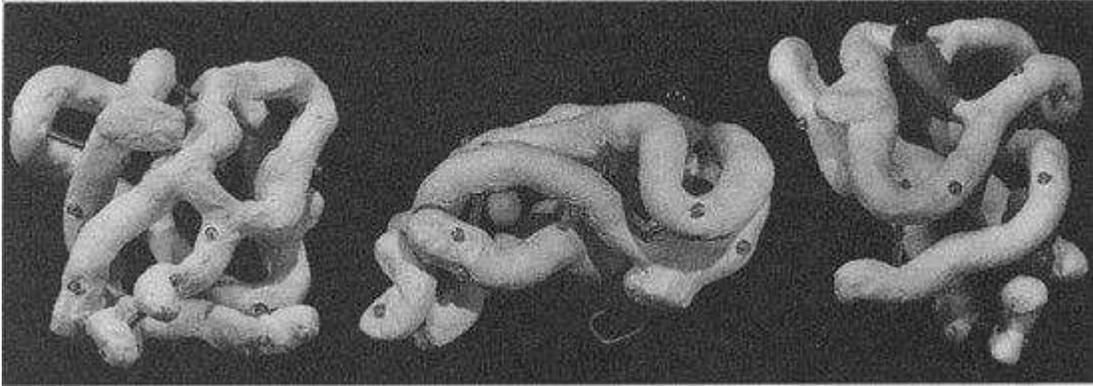
La importancia de las técnicas de difracción de rayos X

Las ideas procedentes de la física relativas al concepto de mutación y de cómo provocarlas fueron importantes, pero en modo alguno se puede explicar sólo a partir de ellas el universo de los conocimientos biológicos que poseemos en la actualidad, en los que la estructura del ADN ocupa un lugar destacado. Es inevitable referirse también a las técnicas de difracción de rayos X, un instrumento, surgido asimismo en el seno de la física, esencial para la determinación de estructuras moleculares.

Los trabajos de investigación y, sobre todo de promoción, de William Lawrence Bragg (1890-1971), mientras fue director del Laboratorio Cavendish de Cambridge (entre 1938 y 1954), resultaron especialmente importantes en este sentido (William Lawrence y su padre, William Henry Bragg [1862-1942], habían desarrollado a partir de 1913 las técnicas básicas de difracción de rayos X para analizar la estructura molecular de cristales de todo tipo de sustancias). Bajo la dirección de W. L. Bragg el inhóspito laboratorio de cristalografía del Cavendish fue creciendo, hasta convertirse en uno de los centros más importantes del mundo.

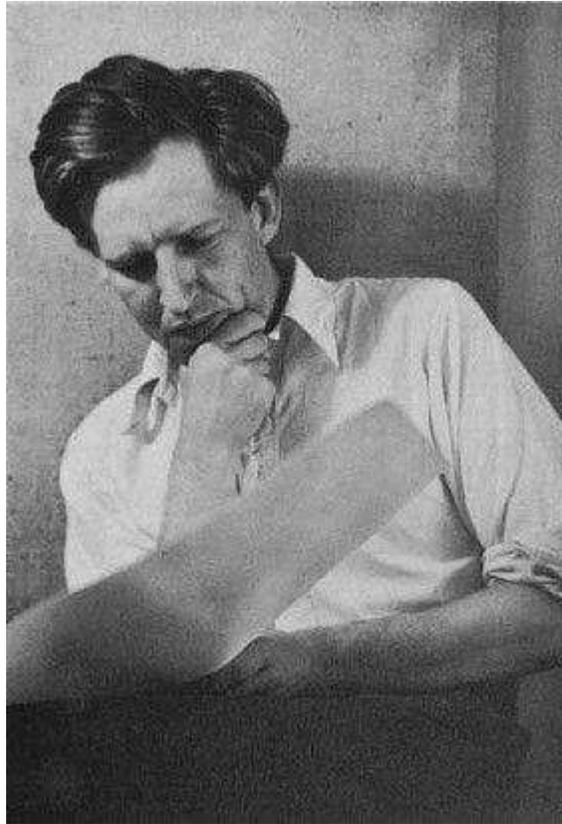


John Kendrew (izquierda) y Max Perutz (derecha) ante un modelo de hemoglobina de 1962, enmarcados en un ordenador.



Modelo de hemoglobina desarrollado por John Kendrew.

Uno de los investigadores que estaban en el Cavendish cuando llegó Bragg era Max Perutz (1914-2004), un joven químico austríaco que se había trasladado a Cambridge. En Viena, Perutz había podido conseguir unos cristales de hemoglobina de caballo (la proteína que da color rojo a las células de la sangre); pronto se dio cuenta de que tenían «la estructura cristalina más sencilla de todas las proteínas de peso molecular comparable, con características que hacen saltar de gozo al corazón del cristalógrafo». Sin embargo, una cosa era que fuera más sencilla que otras macromoléculas y otra que fuese asequible resolver el problema de su estructura; ante la ausencia de un método directo para obtener las posiciones atómicas, parecía imposible intentar abordar una estructura molecular tan compleja como la de la hemoglobina. Era —en palabras del propio Perutz— «tan prometedor como un viaje a la Luna». Sin embargo, continuó con aquel proyecto, que terminaría dando fruto en 1953, cuando Perutz obtuvo imágenes que demostraban que, en principio, la estructura de la molécula de hemoglobina podía, efectivamente, ser desentrañada. Se tardaron otros cuatro años más en dar con el modelo definitivo, siendo de nuevo Perutz el responsable, quien en 1962 —el mismo año en que fueron galardonados, en Medicina, Crick, Watson y Wilkins— recibió el premio Nobel de Química por sus «investigaciones sobre la estructura de proteínas globulares (en particular la hemoglobina)». Lo compartió con otro investigador del Cavendish, John C. Kendrew (1917-1997), a quien el propio Perutz había enseñado los fundamentos de la cristalografía, que lo recibió por «la determinación de la estructura de la mioglobina».



John D. Bernal fotografiado por Lettice Ramsey en Cambridge (1932).

Habida cuenta de estos hechos, no debe sorprendernos que fuese también en el Cavendish donde se descubrió, en 1953, la estructura en doble hélice del ácido desoxirribonucleico, a la que me referiré enseguida.

Sobre el reduccionismo, Biología versus física y química: Los comentarios precedentes, relativos al papel que la física ha desempeñado en el desarrollo de la biología molecular (comentarios que se pueden hacer extensivos, en otros apartados, a la química, como veremos a continuación), pueden inducir a algunos a pensar que la vieja ecuación reduccionista, «la biología se reduce a la química, la química a la física, luego la biología (esto es, la vida) se reduce a la física», es cierta. Semejante ecuación-planteamiento es, no obstante, tan limitado y simplista como burdo y muestra una idea muy primitiva de lo que es la ciencia. Es evidente que el conocimiento de, por ejemplo, las estructuras atómicas que proporciona la física es instrumento esencial para comprender el enlace químico, y que éste es, a su vez, imprescindible para entender el funcionamiento de la materia biológica, pero la biología —al

