

«La ciencia a través de su historia» (I), por José Manuel Sánchez Ron

«La matemática, instrumento universal de conocimiento: de Euclides a Gödel»

Con el título de *La ciencia a través de su historia*, José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, impartió en la Fundación Juan March, entre el 8 de febrero y el 2 de marzo, un «Aula abierta». La primera conferencia, de las ocho de que constaba el ciclo, y de la que se da a continuación un amplio resumen, se titulaba: *La matemática, instrumento universal de conocimiento: de Euclides a Gödel*. El resumen de las siguientes conferencias se incluirá en sucesivas entregas de este *Boletín Informativo*.

La ciencia a través de su historia es un título que expresa mi doble intención. Por un lado, ofrecer un esbozo, muy selectivo, de cuál ha sido la historia de un conjunto de procedimientos y conocimientos, que agrupamos bajo el nombre común de «ciencia», que han influido decisivamente en la historia de la humanidad. Repasar algunos momentos y personajes particularmente destacados en la historia de la ciencia universal debería ser 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, que es 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.

Pero yo no quiero hablar únicamente de historia. Pretendo utilizar la narración histórica para iluminar aspectos básicos de la ciencia. Y 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 ser-

vido los científicos para describir la Naturaleza recurriendo a sistemas lógicos.

Y para comenzar he elegido la matemática, la más básica, la más segura de las ciencias. Los procedimientos y resultados matemáticos poseen una seguridad, claridad e inevitabilidad (una vez fijados los axiomas de partida, por supuesto) tales que no se encuentran 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.

Sea o no una ciencia, de lo que no hay duda es de que la matemática desempeña un lugar central en las ciencias de la naturaleza, especialmente en la física. «Sostengo», afirmó Kant en el *Prefacio* de su *Fundamentos metafísicos de la ciencia moderna*, «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



José Manuel Sánchez Ron es catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, donde antes fue profesor titular de Física teórica; se licenció en Físicas por la Universidad Complutense y se doctoró por la Universidad de Londres. En el campo de la historia de la ciencia, su obra se ha centrado en el estudio de los siglos XIX y XX, aunque en alguna ocasión ha traspasado esas fronteras (a propósito, por ejemplo, de la relación entre la ciencia y la teología de Newton). Ha planteado sus trabajos tanto desde la perspectiva de la historia de las ideas (el caso de su libro *El origen y desarrollo de la relatividad*), como de la historia institucional y socioeconómica (*El poder de la ciencia*). Asimismo, se ha ocupado de la historia de la ciencia universal (*Marie Curie y la radiactividad* o *Como el león por sus garras*) y también de la española (con libros como *Historia del INTA* o *Cincel, martillo y piedra*). No ha descuidado tampoco el ensayo, con obras como *Diccionario de la ciencia*. Es miembro de la Comisión Asesora de la Fundación Juan March.

exagerada tiene más de un grano de verdad. 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— recu-

rre 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.

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. Esto es lo que ocurre con el hallazgo de huesos de animales (de 20 a 35.000 años de antigüedad), provistos de series de muescas, que constituyen auténticas «máquinas de contar» primitivas, con las que nuestros antepasados estaban sentando las bases para la matemática.

Con el paso del tiempo, aquellos procedimientos tan simples darían paso a otros mucho más elaborados. Hacia el IV milenio a. C., los sumerios, un pueblo que se instaló en el valle del Tigris y el Eufrates, 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 por qué 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 más se extendió, se han encontrado rastros de su utilización en épocas y escenarios no muy alejados del de los sumerios: cuando se pudo descifrar la escritura jeroglífica egipcia, se encontró que su sistema de numeración, que data de hace unos 5000 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 me-

nos otra necesidad 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, que hacia el 2000 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 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.

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 orga-

nizados de manera sistemática y racional. «Inventaron», escribió Bertrand Russell en su magistral *Historia de la filosofía occidental* (1947), «las matemáticas y la ciencia y la filosofía; escribieron por primera vez historia, en oposición a los meros anales; especularon libremente acerca de la naturaleza del mundo y los fines de la vida, sin verse encadenados por ninguna ortodoxia heredada».

Es, efectivamente, 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», conceptos de cuya creación sólo ellos fueron responsables.

La primera escuela de «filósofos-científicos» surgió en Mileto. En aquel puerto marítimo, Tales se formuló una de las preguntas filosóficas y científicas más básicas: ¿de qué están hechas las cosas? Y se contestó: «De agua»; una respuesta no tan absurda si recordamos que el cuerpo humano está formado por entre el ochenta y el noventa 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 y por la comparación de dos triángulos de sombra, 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 aquel filósofo-científico y matemático.

La nómima de filósofos-científicos griegos que con sus contribuciones in-

fluyeron, condicionándolo, en el desarrollo futuro del conocimiento es larga, muy larga, pero ninguna lista estaría completa si no incluyese un nombre: el de Euclides de Alejandría. George Sarton, uno de los padres fundadores de la historia de la ciencia moderna, escribió de él: «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». No sabemos de él, en efecto, ni las fechas de su nacimiento ni de su muerte, aunque su vida se suele situar en torno a los años 300 o 350 antes de Cristo. Se le denomina «de Alejandría», 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*. Mientras trabajaba en Alejandría, Euclides decidió compilar y sistematizar todos los conocimientos matemáticos realizados hasta entonces. Fruto de aquella decisión fueron los *Elementos de Geometría*. No hay, en mi opinión, momento superior en la historia del pensamiento griego al de la composición de los *Elementos*, 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.

Pero independientemente de sus contenidos o del hecho de que sea la primera obra matemática de importancia que ha llegado hasta nosotros, quiero señalar que los *Elementos* de Euclides ha sido seguramente el libro de texto que más influencia ha ejercido en la historia de la humanidad. La claridad de sus demostraciones dejó su impronta en generaciones y generaciones de jóvenes. Una impronta que sirvió al



Primera edición inglesa de *Elementos de Geometría* (Londres, 1570)

pensamiento en general y a, simplemente, 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.

Los *Elementos* euclidianos no pueden considerarse, a pesar de todas sus virtudes y aparentes novedades, un punto de principio. Menos aún, un punto final. En efecto, tras él la matemática fue haciéndose más poderosa y variada, haciendo que el historiador de la ciencia se sienta avergonzado ante la sola idea de intentar resumir su desarrollo. Yo pretendo únicamente resaltar algunas ideas relativas a la matemática, en sí misma y en lo que a su papel como instrumento de conocimiento se refiere. Citaré algunos nombres. Como el de Diofanto de Alejandría (entre 150 y 350 d. C.), con quien nació, alrededor de 600 años después de Euclides, una

ciencia nueva y especialmente importante: el álgebra. Un nuevo salto nos llevaría al Renacimiento, a personajes como Niccolò Tartaglia (1501?-1577), que enseñó matemáticas en Verona y Venecia, tradujo a Euclides al italiano y a Arquímedes al latín, descubriendo (1535), entre otras aportaciones, un método que hacía posible resolver ecuaciones cúbicas.

Tres gigantes

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 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.

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 al análisis, en lo que se vendría a denominar mecánica *analítica*. Se la llamó *analítica* porque sus principales carac-

terísticas eran la manipulación formal de ecuaciones, el empleo de un método formal, o algebraico, esto es, analítico. Frente al enfoque sintético 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 otros, Cauchy, Hamilton, Jacobi, Poisson o Poincaré.

Nuevos mundos matemáticos

Otro avance fundamental, éste ya durante el siglo XIX, es el de la teoría de grupos. Y ahí el nombre más destacado es el del francés Evariste 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 algebraica 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.

Aunque en una discusión más completa no podría olvidarse a Bernardus Bolzano (1781-1848), autor de un tratado sobre *Paradojas del infinito*, fue realmente Georg Cantor (1845-1918) quien, a fines del siglo XIX, se dio cuenta de que hay, por decirlo de alguna manera, muchos infinitos, sentando las bases de la teoría de los números transfinitos. Se trataba 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 ha instalado de manera tan profunda en el cuerpo de la matemática de nuestro siglo.

En 1899, en el umbral del nuevo siglo, David Hilbert publicaba un libro, *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 han caracterizado 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 de Luitzen Brouwer, y el *logicismo*, cuya manifestación más señalada son los tres tomos de Bertrand Russell y Alfred North Whitehead, *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 prueba e inferencia se podrían formular dentro del contexto de la lógica.

No obstante, 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», escribió en 1924, «se aceptan debido a que se observa que algunas de sus consecuencias lógicas son ciertas».

Alteración de las creencias más firmes: Kurt Gödel

En agosto de 1900 se celebró en París el Segundo Congreso Internacional de Matemáticos, uno de cuyos momentos culminantes fue la conferencia pronunciada por Hilbert con el título «Sobre los problemas futuros de las Matemáticas». En aquella ocasión, Hilbert enumeró 23 problemas sin resolver, pero antes de analizarlos manifestó su convicción, que «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». Pero resultó que no fue, no es, ni lo uno ni lo otro, aunque si somos cuidadosos al leer el escrito de Hilbert, veremos que el desarrollo al que me voy a referir no negaba —todo lo contrario, reafirmaba— algo que Hilbert defendía: «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 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: «Sobre sentencias formalmente indecidibles de *Principia Mathematica* y sistemas afines». En él



Kurt Gödel

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.

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.

Pero el resultado de Gödel también muestra lo ajustado de la opinión de Hilbert sobre que las cuestiones planteadas por nuestro entendimiento pueden ser resueltas por él mismo. De hecho, en una carta que el propio Gödel 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 comple-

tamente», 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.

Ideas muy similares expresó hace unos años el físico y matemático británico Roger Penrose en un libro que fue un éxito de ventas: *La nueva mente del emperador* (1989). Penrose piensa que existen enunciados que podemos ver que son seguros, aunque como consecuencia de los resultados obtenidos por Gödel en 1931 no podamos asignarles la categoría de «verdaderos». Y de ahí concluye, platónicamente: «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 éstas que me recuerdan a otras que escribió Arthur Schopenhauer 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».

En cualquier caso, los resultados de Gödel, esa pérdida de certidumbre, aparente al menos, 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 $\ln 2 / \ln 3$, 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 caóticos, 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. □

«*La ciencia a través de su historia*» (II),
por José Manuel Sánchez Ron

«El grande entre los grandes: Isaac Newton»

El grande entre los grandes: Isaac Newton se titulaba la segunda conferencia que José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, dio el pasado 10 de febrero, dentro del «Aula Abierta» que con el título de *La ciencia a través de su historia* impartió en ocho conferencias, entre el 8 de febrero y el 12 de marzo. De la primera conferencia se dio un amplio resumen en el *Boletín Informativo* del mes de mayo y de las siguientes se incluirán resúmenes en sucesivas entregas.

En uno de los ensayos más vibrantes y apasionados que he leído a lo largo de mi vida, el economista John Maynard Keynes se refería a Isaac Newton como «el último de los magos, el último de los babilonios y de los sumerios; la última de las grandes mentes que contempló al mundo visible e intelectual con los mismos ojos de 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, tocando la esencia del pensamiento del catedrático lucasiano de Cambridge.

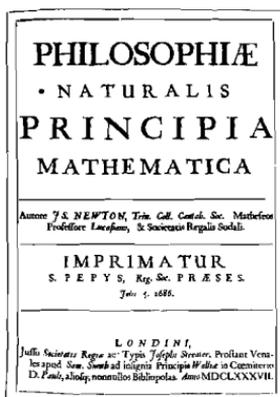
Este elemento de verdad se aprecia

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 transmitidos 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».

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 deforma-

ciones 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 mucho 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 otras ideas religiosas constituía uno de los temas favoritos para los historiadores de los siglos XVII y XVIII que se ocupaban de las primeras épocas de la humanidad.

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 los *Principia* una serie de escolios con referencias a esa supuesta sabiduría antigua, retrotrayéndose 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 abordaba 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 poste-



riores 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 se-

tenta 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, es decir, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el principio 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».

¿Por qué un Newton oculto?

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». 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 o coeterno con Dios. El que se hubiese perdido la creencia en un único y todopoderoso Dios había sido, argumentaba, debido muy especialmente a San Atanasio (296-373).

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*. 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 (que había sostenido que Cristo, creado y no eterno, estaba subordinado a Dios, frente a lo mantenido por Atanasio de que Cristo es de la misma sustancia que el Padre), 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, 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 opiniones heréticas constituían motivos de expulsión. El que no aceptase el dogma trinitario le ponía, por tanto, en una situación muy difícil. No aceptaba una creencia central de su Iglesia 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.

La Revolución Científica

Pero ya es hora de pasar a hablar de Newton el científico, del grande entre los grandes de la ciencia. No es posible, sin embargo, hablar de él en tal categoría sin referirse a un momento especial-



Sir Isaac Newton

mente 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, 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*, de Andreas Vesalio (1514-1564), y *De revolutionibus orbium caelestium*, de Nicolás Copérnico (1473-1543). A pesar de que ninguno de los dos logró superar completamente la herencia recibida, se puede decir que ambos libros fueron revolucionarios, o, cuando menos, que constituyeron los cimientos de futuros cambios revolucionarios, en la anatomía, 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.

El libro de Copérnico se puede considerar como una obra de filosofía natural y, sobre todo, de matemática aplicada, que no incluye observaciones astronómicas nuevas, ni aspiraba a que sus predicciones fueran de una exactitud sin precedentes. Lo que hizo Copérnico fue explotar la idea de que era el Sol y

no la Tierra el que se encontraba, inmóvil, en el centro del universo. Pero el abandono de la visión cosmogónica en la que la Tierra ocupaba el centro del Universo, y de la tan estrechamente ligada a ella, física aristotélica, por el sistema heliocéntrico presentaba problemas. De no haber sido por Johannes Kepler (1571-1630) y Galileo Galilei (1564-1642), el sistema copernicano habría contribuido a perpetuar el de Ptolomeo en una forma un poco más compleja pero más grata a las mentes filosóficas. 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.

Los descubrimientos, las observaciones y los desarrollos teóricos realizados por Galileo, junto a los producidos por Kepler, que mostró que las trayectorias seguidas por los planetas no eran circunferencias sino elipses, y a las contribuciones de René Descartes (1596-1650), a quien se debe la ley de la inercia (la primera ley del movimiento en la denominada 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 asimismo parte esencial de la Revolución Científica. Me estoy refiriendo a la aparición de nuevas instituciones que promovieron la investigación científica. 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. Sociedades como la Royal Society de Londres (fundada en 1660) o la Académie des Sciences de París (1666).

Física y matemáticas

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. La carrera universitaria, y a la postre científica también, del joven Isaac comenzó en 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. Un momento culminante de su estancia en Cambridge fue cuando, en 1669, obtuvo la cátedra lucasiana, 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.

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. La física 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 más grandes –seguramente 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 euclideo 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.

Por lo que sabemos, el 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* (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 1670-71 en 1736.

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



«Júpiter entronizado», dibujo realizado por Newton y que apareció en la copia del libro de alquimia de John de Monte Snyder. *Metamorphosis of the Planets*, que el propio Newton transcribió de una fuente inglesa desconocida.

idénticos, lo que no quiere decir que sean igualmente recomendables. Todo esto dio lugar a una agria polémica que surgió entre ambos pensadores y sus respectivos seguidores a propósito de la prioridad en la invención, y que destiló enormes dosis de maldad, vanidad y mezquindad. En cualquier caso, y en un sentido estrictamente cronológico, 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.

Está claro que Newton fue el primero en descubrir el cálculo diferencial. Menos claro es cuál fue la deuda de Leibniz con 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 Bovier de Fontenelle, 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: 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 ho-

ra de manipular formalmente ecuaciones; menos, en definitiva, abstracta. El cálculo infinitesimal 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 afinó sobre todo en el continente europeo, no en las Islas Británicas, en donde su entrada tardó en producirse, debido, precisamente, al prestigio de Newton. Gracias a William Whewell esta situación comenzaría a cambiar. En su influyente tratado *Philosophy of the Inductive Sciences* (1840), Whewell 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 un familiar uso 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».

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 comenzó a interesar-

se por los fenómenos ópticos. No fue, sin embargo, hasta 1666 cuando intensificó sus esfuerzos, recurriendo a un instrumento simple pero en sus manos extremadamente precioso: un prisma de vidrio.