*igual que cualquier otra ciencia— es más que eso. Posee problemas y técnicas propias, y es heredera de una tradición y de unos estilos que se han ido configurando a lo largo de siglos y sin los cuales no sería lo que es. Ni la investigación, ni las cuestiones que se reconocen como legítimas, ni tampoco las instituciones y procedimientos que la configuran como disciplina científica permanecen —pueden permanecer— al margen de semejantes factores. Aunque no recoge todos estos aspectos, la siguiente cita trata de este asunto. Su autor es el célebre cristalógrafo británico y militante del socialismo científico (fue marxista), John Desmond Bernal (1901-1971). La formación de Bernal, sus intereses científicos (realizó, desde la cristalografía y difracción de rayos X, notables aportaciones a la biología molecular, disciplina de la que, de hecho, fue uno de sus «padres fundadores»), históricos y sociales (entre sus obras figura el famoso libro, *The Social Function of Science* [1939]) dan especial relieve a sus opiniones. La biología ha recibido nuevas contribuciones de la química y de la física. La nueva comprensión del comportamiento de las unidades más pequeñas de la materia —los átomos y las moléculas—, lo mismo que las técnicas para estudiarlas, han sido de un valor inestimable para la biología. Pero esto no significa, como algunos están dispuestos a pensar, que la biología se haya convertido en una rama de la física y la química. Por el contrario, el empleo de los conocimientos físicos o químicos para explicar los aspectos mecánicos, eléctricos o químicos de los organismos vivos, ha servido sólo para destacar más todavía sus aspectos biológicos. A pesar de que se pueden describir en términos físicos, estos fenómenos no tienen lugar mediante mecanismos hechos por algún artesano divino y conforme a modelos ideales establecidos para toda la eternidad, sino que son procesos que se regulan y se reproducen por sí mismos y cuya forma actual es el resultado de una evolución que ha durado millones de años.* John D. Bernal, *Science in History*, 1954 (*La ciencia en la historia*) La conexión química: de la bioquímica a la biología molecular

Aunque he estado haciendo hincapié en la «conexión física» de las investigaciones que finalmente conducirían al descubrimiento de la estructura del ADN, también he aludido a que la genética —más estrictamente, la biología en su conjunto— es asimismo deudora de otras disciplinas científicas. Como la química.

De hecho, en un sentido estricto, si mi intención no hubiese sido la de centrarme en los mecanismos hereditarios, en la genética, debería haber empezado por señalar que no es posible comprender las transformaciones que ha experimentado la biología del siglo XX sin tomar en cuenta la colonización que ésta sufrió durante su primer tercio por la química, la química orgánica en especial, que se plasmó en la aparición de una nueva disciplina, la bioquímica, desarrollada

sobre todo en Gran Bretaña y Alemania, y que se centró preferentemente en el estudio de moléculas pequeñas o intermedias. En el capítulo 5 me referí, con relación a la «medicina científica», a las aportaciones que la química realizó a la fisiología, pero aquello fue más una «reunión» que una verdadera «unión» a largo plazo (a pesar de que aparecieran incluso revistas —la primera en 1877— con el nombre de «Química fisiológica» en su encabezamiento), en el sentido de que no condujo al establecimiento de una nueva disciplina, o subdisciplina, auténticamente institucionalizada, como sería más tarde el caso con la bioquímica.

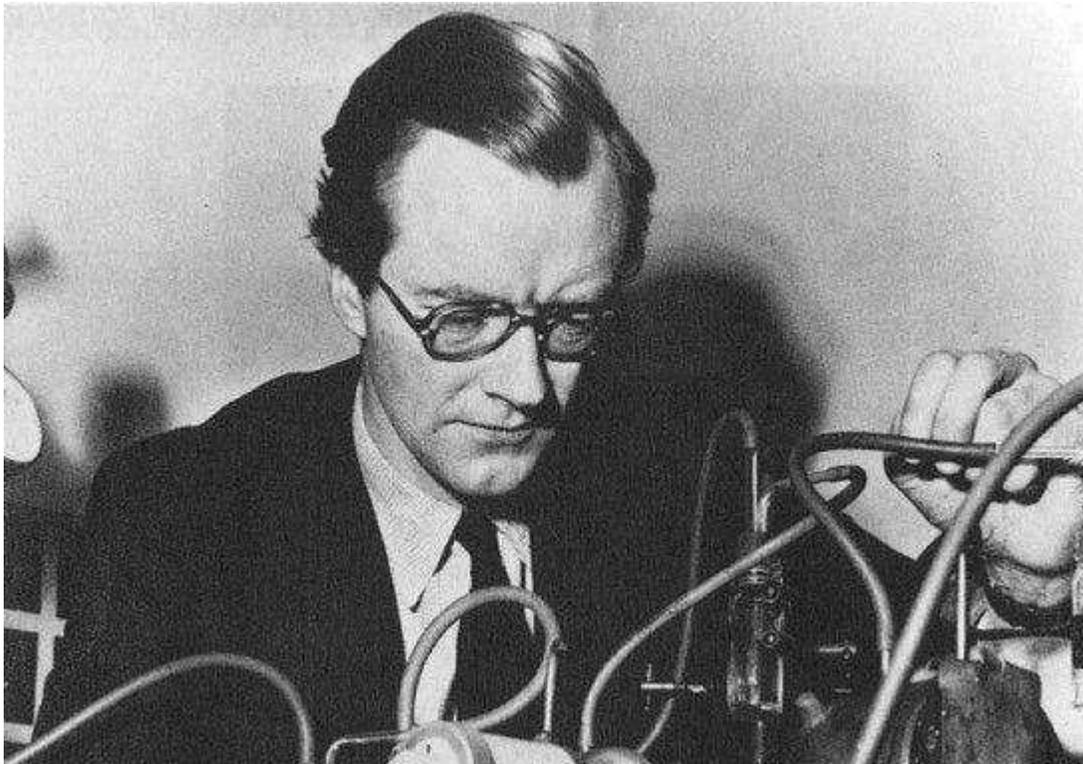
Aunque en modo alguno quiero decir que no aportase bastante a la genética, en don de la bioquímica desempeñó un papel absolutamente central fue en el estudio de los procesos metabólicos, en la purificación, aislamiento y caracterización de enzimas, cinética de las reacciones que éstas catalizan, y en su integración en la explicación de efectos fisiológicos, como la contracción muscular o el crecimiento de tejidos. En otras palabras, en el establecimiento, a mediados de la década de los años treinta, de lo que se ha denominado «metabolismo intermediario». (También se podría hablar de lo que la bioquímica aportó a Gran Bretaña y Alemania durante la Primera Guerra Mundial, desarrollando, por ejemplo, procesos para la producción de acetona, un ingrediente básico para la fabricación de municiones, que hasta entonces se obtenían de nitratos procedentes de minas chilenas, cuyo acceso quedó interrumpido por los bloqueos navales.)

Pero en esa misma década a la que me refería, la de 1930, las técnicas físicas procedentes sobre todo de la física atómica (como la difracción de rayos X, mencionada con anterioridad), prácticamente desconocidas por los bioquímicos y sin las cuales no era posible desvelar la estructura espacial de macromoléculas, como son las proteínas (las enzimas también son, recordemos, proteínas), dieron paso a una nueva fase de la biología contemporánea, la de la biología molecular (momentos importantes en este sentido fueron la primera fotografía de rayos X de una proteína —1934— y la primera teoría sobre la estructura de una proteína, en 1936). Este fue el camino que condujo al descubrimiento de la doble hélice de ADN.

La estructura del ADN

James Watson (n. 1928) y Francis Crick (1916-2004) fueron los autores de tal hallazgo, pero también hay que recordar a otros. Como Rosalind Franklin (1920-1958), quien demostró la existencia de dos formas de ADN, las denominadas A y B, y con gran esfuerzo determinó la densidad, las dimensiones celulares exactas

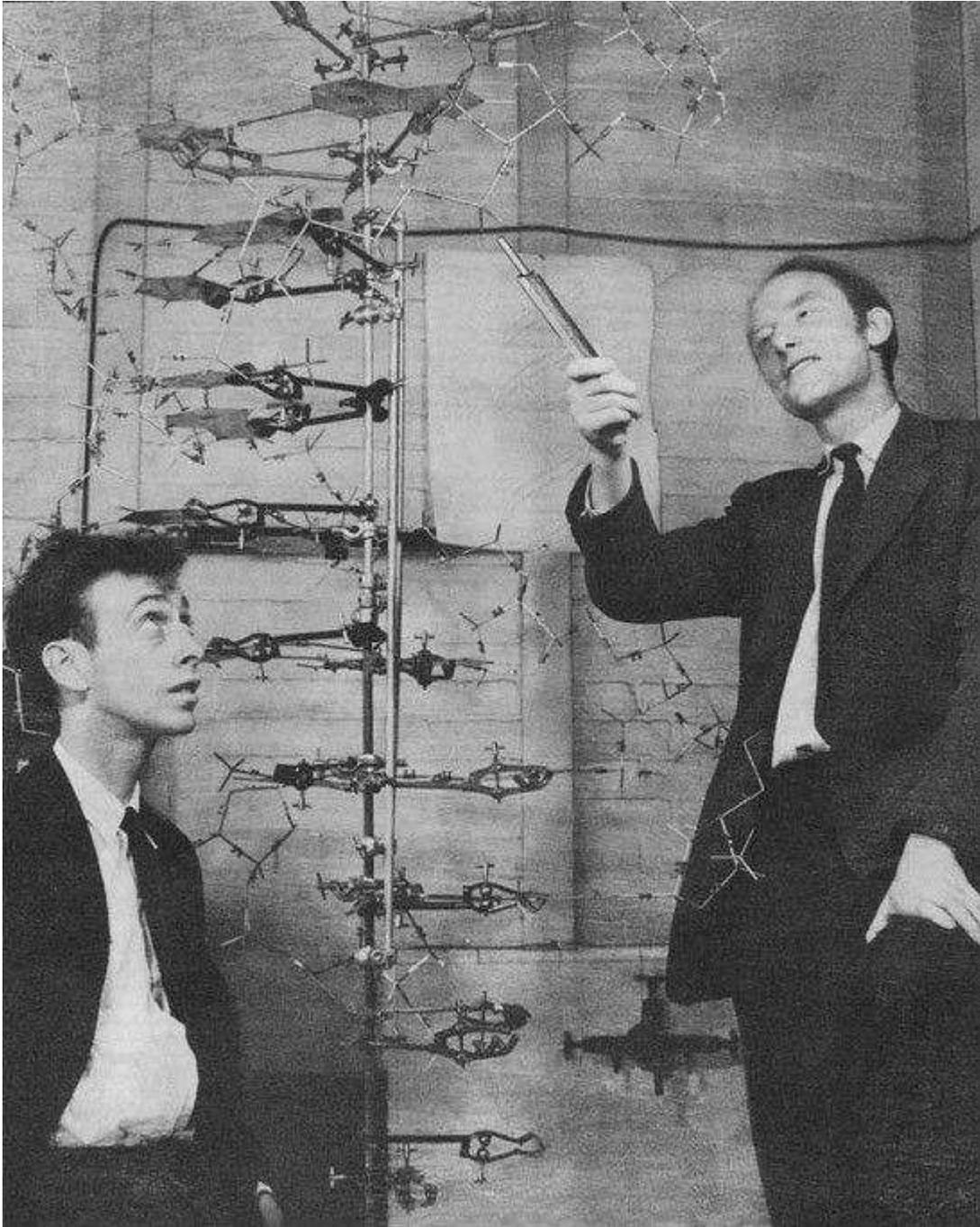
y la simetría de la forma A, evidencia que sugirió muy firmemente que la estructura tenía dos cadenas (y no sólo una, como había pensado otro científico que habría que recordar, el químico cuántico estadounidense Linus Pauling [1901-1994], cuya hélice α inspiró a Watson y a Crick), que circulaban en direcciones opuestas. También sería necesario hablar de Maurice Wilkins (1916-2004), que compartió con Crick y Watson el premio Nobel de 1962, y que fue quien demostró que las imágenes de difracción de rayos X de fibras de ADN se ajustaban a variantes del modelo de doble hélice. En el lado químico, no habría sido posible construir modelos correctos sin la fórmula química general del ADN, determinada sobre todo por el trabajo de Alexander R. Todd (1907-1997), aunque la información más vital fue suministrada por las investigaciones de Erwin Chargaff (1905-2002), que encontró que en el ADN existía la misma cantidad de adenina que de timina y la misma de guanina que de citosina, sustancias químicas fundamentales a las que volveré enseguida. Y, por supuesto, igualmente fundamental fue el artículo de Avery, MacLeod y McCarty donde demostraban que el factor de multiplicación del neumococo estaba hecho casi con seguridad de ADN. Otra clave importante fue suministrada por John Masson Gulland (1898-1947), cuyo trabajo en la curva de análisis volumétrico del ADN sugirió, aunque no demostró, que el ADN en solución se mantenía unido por enlaces de hidrógeno.



Maurice Wilkins.



Erwin Chargaff.



James Watson y Francis Crick fotografiados el 21 de mayo de 1953 por Antony Barrington Brown en el Laboratorio Cavendish ante un modelo tridimensional de ADN.

La importancia que algunos de estos trabajos tuvieron para el descubrimiento de Watson y Crick —una importancia que ha dado origen a más de una polémica sobre prioridades y méritos (especialmente en lo que se refiere a los trabajos de Rosalind Franklin)— se hacía ya evidente en su propia puesta en escena. Watson y Crick publicaron su hallazgo en un esplendorosamente breve (prácticamente sólo una página) artículo («Molecular structure of nucleic acids: A structure for deoxyribonucleic acid» [«Estructura molecular de los ácidos nucleicos: Una estructura para el ácido desoxirribonucleico»]), que apareció el 25 de abril de 1953 en la revista inglesa *Nature* (volumen 171, pp. 737-738). A continuación (pp. 738-740) aparecía otro («Molecular structure of deoxypentose nucleic acids» [«Estructura molecular de ácidos desoxipentosanucleicos»]) firmado por Maurice Wilkins y dos de sus colaboradores en el King's College: Alexander R. Stokes (1919-2003) y Herbert R. Wilson (n. 1929). Finalmente (pp. 740-741), venía un tercero («Molecular configuration in sodium thymonucleate» [«Configuración molecular en el timonucleato de sodio»]) de Rosalind Franklin y Raymond G. Gosling (n. 1926).

En «Molecular structure of nucleic acids», Watson y Crick señalaban que el ADN está constituido por dos cadenas, formando una doble hélice, cada una formada por cuatro compuestos químicos (bases) —combinaciones de carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y fósforo—, denominados adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T). La estructura de la cadena es muy sencilla: lo que se puede considerar como su esqueleto está formado por una alternancia regular de ácido fosfórico (P) y un azúcar, la desoxirribosa (D). Sobre este esqueleto, se superponen las cuatro bases mencionadas antes, pero de forma que a cada azúcar D va unida una base, A, C, G o T, formando una secuencia determinada. El ADN surge cuando se unen dos cadenas de este tipo, mediante el procedimiento de establecer uniones entre parejas de bases, pero sólo de manera que la T de una cadena se asocie a la A de la otra, o la G a la C. Cualquier otro emparejamiento está prohibido. Con semejante estructura se puede comprender fácilmente (en principio; hay que elaborar los detalles) el proceso de la duplicación del ADN en cada célula: en un momento dado de la vida de ésta, la doble hélice se escinde en dos segmentos helicoidales que, al captar en el medio en el que se encuentran el azúcar, el fosfato y la base, reconstruyen sus complementarios, de manera, además, perfectamente fiel, de generación a generación (salvo mutaciones), debido a la ley del emparejamiento de las bases. «No ha escapado a nuestra atención —escribían Watson y Crick en su artículo— que el emparejamiento específico que hemos postulado sugiere un posible mecanismo de copiado para el material genético.» Esto es todo lo que decían, en un prodigio de brevedad y concisión. ¡Pero era tanto lo que englobaban esas pocas frases!