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 superaba a los hasta entonces en uso. 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 11 de enero de 1672.

El anuncio realizado en 1672, a través de las páginas 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. Entró en conflicto, en particular, con Robert Hooke, el conservador («curator») de la Royal Society, magnífico científico él mismo. Aquel agrio choque retraería aun 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 el porqué tardó 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.

Pero ya es hora de referirse a su obra suprema: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. Lo primero que hay que decir es que se trata de 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 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 (de Newton, aunque también de otros, como Galileo y Descartes, a quienes se debe versiones de las dos primeras).

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 hasta el libro tercero, *Sobre el sistema del mundo*. 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 que la caída de los cuerpos en las proximidades de la superficie terrestre eran la misma, y una sencilla expresión matemática, la del inverso del cuadrado de la distancia, bastaba para explicar sus aspectos más fundamentales.

Éstas 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 impe-

rio 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. Que consintiese en recurrir a semejante contraintuitivo concepto es una muestra más de la grandeza de Newton como científico.

Existe otro aspecto de los *Principia* que conviene destacar: el de que, como ya apunté, constituye el ejemplo supremo de lo que puede denominarse el «método newtoniano». Y es que Newton nos legó en él —en otras obras, pero sobre todo en él— 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 la matemática se encarnó verdaderamente en la esencia de la teoría física.

Ambición suprema

Honramos a Isaac Newton como un gran científico, para algunos el más grande de la historia. 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 incansables en los que pugnó por comprender los mensajes divinos, no son sino testimonio de cuánto se rebeló y cuánto deseó. □

«La ciencia a través de su historia» (III),
por José Manuel Sánchez Ron

«Y la química se hizo ciencia: de Lavoisier a Kekulé»

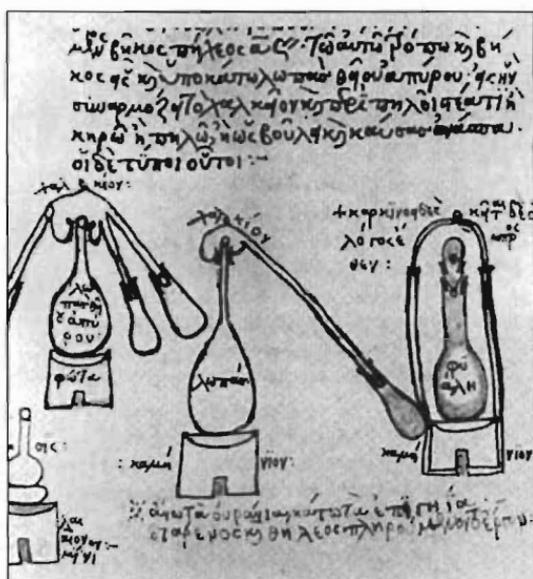
Y la química se hizo ciencia: de Lavoisier a Kekulé se titulaba la tercera conferencia que José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, dio el pasado 15 de febrero, dentro del «Aula Abierta» que con el título de *La ciencia a través de su historia* impartió en ocho conferencias, entre el 8 de febrero y el 12 de marzo. De las dos primeras conferencias se ha ofrecido un amplio resumen en el *Boletín Informativo* del mes de mayo y en el de junio-julio, respectivamente, y de las siguientes se incluirán resúmenes en sucesivas entregas.

Con anterioridad a los alrededores de mediados del siglo XVIII, la química no podía considerarse una disciplina científica independiente, o, dicho de otra manera, probablemente más conveniente, 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 combinar-

se 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, incluso, aunque en un grado menor, que los de la física y la astronomía: 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 los que, en diferentes escenarios espacio-temporales, contribuyeron griegos, romanos, árabes y los europeos medievales y renacentistas. También, por supuesto, a los saberes alquímicos.

La alquimia es un arte difícil de definir. Una definición que a mí me gusta es la que dio en 1970 E. J.



Instrumento griego alquímico (siglo III a. C.)

Sheppard, en la que se recoge su dimensión de empresa filosófico-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 Teophrastus (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, Paracelso estaba interesado en combatir las enfermedades. Cómo lo hacía, cuál era su concepción de la medicina, es algo complicado de establecer, pero en tal concepción desempeñaba un papel importante el arte alquímico. 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 XVII y del XVIII, como Hermann Boerhaave (1668-1738), Georg Ernst Stahl (c. 1660-1743) o Joseph Black (1728-1799).

Hay que mencionar, además, a Isaac Newton, quien dedicó intensos esfuerzos a la investigación alquímica, hasta el punto de que es considerado como uno de los alquimistas más notables de la historia. Newton se vio atraí-



Lavoisier

do por los estudios alquímicos a finales de la década de 1660. 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 el Cristo de la Cristiandad:

ambos eran, al fin y al cabo, agentes de perfección y redención.

Lo que 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 planteasen 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).

Pero entremos en el siglo XVIII, en la Ilustración (término introducido por Kant), en el Siglo de las Luces (el nombre preferido por los franceses), en, en definitiva, el siglo que terminaría alumbrando una nueva revolución científica, que haría de la química una ciencia comparable a las demás. Es, en este sentido, el «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.

A lo largo de las tres primeras cuartas partes del Ochocientos, los químicos ampliaron el número de sustancias objeto de manipulación en el laborato-

rio, mejoraron los métodos para fabricar muchos productos de interés comercial y lograron manejar e identificar otros «aires» distintos del aire común o atmosférico. Sin embargo, durante aquel período no consiguieron crear 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. G. F. Venel, 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.

Los deseos de Venel no tardarían en cumplirse: Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794), se llamaría el químico «hábil, entusiasta y atrevido» que reclamó Venel. Lavoisier compendia toda la grandeza y tragedia de la Ilustración. Hijo de un próspero abogado de París, estudió como su padre Derecho, aunque desde el primer momento mostró su interés por la ciencia, cuyos estudios compaginó con los legales. 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, cuyo nombre podríamos traducir como Compañía General de Arrendatarios.

Un buen ilustrado

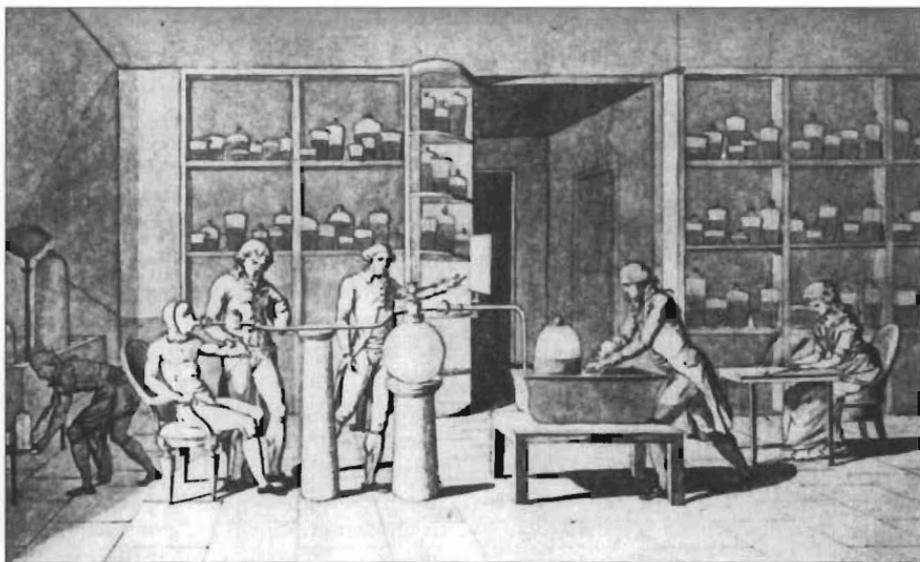
Como buen ilustrado, Lavoisier no fue nunca ajeno a la actividad pública, un interés que en su caso se manifestó,

al margen de su actividad como *fermier* (arrendatario), de al menos dos formas: una, con trabajos en lo que hoy denominaríamos «ciencia aplicada»; otra, a través de los cargos públicos que ocupó. En los años finales de la década de los sesenta, 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 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 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 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» (Lavoisier, *Oeuvres* 2).