La era de la biología molecular llegó entonces a su momento crucial, más característico e importante. Quedó claro finalmente que el ADN aparece en forma de filamentos muy largos en los cromosomas. Tan largos que si pudiésemos extender el ADN de una célula humana, formaríamos un hilo de unos tres metros de longitud. El «genoma» (conjunto de instrucciones —o de genes— que permiten construir un organismo) humano se encuentra en esos hilos, y consta de unos 3.000 millones de pares de bases. Entre las inmensas posibilidades de comprensión y actuación que abría el nuevo esquema, una era que desaparecía ya de manera definitiva, nítida, la posibilidad de que alguien dijese lo que había escrito, como vimos, Morgan: «El estudioso de la herencia apela a unos elementos invisibles llamados genes». Ahora un gen se podía definir como una secuencia de pares de bases a lo largo de un trozo de ADN, que tiene una función específica conocida.

equipment, and to Dr. G. E. R. Deacon and the captain and officers of R.R.S. *Discovery II* for their part in making the observations.

¹ Young, F. B., Gerrard, H., and Jevons, W., *Phil. Mag.*, **40**, 149 (1920).

² Loquet-Higgins, M. S., *Mém. Nat. Roy. Astr. Soc., Geophys. Supp.*, **8**, 265 (1949).

³ Van Aarts, W. S., *Woods Hole Papers in Phys. Oceanog. Meteor.*, **11** (3) (1950).

⁴ Ekman, V. W., *Aktiv. Mat. Astron. Fysik. (Stockholm)*, **2** (11) (1955).

MOLECULAR STRUCTURE OF NUCLEIC ACIDS

A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid

WE wish to suggest a structure for the salt of deoxyribose nucleic acid (D.N.A.). This structure has novel features which are of considerable biological interest.

A structure for nucleic acid has already been proposed by Pauling and Corey¹. They kindly made their manuscript available to us in advance of publication. Their model consists of three intertwined chains, with the phosphates near the fibre axis, and the bases on the outside. In our opinion, this structure is unsatisfactory for two reasons: (1) We believe that the material which gives the X-ray diagrams is the salt, not the free acid. Without the acidic hydrogen atoms it is not clear what forces would hold the structure together, especially as the negatively charged phosphates near the axis will repel each other. (2) Some of the van der Waals distances appear to be too small.

Another three-chain structure has also been suggested by Fraser (in the press). In his model the phosphates are on the outside and the bases on the inside, linked together by hydrogen bonds. This structure as described is rather ill-defined, and for this reason we shall not comment on it.



This figure is purely diagrammatic. The two ribbons symbolize the two phosphate-sugar chains, and the horizontal rods the pairs of bases holding the chains together. The vertical line marks the fibre axis.

We wish to put forward a radically different structure for the salt of deoxyribose nucleic acid. This structure has two helical chains each coiled round the same axis (see diagram). We have made the usual chemical assumptions, namely, that each chain consists of phosphate diester groups joining β -D-deoxy-ribofuranose residues with 3',5' linkages. The two chains (but not their bases) are related by a dyad perpendicular to the fibre axis. Both chains follow right-handed helices, but owing to the dyad the sequences of the atoms in the two chains run in opposite directions. Each chain loosely resembles Furberg's² model No. 1; that is, the bases are on the inside of the helix and the phosphates on the outside. The configuration of the sugar and the atoms near it is close to Furberg's 'standard configuration', the sugar being roughly perpendicular to the attached base. There

is a residue on each chain every 3-4 Å. in the z-direction. We have assumed an angle of 36° between adjacent residues in the same chain, so that the structure repeats after 10 residues on each chain, that is, after 34 Å. The distance of a phosphorus atom from the fibre axis is 10 Å. As the phosphates are on the outside, cations have easy access to them.

The structure is an open one, and its water content is rather high. At lower water contents we would expect the bases to tilt so that the structure could become more compact.

The novel feature of the structure is the manner in which the two chains are held together by the purine and pyrimidine bases. The planes of the bases are perpendicular to the fibre axis. They are joined together in pairs, a single base from one chain being hydrogen-bonded to a single base from the other chain, so that the two lie side by side with identical z-co-ordinates. One of the pair must be a purine and the other a pyrimidine for bonding to occur. The hydrogen bonds are made as follows: purine position 1 to pyrimidine position 1; purine position 6 to pyrimidine position 6.

If it is assumed that the bases only occur in the structure in the most plausible tautomeric forms (that is, with the keto rather than the enol configurations) it is found that only specific pairs of bases can bond together. These pairs are: adenine (purine) with thymine (pyrimidine), and guanine (purine) with cytosine (pyrimidine).

In other words, if an adenine forms one member of a pair, on either chain, then on these assumptions the other member must be thymine; similarly for guanine and cytosine. The sequence of bases on a single chain does not appear to be restricted in any way. However, if only specific pairs of bases can be formed, it follows that if the sequence of bases on one chain is given, then the sequence on the other chain is automatically determined.

It has been found experimentally^{3,4} that the ratio of the amounts of adenine to thymine, and the ratio of guanine to cytosine, are always very close to unity for deoxyribose nucleic acid.

It is probably impossible to build this structure with a ribose sugar in place of the deoxyribose, as the extra oxygen atom would make too close a van der Waals contact.

The previously published X-ray data^{5,6} on deoxyribose nucleic acid are insufficient for a rigorous test of our structure. So far as we can tell, it is roughly compatible with the experimental data, but it must be regarded as unproved until it has been checked against more exact results. Some of these are given in the following communications. We were not aware of the details of the results presented there when we devised our structure, which rests mainly though not entirely on published experimental data and stereochemical arguments.

It has not escaped our notice that the specific pairing we have postulated immediately suggests a possible copying mechanism for the genetic material.

Full details of the structure, including the conditions assumed in building it, together with a set of co-ordinates for the atoms, will be published elsewhere.