Lavoisier pesó cuidadosamente 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



Lavoisier en su laboratorio. (Dibujo de Mme. Lavoisier sobre experiencias con la respiración humana).

transcurría el tiempo, se formaba un residuo terroso. Una vez retirado el aparato del fuego, anotó de nuevo su peso 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.

La revolución química de Lavoisier

En la revolución química asociada con el nombre de Lavoisier el oxígeno desempeña 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 y específica sustancia llamada flogisto, nombre que le dio su creador, Georg Stahl (c. 1660-1743). Igualmente, para que un metal llegara a calcinarse, era indispensable que el flogisto formara parte de su composición. En estas dos operaciones, 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. Según esta teoría, 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 investigacio-

nes 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.

El oxígeno

En octubre de 1774, Joseph Priestley (1733-1804), uno de los químicos que más contribuyeron al conocimiento de «aires» distintos al aire común, 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 procesos que implicaban la absorción o combinación de un nuevo elemento, un aire al que bautizaría con el nombre de oxígeno. A partir de entonces, el aire común o atmosférico no era ya una sustancia simple, sino que se componía 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 «ázoote» (nitrógeno), que no.

Tampoco el agua, el más universal componente de la naturaleza (y de no-

sotros mismos, cerca del 80 por ciento de nuestros cuerpos está formado por ella) superó inmune la frontera de la vieja a la nueva química. Al igual que el aire atmosférico, dejó de ser considerada como una sustancia simple. «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».

La nueva nomenclatura

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 aceite de vitriolo, crema de tártaro, manteca de antimonio, azafrán de marte, sal amarga o azúcar de saturno, que recordaban más al lenguaje culinario, si no mitológico, que a una ciencia. La asociación, en 1787, de Lavoisier con Guyton de Morveau, Claude-Louis Berthollet y Antoine-François de Fourcroy para compilar un *Méthode de nomenclature chimique*, 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.

Las normas introducidas en la nueva nomenclatura química fueron un ejercicio de lógica y sentido común. Entre sus supuestos metodológicos fi-

guran los de 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. Esto es, «oxí-geno» porque se trataba de un «generador de ácido»; «ázote», 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» 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 sorprendentemente, el equipo editorial de la revista estaba formado por defensores de la nueva química: Guyton y Lavoisier, como editores principales, y Monge, Berthollet, Fourcroy, Dietrich y Hassenfratz.

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. El *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 supuesto, el *Tratado elemental de química* de Lavoisier.

La toma de La Bastilla

El *Traité élémentaire de chimie* vio la luz en 1789, el mismo año en que, el 14 de julio, las masas parisinas tomaron la Bastilla, poniendo en marcha el proceso de 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. De nada le sirvió todo su prestigio, todo su poder, aunque en una nota que escribió durante los meses que pasó en prisión, defendió con orgullo su carrera como científico y ciudadano.

Seguramente creía lo que escribió. Que había amado la libertad y la igualdad siempre. Sólo que la libertad e igualdad del *férmier general* no era, 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 tomaron 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 28 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», dicen que manifestó Lorange. Un final que no impidió —no lo impide nunca— que la ciencia a la que se había dedicado con pasión continuara progresando. Es difícil resumir la era que se abrió después de Lavoisier. He optado por referirme al químico alemán Friedrich August Kekulé von Stradonitz (1829-1896).

Kekulé y la molécula de benceno

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. ¿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 los bloques fundamentales —elementos químicos— constituyentes. 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.

Lo que hizo Kekulé es postular que los átomos de carbono se podían combinar entre sí formando cadenas, esto es, formar estructuras cerradas, cuando hasta entonces nadie había pensado que las combinaciones químicas pudiesen ser sino estructuras lineales. 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».

Entonces sí que se abrió otro mundo a la química. Podría incluso decirse que la arquitectura entró en la química. En palabras del historiador William Brock: «Kekulé transformó la química como después Picasso transformó el arte». □



August Kekulé

«La ciencia a través de su historia» (IV),
por José Manuel Sánchez Ron

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

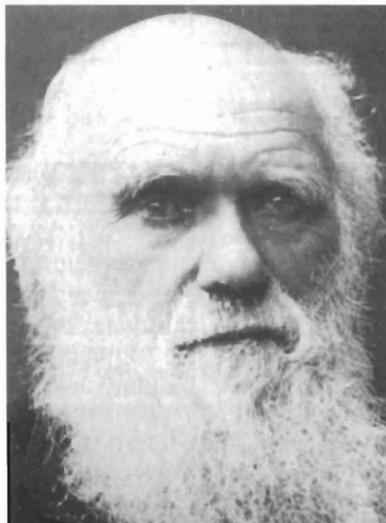
El fin de una quimera: Charles Darwin y la teoría de la evolución se titulaba la cuarta conferencia que José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, dio el pasado 17 de febrero, dentro del «Aula abierta» que con el título de *La ciencia a través de su historia* impartió en ocho conferencias, entre el 8 de febrero y el 12 de marzo. De las tres primeras conferencias se ha ofrecido un amplio resumen en los *Boletines Informativos* de los meses de mayo, junio-julio y agosto-septiembre, respectivamente, y de las siguientes se incluirán resúmenes en sucesivas entregas.

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 espe-

cies, 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 todas las especies.

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. Charles Darwin nació el 12 de febrero de 1809, el segundo hijo varón del médico Robert Darwin y Susanath, hija mayor de Josiah Wedgwood, el



Charles Darwin en 1881

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, médico próspero, además de poeta, filósofo y botánico, fue también uno de los precursores de la teoría evolucionista. En 1825, Darwin se matriculó en la Universidad de Edimburgo, con la idea de estudiar medicina. En 1827 abandonó tal 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.

El viaje en el «Beagle» y las Galápagos

En Cambridge, sin embargo, Darwin profundizó en los intereses, hasta entonces puramente *amateurs*, que había desarrollado en el campo de las ciencias naturales. Ahora bien, nada más finalizar sus estudios universitarios, encontró la oportunidad ideal de avanzar en esos intereses: fue aceptado como naturalista en el barco «HMS Beagle», que zarpó del puerto de Portsmouth el 27 de diciembre de 1831. Cuando regresó a Inglaterra, cinco años después, era una persona muy distinta, humana y, sobre todo, intelectualmente.

Un momento central del viaje de Darwin en el «Beagle» 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 *Journal of Researches into the Geology and Natural History of the Various Countries Visited by H. M. S. Beagle from 1832 to 1836* (1839) (libro vertido al castellano bajo el título de *Viaje de un naturalis-*

ta alrededor del mundo), en donde narró sus experiencias durante aquel viaje, encontramos pasajes que muestran que, efectivamente, en las Galápagos Darwin observó detalles que le serían de gran utilidad más adelante.

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 mundo, 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 las que el peso de las ideas recibidas no era una carga que agostaba el surgimiento de teorías diferentes o enfoques críticos.

El reverendo John Stevens Henslow, 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 la obra capital de Lyell, *Principles of Geology*, recientemente publicada (1830). Como confesó en su *Autobiografía* (que compuso en 1876 y cuya primera edición —incompleta— data de 1887), 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 *amateur* (y suegro de Lyell), Leonard Horner, Darwin había manifestado que «siempre tengo la sensación de

que mis libros salen a medias del cerebro de Lyell».

Regreso a Inglaterra

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 daba cuenta de los resultados de la expedición. Un acontecimiento importante en su vida fue su matrimonio. Fue en enero de 1839 cuando Charles se casó con Emma Wedgwood, 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 extremadamente armónica y gratificante.

Hay un aspecto que conviene reseñar y que tiene que ver con la cuestión de los conflictos emocionales que se debieron 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 las que él mismo había sido educado, y de las que participó. 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. Un buen número de documentos que han sobrevivido 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 *Sobre el origen de las especies*.

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 lo encontró en las ideas del economista Thomas Robert Malthus.

Recurriendo de nuevo a su *Autobiografía*, encontramos 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 en seguida 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 una manera algo más detallada, lo que sucedió fue lo siguiente: a mediados de marzo de 1837, aparentemente como resultado de las conclusiones a que llegó con respecto al significado de las identificaciones que el ornitólogo y artista John Gould y Richard Owen, conservador del Museo Hunteriano del Royal College of Surgeons de Londres y *Hunterian professor* en esta institución, realizaron de los especímenes de los pájaros y mamíferos fósiles que había traído de la expedición con el «Beagle», Darwin llegó a la convicción de que las especies eran mutables. Se puso entonces a reunir datos y a tomar notas en todas las direcciones que pensó le podían conducir a explicar el porqué las especies llegaron a ser lo que son. Entre abril de 1837 y septiembre de 1838, el *An Essay on the Principle of Population* (1826) de Malthus le proporcionó un mecanismo causal clave para explicar el cambio de especies.

Principio de la selección natural

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 esta-

ba preparado para escribir un esbozo de su teoría de las especies, basada en un principio al que denominó «selección natural». Sin embargo, todavía pasarían 17 años hasta que *El origen de las especies* fuese publicado, aunque el esbozo de 1842 —que pidió a su esposa se encargase de publicar si moría antes de escribir la gran obra que planeaba— coincide en gran medida con la versión 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 Tierra. En este punto reside precisamente su singularidad: algunos antes que él pensaron en la existencia de procesos evolutivos, pero únicamente propusieron mecanismos imposibles, sin prácticamente datos que los sustentaran sistemáticamente, mientras que Darwin disponía de un mecanismo plausible y de una enorme cantidad de datos que lo apoyaba.

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 po-

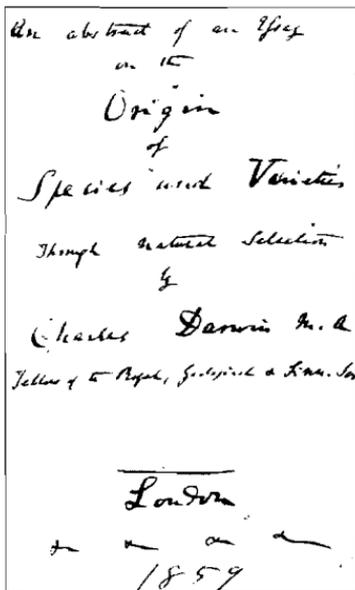
drían flotar las semillas en agua salada y después de germinar, si las semillas y los huevos pequeños podrían ser transportados en el barro incrustado en las patas de los pájaros, o qué semillas podrían atravesar el sistema digestivo de un ave y sobrevivir.

Darwin y Wallace

La idea de la selección natural no fue exclusiva de Darwin. Alfred Russel Wallace (1823-1913) llegó a la misma conclusión, y la puso

en circulación (restringida) antes de que Darwin —que fue informado por Wallace el 12 de junio de 1858— pensase en publicar sus pensamientos. Natural de Usk, una pequeña localidad inglesa próxima a la frontera con Gales, y de origen humilde, Wallace trabajó, antes de cumplir 30 años, 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 *Travels on the Amazonas* (1869) y *The Malay Archipelago* (1872). 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



Título provisional de *El origen de las especies*, en una carta de Darwin a Lyell, en 1859

de los que evolucionaron en Australia.

Ya en 1855, Wallace publicó su primer artículo teórico («On the law which has regulated the introduction of new species») 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. Sin embargo, en febrero de 1858, mientras soportaba un ataque de fiebre en la isla de Gilolo (hoy Halmahera) próxima a Nueva Guinea, Wallace llegó esencialmente a la misma idea de la selección natural que comúnmente se adjudica en exclusiva a Darwin. Y, es curioso (o significativo), utilizando algunos de los mismos elementos a los que recurrió Darwin.

Cuando Darwin recibió el manuscrito de Wallace, consultó inmediatamente con Lyell (quien ya le había advertido en el pasado que Wallace podía adelantarsele) y con su íntimo amigo el botánico Joseph Dalton Hooker. Ambos arreglaron todo para que el artículo de Wallace se publicara (en los *Proceedings* de la Linnean Society) junto con algunos de los primeros borradores de Darwin. 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 su libro sobre la evolución: *Darwinism: An Exposition of the Theory of Natural Selection with Some of its Applications* (1889). Y Darwin reconoció estos hechos.

On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life, en el que Darwin presentó finalmente sus ideas, es uno de los libros más famosos y paradigmáticos de la historia del pensamiento universal; su

aparición tuvo lugar el 24 de noviembre de 1859. El éxito de la obra fue inmediato (la primera edición –1.200 ejemplares– se agotó el mismo día en que se puso a la venta). Y pronto fue 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* (Madrid, 1877).

El término «evolución», en la actualidad asociado a la teoría de Darwin, no aparecía en la primera edición de *El origen de las especies*. Darwin lo empleó por primera vez en su libro *The Descent of Man* (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.

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, y el biólogo Thomas Henry Huxley, que ha pasado a la historia de la ciencia, junto a sus distinguidas contribuciones a las ciencias naturales, como el campeón en la defensa de la teoría de la evolución.

Está claro que en la recepción de la teoría de la evolución darwiniana se

mezclaron consideraciones de índole política y religiosa. Se explica así el que aunque nadie, con algún conocimiento científico, duda ya de que las especies han evolucionado a lo largo del tiempo, todavía hoy existen 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 en los últimos años.

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. Uno de los portavoces destacados del darwinismo social, William Graham Sumner, 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.

Una teoría incompleta

En general, la ciencia darwiniana fue utilizada con parecido fervor por programas políticos diferentes. Así, Karl Marx 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 capital, *Das Kapital* (1867), pero éste nunca la leyó (sus páginas no fueron cortadas). Tanto capitalistas como comunistas, como vemos, se consideraban darwinistas sociales.

Pero 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, no abundaron los biólogos que se tomaron en serio el *mecanismo* darwiniano, optando muchos por diferentes ideas antidarwinianas, o relegando a 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.

La pieza que le faltaba a Darwin era, en otras palabras, la genética. De hecho, pudo haber dispuesto de la esencia de ella, ya que el artículo fundacional del monje agustino Gregor Mendel, en el que formuló los principios básicos de la teoría de la herencia, a la que llegó a través de los experimentos que realizó con guisantes en el jardín de su monasterio, en lo que es hoy Brno (República Checa), fue publicado en 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 y el alemán Carl Correns, el autor de *El origen de las especies* ya había muerto (falleció el 19 de abril de 1882). □

«*La ciencia a través de su historia*» (V),
por José Manuel Sánchez Ron

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

El sueño de Claude Bernard: la medicina como ciencia experimental en el siglo XIX se titulaba la quinta conferencia que José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, dio el pasado 22 de febrero, dentro del «Aula abierta» que con el título de *La ciencia a través de su historia* impartió en ocho conferencias, entre el 8 de febrero y el 12 de marzo. De las cuatro conferencias anteriores se ha ofrecido un amplio resumen en los *Boletines Informativos* de los meses de mayo, junio-julio, agosto-septiembre y octubre, respectivamente, y de las siguientes se incluirán extractos en sucesivas entregas.

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 euclídeana o de la combinación química; que no saben, incluso, que existen materias como la física, la matemática o la química; pero difícilmente encontraremos a 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. La medicina nos ha acompañado desde tiempos inmemoriales. En el denominado «Papiro Edwin Smith», datado como perteneciente al siglo XVII a. de C., esto es, al Imperio Antiguo egipcio (es, en realidad, copia de un texto anterior perdido), encontramos auténticas recetas médicas. 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.

En los siguientes mil seiscientos años después de Galeno, la medicina avanzaría considerablemente, en alguna ocasión con descubrimientos tan notables como el realizado por William Harvey de la circulación mayor de la sangre (1628), 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, continuaron 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.

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 Claude Bernard en su última obra, *Leçons sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux* (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, señalaba en su *Précis élémentaire de physiologie* el retraso en que se encontraba su disciplina.