We are much indebted to Dr. Jerry Donohue for constant advice and criticism, especially on inter-atomic distances. We have also been stimulated by a knowledge of the general nature of the unpublished experimental results and ideas of Dr. M. H. F. Wilkins, Dr. R. E. Franklin and their co-workers at

*El artículo fundacional de Watson y Crick en Nature fue datado por sus autores el 2 de abril y apareció publicado en el número del 25 de abril. Se trataba, como ya he indicado, de un escrito —una nota— extremadamente sucinto. Enseguida prepararon un artículo más extenso, en el que elaboraban sus explicaciones y planteamientos. A continuación reproduzco algunos pasajes de este trabajo, que apareció en el número de Nature del 30 de mayo.***J. Watson y F. Crick, «Genetic implications of the structure of deoxyribonucleic acid» («Implicaciones genéticas de la estructura del ácido desoxirribonucleico»), Nature 171, pp. 964-967 (1953):**La importancia del ácido desoxirribonucleico en las células vivas es indiscutible. Se encuentra en todas las células que se dividen, sobre todo, si no totalmente, en el núcleo, donde es un constituyente esencial de los cromosomas. Hay muchos indicios de que es el portador de una parte de (si no de toda) la especificidad genética de los cromosomas y por tanto del propio gen. Hasta ahora, no obstante, no se ha demostrado la manera como lleva a cabo la operación esencial que se exige al material genético, es decir, la de su duplicación exacta. Nosotros hemos propuesto recientemente una estructura para la sal del ácido desoxirribonucleico que, si es correcta, sugiere inmediatamente un mecanismo para su duplicación. Los resultados obtenidos mediante rayos X por los investigadores del King's College de Londres y presentados al mismo tiempo, apoyan cualitativamente nuestra estructura y son incompatibles con todas las estructuras presentadas anteriormente. Aunque nuestra estructura no puede considerarse totalmente verificada hasta que se haya realizado una comparación más amplia con los datos obtenidos por rayos X, tenemos ahora la suficiente confianza en su exactitud general para poder discutir sus implicaciones genéticas. Al hacer esto damos por sentado que las fibras de la sal del ácido desoxirribonucleico no son artefactos fruto del método de preparación, ya que ha sido demostrado por Wilkins y sus colaboradores que se obtienen modelos de rayos X similares tanto a partir de las fibras aisladas como a partir de ciertos materiales biológicos intactos, tales como cabezas de espermatozoos y bacteriófagos... La primera característica de nuestra estructura que tiene interés biológico es que está formada por dos cadenas, no por una. Estas dos cadenas están enrolladas alrededor de un eje común... La otra característica importante desde el punto de vista biológico es la forma en que las dos cadenas se mantienen unidas. Se realiza por medio de los enlaces de hidrógeno entre las bases... Las bases se unen a pares, una base de una cadena establece un enlace de hidrógeno con la otra cadena. El punto importante reside en el hecho de que sólo unos ciertos pares de bases se ajustan a esta estructura. Un miembro de cada par debe ser una purina y el otro una pirimidina para poder establecer contacto entre las dos cadenas. Si un par estuviera formado por dos purinas, por ejemplo, no cabría en la estructura. Nosotros creemos

que las bases están presentes casi totalmente en su forma tautomérica más probable. Si esto es cierto, las condiciones para que se formen enlaces de hidrógeno son más restrictivas y los únicos pares de bases posibles son: adenina con timina; guanina con citosina... El esqueleto fosfato-azúcar de nuestro modelo es completamente regular, pero cualquier secuencia de pares de bases puede ajustarse a esta estructura. De aquí se deduce que en una molécula larga son posibles muchas permutaciones diferentes y, por lo tanto, parece probable que la secuencia particular de las bases sea el código que transporta la información genética. Si el orden real de las bases en una de las cadenas está determinado, se puede escribir el orden exacto de las bases de la otra cadena debido a su apareamiento específico. Así, una cadena es, como si dijéramos, el complemento de la otra y es esta característica la que sugiere la forma en que la molécula de ácido desoxirribonucleico puede duplicarse... De momento el esquema general para la reproducción del ácido desoxirribonucleico debe considerarse como especulativo. Incluso si fuera correcto, es evidente por lo que hemos dicho que queda mucho por descubrir para que el proceso de la duplicación genética pueda describirse con detalle... ¿Qué es lo que hace que el par de cadenas se desenrollen y separen? ¿Cuál es el papel exacto de la proteína? ¿Está el cromosoma formado por un largo par de cadenas de ácido desoxirribonucleico, o lo está por porciones del ácido unidas entre sí por proteínas? A pesar de todas estas incertidumbres creemos que la estructura que hemos propuesto para el ácido desoxirribonucleico puede ayudar a solucionar uno de los problemas biológicos más fundamentales: la base molecular del molde necesario para la replicación genética. La hipótesis que sugerimos es que el molde es el modelo de bases formado por una cadena de ácido desoxirribonucleico y que el gen contiene un par complementario de estos moldes. Una nueva era sociocientífica

Visto retrospectivamente, se puede pensar que el descubrimiento de la estructura del ADN abrió inmediatamente una nueva era, que podría denominarse de la biología molecular, en la que todavía nos encontraríamos. No está, sin embargo, tan claro que semejante caracterización sea la más adecuada. No hay duda que el hallazgo de Watson y Crick creó instrumentos conceptuales sin los cuales no habrían sido posibles los cambios —reales o esperados— que configuran aspectos centrales del mundo en que vivimos, pero también hay que tener en cuenta que para que comenzaran a aparecer en el horizonte esas transformaciones fue necesario más que las herramientas habilitadas por los resultados anunciados en 1953. Y es que no siempre —más aún, acaso raras veces (pero esta es otra cuestión que habría que estudiar en sí misma)— los resultados científicos, aunque sean revolucionarios, poseen la suficiente capacidad de transformación como para

afectar drásticamente a la sociedad.

En el caso del que me estoy ocupando ahora esto quiere decir lo siguiente: por un lado se tiene que la determinación de la estructura molecular del ADN permitió comprender, como nunca antes se había logrado, los mecanismos que rigen los procesos hereditarios, sobre cuya importancia es innecesario detenerse; por otro, sabemos —lo leemos, escuchamos o vemos constantemente en los medios de comunicación— que nos encontramos en medio, o en los albores, de una gran revolución tecnocientífica que, se dice, cambiará nuestras vidas (o las expectativas que todo humano se forma de su futuro vital), con la enorme implicación socioeconómica —y a la postre política— que ello implica. No es extraño que de las dos manifestaciones anteriores la mayoría de las personas concluya que la ecuación básica es algo así como: una vez disponibles los resultados de Watson y Crick de 1953, lo fundamental estaba hecho, siendo cuestión de tiempo que se explotasen sus consecuencias.

En la medida en que la identificación de la doble hélice es condición necesaria para un gran número de avances, no es imposible sostener el anterior punto de vista, pero resulta que fueron precisos otros elementos/desarrollos para que se abriese realmente una nueva era científica, tecnológica y social. Así, sucede que aunque a finales de la década de 1960 la biología molecular podía presumir de tener tras de sí ya casi dos décadas de tradición, en las que se habían producido avances notables (había sido posible, por ejemplo, describir con gran detalle la maquinaria celular responsable de la replicación del ADN, la síntesis de proteínas, determinar en términos moleculares los principales mecanismos de transmisión de información genética en bacterias, o explicar el comportamiento genético de las formas más sencillas de vida, como las células procariotas, que no poseen núcleo), un rasgo llamativo es que no había conducido a ninguna aplicación práctica importante. Un informe emitido en 1975 por una compañía de ingeniería genética (Cetus Corporation) afirmaba: «Las aplicaciones prácticas de la biología molecular han sido lentas en llegar. En el nivel aplicado, todavía en este momento es difícil encontrar alguna habilidad médica o industrial realmente importante para la que sea esencial que conozcamos el código genético o que el ADN aparezca en la naturaleza como una doble hélice». El problema —o parte importante del problema— es que no se conocían técnicas adecuadas para manipular el ADN en el tubo de ensayo. Debido a que las moléculas de ADN son de gran tamaño, cuando se las intentaba fragmentar los cortes se producían al azar, con lo cual se descomponía la información genética contenida en ellas de forma tal que era prácticamente imposible de recomponer.