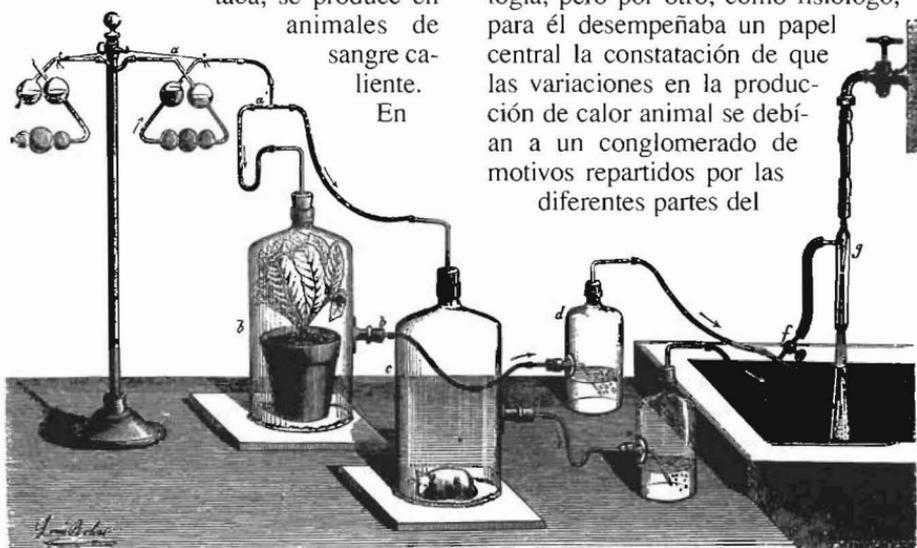
Por entonces, sin embargo, ya habían comenzado a fructificar algunas semillas plantadas antes. Una de esas semillas, la más importante para la cuestión que nos ocupa, fue la teoría de la respiración de Lavoisier y Laplace. Según esta teoría, la respiración es una forma de combustión en la que carbono y oxígeno se oxidan convirtiéndose en ácido carbónico y agua, desprendiendo calor, el mismo calor que, se argumentaba, se produce en

animales de sangre caliente.

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. En la práctica, no obstante, su teoría dejó abiertos importantes problemas que ocuparon durante el siguiente medio siglo a algunos científicos, especialmente químicos parisinos, quienes recurrieron en sus experimentos a versiones mejoradas de los instrumentos utilizados por Lavoisier, instrumentos como calorímetros, cámaras neumáticas y gasómetros.

No sólo fueron franceses los que se interesaron por la teoría de la combustión lavoisieriana. En Alemania, Johannes Müller (1801-1858), el maestro de una generación de científicos que cambiarían la situación de la fisiología, apreciaba la contribución de esa química a la fisiología, pero también veía problemas. 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



Experimento diseñado por Bernard para estudiar la respiración de plantas y animales.

cuerpo. Al contrario que en los objetos cuyo estudio había hecho avanzar a la química o a la física hasta los niveles en que se encontraba entonces, en los protagonistas de la fisiología la localización precisa era muy complicada.

A pesar de reconocer el valor que para la fisiología tenía la química, Müller se movía todavía 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 *Handbuch der Physiologie*, en donde podemos leer: «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 debe extrañar la ambivalencia en la que se movía. Los primeros momentos de una nueva era –y el siglo XIX fue para la medicina 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.

La medicina científica

Por el complejo universo de la fisiología de la primera mitad del siglo XIX circularon todo tipo de ideas y problemas. 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. 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.

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 ciencia de los siglos XIX y XX, el principio de conservación de la energía, formulado en su forma más general por Herman von Helmholtz (1821-1894) en 1847. Este médico militar alemán estableció 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 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 un equivalente mecánico del calor que incorporó en su gran memoria de 1847, *Über die Erhaltung der Kraft* («Sobre la conservación de la fuerza», «energía» para nosotros).

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 nosotros 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 espectacu-

lar 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

Claude Bernard fue 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.

Bernard nació en 1813, en Saint-Julien, cerca de Villefranche, Beaujolais. En 1834 llegó a París, 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 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: *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (1865). Consciente de la necesidad de sistematizar



«Claude Bernard rodeado de sus discípulos». Cuadro de Lhermitte.

los procedimientos experimentales que, con una base fisiológica, 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.

Un «Prefacio» únicamente, pero un prefacio que se convirtió en un clásico de la ciencia, que todavía hoy puede —yo me atrevo a decir que debería— ser leído con provecho. La visión que Bernard propugnaba era respetuosa con la estructura tradicional de los saberes médicos, aunque él la 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 es-

tas 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».

El reconocimiento a la obra de Bernard fue tal que 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 científicos

Sería 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. Entre los «otros mundos» científicos de la medicina del XIX están aquellos relativos al conocimiento de la estructura microscópica de los seres vivos; en primer lugar, al 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. El microscopio, y a través de él la teoría celular, constituyeron elementos que impulsaron, de muy diversas formas, desarrollos que modificaron sustancialmente apartados muy diversos, apartados todos propios del ámbito de

la ciencia, pero algunos con implicaciones «sociales» de extraordinario calado.

La identificación, en 1888, de la neurona como unidad discreta básica del sistema nervioso, logro debido a Santiago Ramón y Cajal, es uno de esos avances. Repasando la *Patología celular* de Rudolph Virchow (1821-1902), encontramos 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.

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 estos 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 científica*, podríamos decir. Avances como los llevados a cabo por el dentista estadounidense Horace Wells, que en diciembre de 1844 utilizó éter como anestésico para extraerse él mismo una de sus muelas; el debido a John Collins Warren, ayudado como anestesista por el dentista William Thomas Morton, 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, 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, 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).

La situación cambiaría en lo referente a la naturaleza de las infecciones y muchas enfermedades gracias a la obra de Robert Koch (1843-1910), y también de Louis Pasteur (1822-1895), quien sugirió en 1865 que existían microorganismos en el aire. Tras haber llevado a cabo importantes investigaciones sobre el ántrax (en 1876 describió su etiología y patología), Koch 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», «conunción» después— responsable entonces de la muerte de millones de personas cada año. Un año más tarde, identificaba el bacilo del cólera.

Gracias a las investigaciones de Koch y de los que vinieron tras él, 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. 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 se fue extendiendo.

Y en este punto es donde aparece, en toda su grandeza, la figura de Louis Pasteur. Químico —no médico— y microbiólogo, fundador de la estereoquímica, impulsor de la microbiología y la inmunología, defensor de la teoría mi-

crobiana del origen de las enfermedades, introductor —en conexión con su concepción biológica de la fermentación como resultado de la actividad de organismos vivos— de las técnicas de esterilización (que terminaron denominándose «pasteurización»), los trabajos de Pasteur afectaron directa y profundamente a áreas centrales de la salud pública.

Sus primeros estudios en el campo de la rabia 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 9 años 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 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 meditación. Un momento que representa de manera magnífica los logros de un siglo verdaderamente maravilloso para la medicina científica, una medicina que cambió entonces de una forma tan absoluta y radical, que habría sido considerada increíble cuando la nueva centuria des-puntaba. De un siglo, en definitiva, al que todavía debemos, cien años después, mucho de nuestro bienestar como seres vivos que tarde o temprano tienen que enfrentarse con la enfermedad. □

«La ciencia a través de su historia» (VI),
por José Manuel Sánchez Ron

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

«La institucionalización de la ciencia: química orgánica y electromagnetismo en el siglo XIX» se titulaba la sexta conferencia que José Manuel Sánchez Ron, catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid, dio el pasado 24 de febrero en la Fundación Juan March, dentro del «Aula abierta» que con el título de *La ciencia a través de su historia* impartió en ocho sesiones, entre el 8 de febrero y el 12 de marzo. De las cinco conferencias anteriores se ha ofrecido un amplio resumen en los *Boletines Informativos* de los meses de mayo, junio-julio, agosto-septiembre, octubre y noviembre, respectivamente, y de las dos restantes se incluirán extractos en sucesivas entregas.

A lo largo del siglo XIX la ciencia se institucionalizó; esto es, pasó a ser una actividad valorada por la sociedad, por los Gobiernos y sectores industriales y económicos. 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. Ni siquiera el que disciplinas científicas formasen parte de los programas de estudios 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».

Centrándonos en el caso germano, tenemos que al iniciarse el siglo, cada una de las 18 universidades existentes en este país poseían todavía la tradicional estructura medieval, con Facultades de Teología, Derecho, Medi-

cina y Filosofía. Por regla general, los conocimientos científicos sólo se proporcionaban en la Facultad de Filosofía, siendo las enseñanzas experimentales físico-químicas muy poco frecuentes. La posición de la física (la disciplina que revolucionaría la ciencia y, a la postre, el mundo) en esas universidades era claramente secundaria. La mayoría de los profesores de física germanos no recibían habitualmente dinero suficiente —nada en absoluto en ocasiones— 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.

Un índice significativo de la situación existente a mediados del 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. Esta situación comenzó a cambiar durante la primera mitad del siglo y en mucha

mayor medida a lo largo de la segunda mitad. 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» —por que reconoce el valor social de su disciplina— desea agruparse para favorecer sus intereses. El que el asociacionismo científico deje de estar monopolizado de manera casi exclusiva por organizaciones tan elitistas y restringidas como la Royal Society o la Académie des Sciences, que se inserte en la sociedad asimilando los procedimientos profesionales comunes en el ámbito laboral, constituye un paso previo, un indicador, de que una nueva era se abría a la práctica científica, la Era de la Institucionalización.

En el caso de la física alemana, en 1845 un pequeño grupo de científicos de Berlín fundaron la *Physikalische Gesellschaft zu Berlin* (Sociedad de Física de Berlín). Los miembros fundadores no fueron muchos —53—, pero entre ellos se encontraba, por ejemplo, el futuro líder de la industria electrotécnica alemana y mundial, Werner Siemens. En 1910 sus miembros ya eran 520, 660 en 1913 y 740 en 1918.

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, descubrió la pila (o batería) eléctrica,



Justus Liebig

ca, un aparato para producir un flujo de corriente eléctrica utilizando procesos químicos. Con este nuevo instrumento, William Nicholson y Anthony Carlisle 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 (se trata de la electrolisis, cuyas leyes serían enunciadas en 1833 por Michael Faraday).

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.

Hablemos ahora de la química orgánica alemana, y concretamente de Justus Liebig (1803-1899), von Liebig a partir de 1845. En 1825 conseguía una cátedra de Química en la Universidad de Giessen. Casi inmediatamente, estableció, en compañía de sus colegas y al margen de la Universidad, un «Instituto químico-farmacéutico». Hasta 1835 el Instituto tuvo, por lo que se sabe, un éxito moderado, recibiendo una media de 15 estudiantes al año, de los cuales entre el 70 y el 90 por ciento estaban interesados en la farmacia, el resto en la química. El punto crucial en la historia del Instituto, como en la carrera de Liebig, tuvo lugar cuando, en 1831, éste desarrolló un aparato para analizar compuestos orgánicos, con el cual el propio Liebig desentrañó inmediatamente la composición de 14 alcaloides y de otros compuestos.

Cuando Liebig llegó a Giessen, la mayor parte de los químicos 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. Con el aparato de Liebig se superaba esta dificultad, lo que reforzó el interés y posibilidades de la química orgánica. El éxito de Liebig trajo, finalmente, la ayuda de la Universidad, que en 1834 aprobó una mejora de las precarias instalaciones de que disponía; al año siguiente incluía en sus presupuestos un ayudante para el ya maestro reconocido internacionalmente.

A través de sus estudiantes, la influencia de Liebig se extendió también al mundo académico e industrial. En el primero, muchos de sus mejores alumnos (entre los que se cuentan Kekulé, Gerhardt y Wurtz) obtuvieron puestos académicos. La agricultura también se vio influida por las enseñanzas de Liebig, especialmente a través del libro que publicó en 1840: *Chemie in ihre 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, Escocia y España.

En cuanto a la industria, ya en 1827, uno de sus alumnos, Heinrich E. Merck, fundó en Darmstadt la Chemische Fabrik E. Merck para la producción en gran escala de productos farmacéuticos. 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.

En 1865 esa compañía llegó a ser una de las grandes de la industria química mundial.

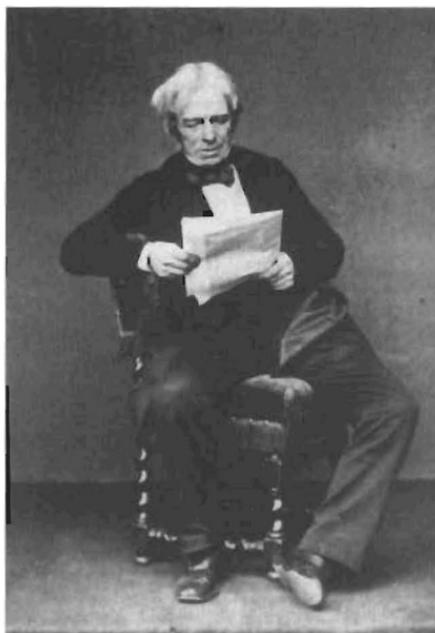
Friedrich Wöhler, profesor de Química y Farmacia en la Facultad de Medicina de Gotinga desde 1836, y Robert Wilhelm Bunsen, que estuvo en Marburg, Breslau y finalmente en Heidelberg, son también dignos de mención. Liebig, Wöhler, Bunsen y sus respectivos estudiantes, al igual que otros químicos no tan conocidos, elevaron rápidamente la calidad y categoría de la química orgánica alemana. Este ascenso se hace evidente si consideramos 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.

Durante décadas la química orgánica alemana dominó el mundo científico e industrial internacional. Un éxito que también repercutió en otros países, como demuestra el caso de Augustus Hofmann, otro discípulo de Liebig. En 1845, Hofmann se trasladó a Londres, para intentar mejorar la enseñanza e investigación química en el nuevo Royal College of Chemistry. Allí educó a prácticamente todos los químicos británicos involucrados en la química (e industria) de los tintes. Uno de sus estudiantes fue William H. Perkin, quien en 1856 encontró, partiendo del alquitrán, una sustancia de color violeta que denominó mauveína. Envío el producto a su padre, que era tintorero, quien, después de ensayarlo, lo empleó para teñir fibras textiles. Aquello fue el inicio de una importante industria, que no tardó de masiado en crecer rápidamente y que fomentó la investigación y la enseñanza superior química.

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. 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 Hans Christian Oersted de que la electricidad producía efectos magnéticos (una corriente eléctrica desviaba una aguja imantada). Por otra parte, tenemos que en



Michael Faraday

París André-Marie Ampère 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.

El caso de Michael Faraday, uno de los científicos más importantes de todo el siglo XIX, no es frecuente en la historia de la física: su formación matemática era muy elemental; sin embargo, no sólo llevó a cabo descubrimientos experimentales fundamentales, sino que también introdujo conceptos, como las nociones de «líneas de fuerza» y de «campo», que en su momento se convirtieron en piezas básicas de la teoría electromagnética. Pero sus aportaciones no se limitaron a la física: en química realizó importantes contribuciones (como sus estudios sobre el cloro, llegando a descubrir dos nuevos cloruros de carbono o, en 1825, el benceno, que desempeñaría un papel central en los trabajos de August Kekulé sobre la estructura molecular). Investigó las aleaciones del acero, y produjo nuevos tipos de

vidrio para fines ópticos. Pero todos estos trabajos han quedado un tanto oscurecidos en la memoria histórica por sus descubrimientos eléctricos. En 1812 construyó una pila voltaica con siete medios peniques, siete discos de lámina de zinc y seis piezas de papel mojado en agua salada. En 1821, demostró que un hilo por el que pasaba una corriente eléctrica podía girar de manera continua alrededor de

un imán, con lo que se vio que era posible obtener efectos mecánicos (movimiento) de una corriente que interacciona con un imán. Sin pretenderlo, había sentado el principio del motor eléctrico cuyo primer prototipo sería construido en 1831 por el físico estadounidense Joseph Henry.

Faraday, como la mayoría de los pioneros del electromagnetismo o de la química orgánica, los Kelvin, Maxwell o Liebig, buscaban lo auténticamente básico, lo fundamental, la ciencia pura, por sí misma, pero la perseguían —y la veían— en todo lo que la naturaleza, natural o artificial, les ofrecía. Recordemos, en este sentido, su descubrimiento de la inducción electromagnética, un fenómeno que ligaba los movimientos mecánicos y el magnetismo con la producción de corriente eléctrica. Este fenómeno, que llevaría a la dinamo, representaba el efecto recíproco al descubierto por Oersted; ahora el magnetismo producía electricidad, lo que reforzó la idea de que en lugar de hablar de electricidad y magnetismo había que referirse al electromagnetismo.