Biólogos moleculares en una escalera de espiral. De abajo a arriba: Christian de Duve, Francis Crick, James Watson, Jean Dausset, Thomas Cech, Werner Arber, Paul Berg, François Jacob, Renato Dulbecco, Manfred Eigen y Giorgio Bernardi.



«El Club de la corbata de ADN»: de izda. a dcha., Francis Crick, Alexander Rich, Leslie Orgel y James Watson (Cambridge, otoño de 1955).

Fue a finales de la década de 1960 y comienzos de la de 1970 cuando comenzaron a ser desarrolladas las técnicas necesarias para que la biología molecular «saliese al exterior», para que su hogar dejase de ser únicamente el laboratorio dedicado a «la búsqueda del saber por sí mismo». Con tales técnicas pudo hablarse ya con seguridad y realismo de términos como «biotecnología» o «ingeniería genética» (un término este último acuñado en 1965 por Rollin D. Hotchkiss [n. 1911]), la disciplina que se ocupa de «unir genes»; esto es, de sustituir un segmento de ADN de una célula por uno de otra (al organismo que surge de este proceso se le denomina *transgénico*). Por aquellos años, en efecto, se encontraron herramientas moleculares que podían resolver muchos de esos problemas: aislamiento (Bernard Weiss y Charles C. Richardson; 1967) de la enzima ligasa que puede unir cadenas de ADN; hallazgo (Linn y Werner Arber; 1968) de las denominadas enzimas de restricción, que son capaces de cortar por sitios determinados las moléculas de ADN. Disponiendo de instrumentos como estos, fue hasta cierto punto natural que en 1972 Janet Mertz y Ron Davis, de la Universidad

de Stanford, descubriesen que se podían unir muy fácilmente moléculas de ADN cuando se las cortaba utilizando la enzima de restricción *EcoRI*. Las investigaciones de Mertz y Davis determinaron que al año siguiente Herb Boyer y Stanley Cohen desarrollasen un método para reordenar moléculas de ADN en un tubo de ensayo con el fin de crear moléculas híbridas procedentes en parte de, por ejemplo, ADN de una mosca y en parte de ADN bacterial. Entonces sí, ya se abrió una nueva era, socio-tecnocientífica; una era a la que se le pueden poner varios nombres: la del ADN recombinante, la de la biotecnología, la de la ingeniería genética, o quizá de modo más general y probablemente más apropiado, a tenor de las consecuencias-aplicaciones que se vislumbran y favorecen, la de las ciencias biomédicas moleculares.

Nuevos mundos, científicos, industriales y morales

Como en otras ocasiones (recordemos el ejemplo de la fisión nuclear, y numerosos descubrimientos químicos, como el de la dinamita o el DDT), el nuevo mundo científico que se fue abriendo a partir de 1953 ha terminado conduciendo a todo tipo de situaciones, científicas al igual que sociales (morales o éticas, por ejemplo); situaciones a las que tenemos que enfrentarnos. Y no siempre es fácil.

La lista de esas nuevas posibilidades y situaciones se encuentra al cabo de la calle y aumenta constantemente; a veces uno se siente tentado a decir: aumenta cada día. La creación de nueva vida transgénica fue una de las posibilidades que más pronto comenzó a hacerse realidad. Un momento importante en este sentido fue cuando, en 1971, Janet Mertz presentó, en una reunión celebrada en el famoso Laboratorio de Cold Spring Harbor, en Long Island, un proyecto de experimento en el que se pretendía insertar el cromosoma de SV40 en una cepa de laboratorio de *Escherichia coli*, proyecto que condujo al mencionado resultado de Mertz y Davis de 1972. La perspectiva de que una bacteria —especialmente una que aparece de manera natural en el intestino humano— pudiese ser tratada para transportar el ADN de un virus capaz, bajo ciertas condiciones experimentales, de provocar tumores en roedores alarmó a algunos biólogos moleculares, con la consecuencia de que el experimento con el SV40 fue pospuesto.

Se abrió entonces un debate dentro de la propia comunidad científica acerca de si era razonable introducir restricciones en la tradicional libertad de investigación científica.

El presidente de la National Academy of Sciences estadounidense, Philip Handler, se inclinó por mantener el debate dentro de la comunidad científica, pidiendo a Paul Berg (n. 1926), director del Departamento de Bioquímica de la Medical School de la Universidad de Stanford (al que también pertenecía Mertz), que estableciese un comité para examinar el problema y proponer acciones a corto y largo plazo. Berg, que contemplaba el comité como un grupo informal (Handler, no obstante, afirmó más tarde que actuaba en representación de la Academia), cumplió con el cometido, reuniendo, en abril de 1974, a un grupo de diez destacados biólogos moleculares y bioquímicos (entre ellos se encontraban David Baltimore, James Watson, Sherman Weissman, Daniel Nathans y Norton Zinder).

El producto de la reunión fue una carta, publicada en julio de 1974 en los *Proceedings of the National Academy of Sciences, Science* («Potential biohazards of recombinant DNA molecules» [«Riesgos biológicos potenciales de las moléculas de ADN recombinante»]) y en *Nature* («NAS ban on plasmid engineering» [«La Academia Nacional de Ciencias prohíbe la ingeniería plásmida»]).

«En una iniciativa sin precedentes —se comentaba en *Nature*—, la Academia Nacional de Ciencias ha solicitado que se establezca una moratoria mundial voluntaria en un área de la investigación científica debido a riesgos potenciales e impredecibles para la salud humana.» Específicamente, se pedía que se detuviesen dos tipos de experimentos hasta que se hubiesen evaluado mejor sus riesgos, o desarrollado métodos para impedir su propagación (uno de ellos era la unión de ADN de virus oncogénicos de animales, o de otros tipos, a elementos de ADN que se reproducían de manera autónoma). La carta del «Comité Berg» proponía también que se celebrase una conferencia internacional «para pasar revista a los progresos científicos en esta área». Ésta se celebró en el Centro de Conferencias de Asilomar, en Pacific Grove, California, en febrero de 1975. Participaron 150 científicos. David Baltimore, del Centro de Investigación del Cáncer del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) y que unos meses más tarde sería galardonado con el premio Nobel, inauguró la conferencia. Su intervención dejó claro que lo que se pretendía analizar eran únicamente los riesgos asociados a la investigación genética y las medidas de seguridad que se podían introducir. Específicamente, descartaba como temas «periféricos a esta reunión», «la utilización de esta tecnología en la terapia génica o ingeniería genética, que nos conduce a cuestiones como lo que está bien y lo que está mal, complicadas cuestiones de motivación política, y de las cuales no creo que este sea el momento adecuado [para discutir las]».

Naturalmente no todo el mundo estaba de acuerdo con semejante

planteamiento, pero yo no quiero entrar en esta cuestión aquí, ni comentar el hecho de que la conclusión de la conferencia fuese la de recomendar que se levantase la moratoria parcial impuesta en julio, reemplazándola con unas normas para la investigación en ingeniería genética (muchas de las cuales, por cierto, eran bastante estrictas). Lo que me interesa es mostrar que estaba claro, y todos lo apreciaron, comenzando por los científicos, que se había abierto un mundo cuyas implicaciones no se detenían en el laboratorio. Un mundo que incluye no sólo cuestiones relativas a la seguridad de los experimentos que se realizan, o la creación de posibles nuevas formas de vida, sino también otras más sociopolíticas y económicas. Como la espinosa cuestión de la posibilidad de patentar las variedades creadas de organismos vivos (microorganismos, plantas o animales transgénicos). En 1987, la Oficina de Patentes estadounidense concedió el derecho a patentar animales domésticos transgénicos, esto es, creados mediante ingeniería genética. Utilizando este acuerdo, el 12 de abril de 1988 se aceptaba la patente de un ratón transgénico producido en la Universidad de Harvard. Antes, en 1987, la misma Oficina había prohibido que se patentasen seres humanos alterados genéticamente, basándose en una enmienda antiesclavista de la Constitución norteamericana que impide la propiedad de seres humanos. Pero existe un amplio territorio intermedio: vivimos, lo sabemos demasiado bien, entre luces y sombras. Myriad Genetics, la compañía biotecnológica estadounidense que anunció el descubrimiento del primero de los genes asociados al cáncer de pecho hereditario, conocido como BRCA1 (estrictamente, la mutación de este gen sólo está relacionada con una pequeña fracción de esos cánceres), mostró con rapidez su intención de patentar el hallazgo, abriendo de esta manera el debate acerca de si se deben conceder patentes sobre genes individuales.

Sabemos ya también, gracias a toda esta ciencia biológica, que pequeños cambios en la estructura química de los genes pueden tener consecuencias muy importantes. En 1986, por ejemplo, un equipo de investigadores estadounidenses identificó el defecto genético responsable de un tipo de distrofia muscular. En 1989, un grupo de biólogos anunció el descubrimiento de la situación del gen que, cuando sale defectuoso, produce la fibrosis quística, una enfermedad que afecta a los pulmones, páncreas y otros órganos. En 1993, se localizó el gen de la corea de Huntington, un trastorno que produce una degeneración progresiva del cerebro, acompañada de la aparición de fuertes movimientos incontrolados y que conduce, inevitablemente por el momento, a la muerte. Y la lista crece casi cada día. Entre los trastornos de origen génico parece que se encuentran algunos como cánceres de colon, páncreas, pulmón y mama, diabetes, epilepsia, enfermedad de Tay-Sachs, esclerosis lateral amiotrófica (o enfermedad de Lou Gehrig), hemofilia, hipertensión arterial, neurofibromatosis y diversos síndromes (como el de Down).

Conocimientos como estos son buenos, ¿cómo no van a ser buenos? Pero pueden utilizarse también en direcciones que creo, o me hago la ilusión, no serían tan bienvenidas por los que aman la justicia. Las compañías de seguros al seleccionar a sus asegurados, o, simplemente, empresas al contratar a sus empleados, podrían utilizar el conocimiento de genomas individuales para introducir marginaciones inadmisibles, una situación esta cada vez más peligrosa, toda vez que el conocimiento del genoma humano camina a pasos agigantados. En efecto, el 26 de junio de 2000 la empresa privada estadounidense Celera Genomics, dirigida por el emprendedor científico Craig Venter (n. 1946), y la organización pública Proyecto Genoma Humano, en el que participaban científicos de, especialmente, Estados Unidos y el Reino Unido, al igual que de Francia, Alemania, Japón y China, efectuaron un primer anuncio conjunto manifestando que habían completado la secuenciación (la determinación de la estructura, de la «geografía») del genoma humano. A pesar de lo grandilocuente de aquella declaración, en la que estuvieron presentes el presidente Bill Clinton y el primer ministro británico, Tony Blair, todavía quedaba —queda— mucho que hacer. No se había dicho nada, por ejemplo, de cuántos genes forman el genoma humano; a comienzos de 2001 se superó tal carencia, señalándose que existen unos 30.000, frente a la cifra de alrededor de 100.000 que habían manejado hasta entonces los científicos (recientemente la cifra se ha reducido más, a 23.000). Y todavía subsisten cuestiones fundamentales: ¿a quién, a qué persona, de qué grupo, corresponde el genoma anunciado? A nadie estrictamente. El catálogo final de la secuencia de ADN humano es un mosaico de una persona hipotética, algo así como la interpolación de muchos genomas individuales. Semejante información es, por supuesto, esencial para numerosos fines, pero si de lo que se trata es de abordar problemas sanitarios individuales, lo que se necesita es ser capaz de secuenciar con cierta rapidez el genoma de personas concretas. Y esto es algo que ya se está haciendo: Craig Venter es uno de los primeros (si no el primero) que ha determinado la estructura de su genoma, como ha comentado en su autobiografía, *A Life Decoded (Una vida descodificada; 2007)*.

Otro tema de nuestro tiempo que ha hecho posible la tecnociencia biológica es el de la clonación. El 25 de noviembre de 1996, *Nature* recibía un escueto artículo titulado «Viable offspring derived from fetal and adult mammalian cells» («Descendencia viable derivada de células fetales y adultas de mamífero»), que fue publicado en el número del 27 de febrero del año siguiente. Sus autores eran Ian Wilmut, el líder del grupo, A. E. Schnieke, J. McWhir, A. J. Kind y K. H. S. Campbell, del Roslin Institute de Edimburgo. No se trataba de un artículo cualquiera, uno más de los miles que constantemente irrumpen en la literatura científica, sino de uno en el que se anunciaba que se había conseguido traspasar una frontera muy especial: la

reproducción de un mamífero, una oveja —*Dolly*— transfiriendo la carga genética (el ADN) del núcleo de una célula de glándula mamaria —es decir, una célula somática, no germinal— de una oveja adulta a un óvulo no fecundado y enucleado. Se había, en suma, *clonado* un mamífero.

Es cierto que *Dolly* no fue el primer clon de un mamífero; estrictamente, los gemelos son clones, pero lo son de un tipo muy diferente: se trata de una clonación natural, y más absoluta, por cierto, ya que al surgir de una escisión embrionaria, poseen no sólo idéntico ADN, sino también el mismo citoplasma (la sustancia que rodea al núcleo en donde se encuentra el ADN), mientras que clones como *Dolly* sólo tienen el mismo ADN que la célula que aporta la carga genética (en la medida que el ADN no opera aislado, sino que se halla en diálogo constante con su entorno citoplasmático, *Dolly* no es, por tanto, un verdadero clon, sino un clon del ADN, o «clon genómico»). Antes, en agosto de 1995, el grupo que había creado a *Dolly* produjo dos ovejas clónicas de raza Welsh Mountain —*Megan* y *Morag*—; la diferencia con *Dolly* es que procedían de células que, recogidas en embriones de nueve días, fueron cultivadas, diferenciándose en el cultivo: habían sido clonadas a partir de células embrionarias, no adultas.