La obra de Faraday hizo posible la

del escocés James Clerk Maxwell, que fue capaz de unir todos los cabos sueltos que proliferaban en la electricidad y el magnetismo y formular, con ideas nuevas, una teoría completa del campo electromagnético, que plasmó en un célebre artículo de 1865 titulado «A dynamical theory of the electromagnetic field», y desarrolló luego en su *Treatise on electricity and magnetism*, de 1873. También fue el propio Maxwell quien, al menos en 1861, cuando todavía no había completado su teoría, se dio cuenta de que la luz era también un campo magnético. Así la óptica pasaba a verse englobada en el electromagnetismo.

El electromagnetismo y la institucionalización de la ciencia

La secuencia de avances en la comprensión de los fenómenos electromagnéticos que aquí se acaba de esbozar debería poder dar 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 los de la dinámica y teoría de la gravitación universal newtonianas. Pero lo que a mí me interesa sobre todo es mostrar el servicio que la física del electromagnetismo prestó a la institucionalización de la ciencia en el siglo XIX, y para resaltar las conexiones de todo tipo de la ciencia, de la ciencia electromagnética en este caso, con la «sociedad», he de referirme a una de las grandes aplicaciones de la ciencia de la electricidad y magnetismo del XIX: la telegrafía.

Tras el descubrimiento de Oersted y después de que Johann Schweigger y Johann Poggendorff construyesen, en 1820 y 1821, los primeros galvanómetros, Ampère y Laplace propusieron la idea de telégrafos electromagnéticos que utilizaran carretes y

agujas magnéticas en el extremo receptor, en un número igual al de los caracteres que se deseaban emplear en la transmisión. No obstante, los primeros en hacer de la telegrafía un éxito comercial fueron dos británicos, William F. Cooke, 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, profesor del King's College de Londres, esto es, un filósofo natural, pero que no desdeñaba en absoluto las aplicaciones prácticas de su disciplina, la física.

En 1846, Cooke y Wheatstone vendieron sus patentes a la Electric Telegraph Company, la primera gran empresa británica dedicada a explotar industrialmente la electricidad. En 1870, la profesión de «ingeniero telegrafista» había llegado al punto de que se crease una Society of Telegraph Engineers. En abril de 1838 el estadounidense Samuel F. B. Morse había obtenido una patente de un sistema que incorporaba la idea de su luego famoso código. Es decir, las aplicaciones del electromagnetismo ya se abrían camino, con fuerza creciente, en la década de 1840.

Es importante señalar que, aunque la ciencia aportó beneficios a la, como nombraríamos hoy, tecnología, también aquélla se benefició de ésta. Por otra parte, el éxito de la telegrafía repercutió favorablemente en los «físicos». Aumentó la oferta de trabajo en la producción o 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. A finales de la década de 1850 y principios de la de 1860, el laboratorio de William Thomson en Glasgow era el único centro universitario en el que se podía obtener algún tipo de enseñanza teórica y práctica relativa a la electricidad. La decisiva participación de Thomson en el establecimiento (volveré a

este punto más adelante) de un cable submarino en 1866 entre las Islas Británicas y Norteamérica le reportó una gran fama. Su universidad le construyó un nuevo laboratorio que fue inaugurado en 1870. 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.

Fue en la India, en 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. En 1849 se introdujo en Europa, procedente de China, un nuevo material muy parecido al caucho, pero con la gran ventaja de ser inalterable con el agua, dulce o salada: la gutapercha. Con este recubrimiento se logró unir Dover y Calais. Un año más tarde, la línea se completaba uniendo directamente Londres y París. Otras líneas siguieron los años siguientes, a lo largo y ancho del mundo.

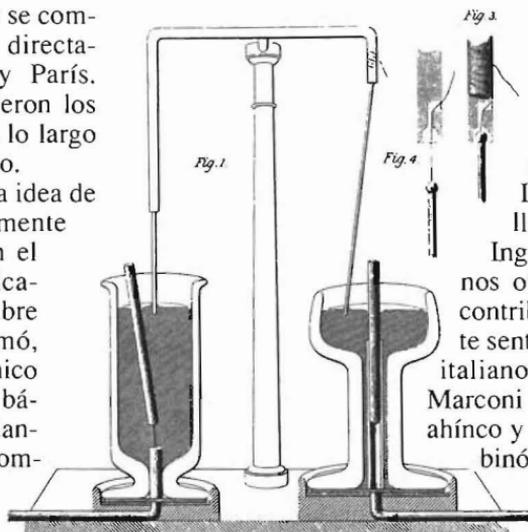
Pronto surgió la idea de unir telegráficamente Gran Bretaña con el continente americano. El 20 de octubre de 1856 se formó, con capital británico y estadounidense básicamente, la Atlantic Telegraph Company. Aunque el primer cable se instaló en 1857, no

se consiguió depositar uno que funcionase hasta 1866. Se había conseguido reducir una larga travesía marítima a unos breves instantes, en lo que a comunicación se refiere. En ninguna otra época de la historia de la humanidad, incluida la presente, a pesar de toda la tecnología moderna, se produjo una ruptura cualitativa de orden parecido. Aquel desarrollo cambió el mundo, el mundo de la política, de los negocios, de las relaciones internacionales.

Un nuevo mundo: las ondas hertzianas

Ninguna exposición sobre la ciencia del electromagnetismo del siglo XIX estaría completa sin mencionar las ondas hertzianas. Todo comenzó con una de las predicciones más sorprendentes 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. Esta predicción fue demostrada experimentalmente en 1888 por Heinrich Hertz. Su trabajo atrajo la atención inmediatamente al problema

de las comunicaciones sin hilos. Thomas Edison y Nikola Tesla en Estados Unidos, Oliver Lodge y William Preece en Inglaterra, y algunos otros, realizaron contribuciones en este sentido, pero fue el italiano Guglielmo Marconi quien con más ahínco y habilidad combinó estos conocimientos para producir un sistema que, por prime-



Aparato de rotación desarrollado por Faraday

ra vez, permitió la comunicación sin utilizar cables por los que circulase la corriente eléctrica.

Fue en 1895 cuando Marconi realizó los primeros experimentos en su casa de Bolonia. En 1896 obtenía su primera patente. En 1899 establecía la primera conexión internacional entre Folkestone y Boulogne (52 km), transmitiendo los primeros mensajes en abril; en 1900 formaba la Marconi International Marine Communications Company.

Es importante, no obstante, señalar que a comienzos de siglo 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. De hecho, 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 de sin hilos hasta el redescubrimiento de las ondas cortas en la década de 1920.

Tales fueron los principales avances científicos y tecnológicos que a lo largo del siglo XIX cambiaron radicalmente no sólo el mundo, sino también la relación de la ciencia con la sociedad. □

Seminario Público en la Fundación, los días 12 y 14 de diciembre

«El Pasado y sus críticos»

Intervienen Anthony Padgen, Manuel Cruz,
José María Hernández y Concha Roldán

Los días 12 y 14 de diciembre, a las 19,30 horas, se celebra en la sede de la Fundación Juan March el séptimo Seminario Público, *El Pasado y sus críticos*, cuyos conferenciantes son **Anthony Padgen**, Harry C. Black Professor of History, The Johns Hopkins University, y **Manuel Cruz**, catedrático de Filosofía de la Universidad de Barcelona. Estos dos ponentes pronuncian, desde perspectivas complementarias, dos conferencias sucesivas sobre el tema del Seminario el martes 12; y el jueves 14, tras una breve presentación de las conferencias del día anterior, **José María Hernández**, profesor del departamento de Filosofía y Filosofía Moral y Política de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, y **Concha Roldán**, investigadora en el Instituto de Filosofía del Consejo

Superior de Investigaciones Científicas, leen una ponencia a propósito de los textos de las conferencias. A continuación se abre una discusión entre todos ellos.

Unas tesis-resumen de las conferencias elaboradas por los propios autores pueden ser consultadas en la siguiente dirección de Internet:

<http://www.march.es>

Las tesis-resumen permiten a quien lo desee participar por escrito en el Seminario mediante el envío a la Fundación Juan March de comentarios y preguntas (con la indicación «para el Seminario Público») sobre el tema propuesto a cualquiera de las siguientes direcciones:

Correo: Castelló, 77, 28006 Madrid

Fax: 91- 431 51 35

e-mail: seminario@mail.march.es