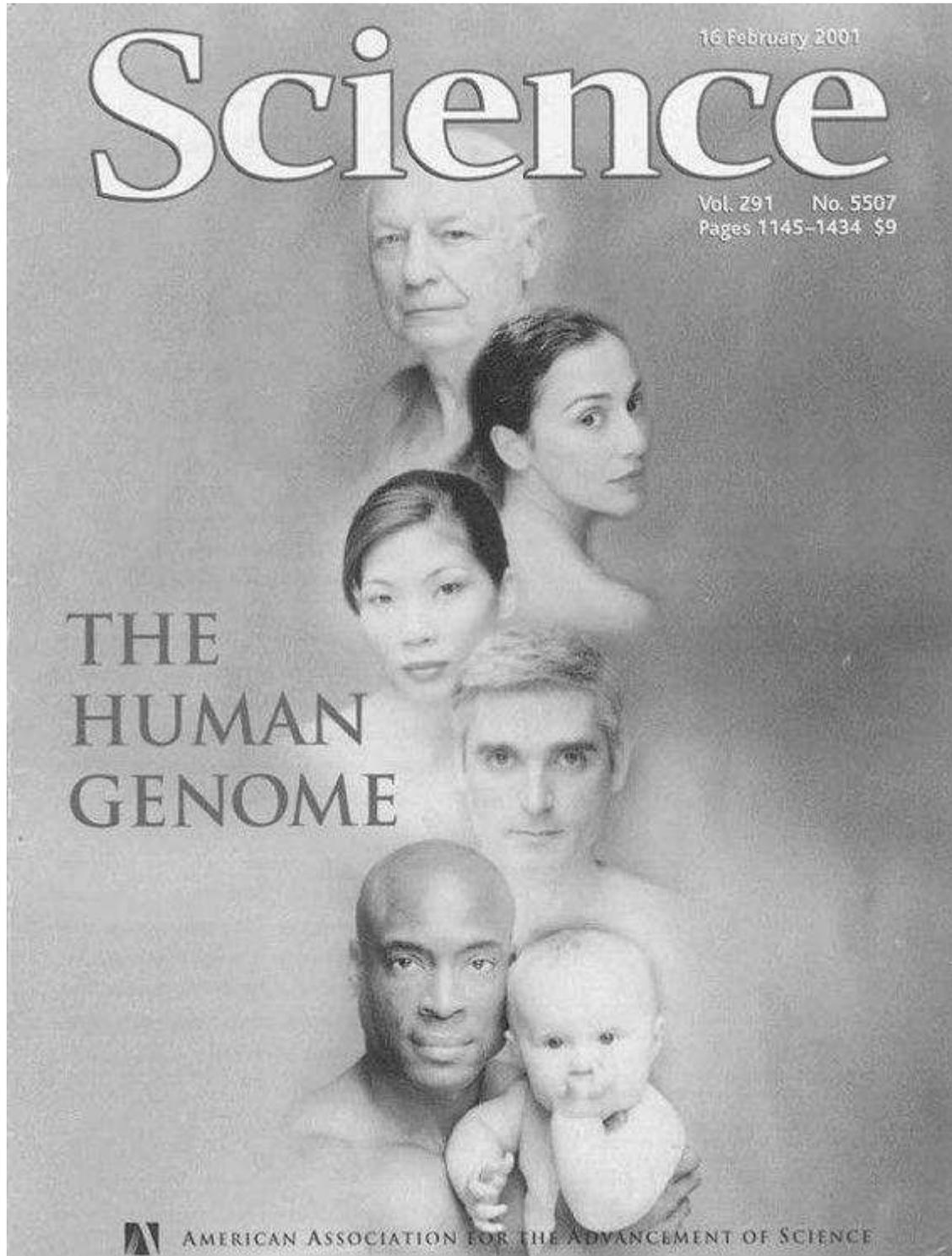


Ian Wilmut con la oveja clónica *Dolly*.



Portadas de los números de *Nature* (15 de febrero de 2001) y *Science* (16 de

febrero de 2001) en los que se presentaba la secuenciación del genoma humano.



Poco después de estos acontecimientos, en 1997, fruto también de los trabajos del grupo escocés, nació *Polly*, con la que se dio una vuelta más al tornillo de la reproducción clónica, mostrando lo que con gran probabilidad vendrá en el futuro: su clonación tuvo lugar a partir de células cultivadas y transformadas genéticamente (se les añadió un gen humano en el proceso).

Las consecuencias de todo esto —sin olvidar las posibilidades que están abriendo últimamente las denominadas «células madre»; esto es, células que no han perdido la capacidad (antes supuesta únicamente en los primeros estadios de la vida) de generar todo tipo de tejidos— son inmensas y radicales. «Con el paso de las décadas y de los siglos —han manifestado Ian Wilmut y Keith Campbell en un libro divulgativo (significativamente titulado: *La segunda creación*)—, la ciencia de la clonación y las tecnologías que de ésta se deriven afectarán a todos los aspectos de la vida humana; el tipo de cosas que la gente pueda hacer, la forma de vivir e incluso, si lo deseamos, el tipo de personas que seremos.»

Es escalofriante escuchar opiniones como estas. Opiniones, además, muy verosímiles. Al oírlas, por un lado nos embarga una sensación de ilusión ante el futuro, si no para nosotros mismos, al menos para nuestros hijos, cuyas vidas pueden ser, en numerosos aspectos, más seguras y felices. Pero por otro, el temor nos invade: sabemos demasiado bien de los excesos de que son —han sido, cuando menos— capaces los humanos (los sufrimientos que generaron las creencias eugénicas en el siglo XIX y primeras décadas del XX vienen enseguida al recuerdo).

No es, por supuesto, la primera vez que nos enfrentamos a este tipo de situación. Al fin y al cabo, en más de un sentido, la ciencia no es sino un instrumento —un magnífico instrumento, cierto es— que necesita, ineludiblemente, de los humanos (de científicos al igual que de otros que no lo son) para poner de manifiesto todas sus potencialidades. Y éstos, los humanos, son, somos, capaces de lo mejor al igual que de lo peor. Es el problema de la ambivalencia de la ciencia, una característica de esta fuente de conocimiento a la que muchos aluden con frecuencia, con la intención —parece evidente— de socavar su estatus e implantación social. No niego, no puedo negar, cuán cierto es que el conocimiento que suministra la ciencia ha sido, es, y me temo seguirá siendo, origen de abusos y sostén de desigualdades que no conducen, precisamente, a facilitar lo que constituye su fin último: erradicar la ignorancia y el desamparo. Sin embargo, piénsese en lo que sería, hoy, la vida material e intelectual de los humanos (no de todos, lo sé, pero sí de muchísimos) sin lo que la ciencia les ha dado y da. Seríamos más ignorantes, más

indefensos (al menos frente a la naturaleza y las enfermedades, seguramente también frente a otros humanos); seríamos, en definitiva, mucho más pobres en todos los sentidos. Por eso, por todos los bienes que hemos recibido de la ciencia, no deberíamos mirarla con recelo en una época como la presente, en la que de su mano se esperan profundas transformaciones que tienen como objeto preferente la propia vida. Debemos, eso sí, ser especialmente cuidadosos, estar particularmente atentos, al uso que se hace y hará de los nuevos conocimientos que se avecinan: la ciencia, no lo olvidemos, no está por encima de los humanos, no es un nuevo Dios al que debemos someternos, obedientes y sumisos. Para ello, para cumplir con esa tarea de vigilancia, no es preciso —no debería ser preciso— más que recurrir a los mecanismos de control de que se han provisto las sociedades democráticas. Pero no hay mecanismo posible de control, es imposible ejercer plenamente cualquier derecho, desde la ignorancia y el temor. Lo que yo he pretendido en las páginas precedentes es ayudar a subsanar algo de esa, ¡ay!, tan extendida ignorancia; contribuir a que se pueda comprender qué es la ciencia, algunos de sus contenidos y personajes, al igual que algunas de sus características. Evidentemente, lo he hecho desde la esperanza y la confianza para con ella, y no desde el temor o la suspicacia.

Contenido

El jardín de Newton

Introducción

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

2 El grande entre los grandes: Isaac Newton

3 Y la química se hizo ciencia: Lavoisier

4 El fin de una quimera: Charles Darwin y la teoría de la evolución

5 El sueño de Claude Bernard: la medicina como ciencia experimental en el siglo XIX

6 La institucionalización de la ciencia: química orgánica y electromagnetismo en el siglo XIX

7 Albert Einstein, espejo del siglo XX

8 Una revolución en curso: sobre moléculas y genes