

Avances y avalanchas del siglo XIX (II). Química y electricidad

Pedro Costa, *Ingeniero Técnico de Telecomunicación,
Profesor de la EUITT de Madrid*

Durante el siglo XIX la Revolución industrial se ampliará notablemente por los avances en química y electricidad-magnetismo (de los que se dirá que constituyeron una «segunda» Revolución industrial). El empujón extraordinario experimentado por la ciencia francesa con motivo de la Revolución irá agotándose visiblemente, cediendo ante la sólida renovación de la ciencia inglesa ya a mitad de siglo. Sin embargo, lo más sorprendente será el proceso por el que la ciencia alemana vaya imponiéndose a las demás, alcanzando una clara supremacía a finales de siglo; el auge científico alemán debió mucho al consistente papel de los románticos en la transición de los siglos XVIII a XIX.

En el caso inglés las sociedades científicas protagonizarán ese cambio exitoso, siendo las primeras la *Royal Institution*, creada en Londres en 1801 por el vigoroso conde Rumford y que tuvo a Humphry Davy como primer investigador, y la *Analytical Society*, creada en 1812 por estudiantes de Cambridge, entre ellos Herschel y Babbage. Charles Babbage, que planteó crudamente la situación de la ciencia inglesa y sus necesidades en *Reflexiones sobre la decadencia de la ciencia en Inglaterra* (1830), contribuyó a la creación de otra prestigiosa sociedad, la *British Association* (1831), a la vuelta de un congreso científico celebrado en Berlín¹.

Pero, siguiendo la línea ascendente del siglo anterior, también en Escocia se producirá una importante actividad científica, siendo muestra de ello el que se instalaran en Glasgow los primeros laboratorios: el de química en 1817, obra de



John Dalton

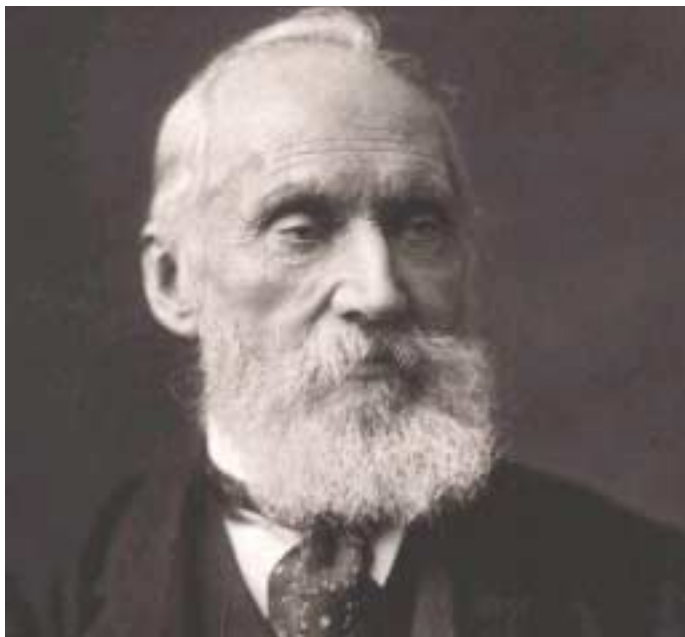
Tomas Thomson, y el de física en 1846, obra de William Thomson (lord Kelvin).

DE LAVOISIER A DALTON Y MENDELEIEV: NUEVA TEORÍA ATÓMICA

La química entra en el siglo XIX bajo la influencia de Lavoisier (1743-94) y de su manual *Elementos de química* (1789) que recoge, entre otras aportaciones, la ruptura definitiva con la alquimia, la importancia del método cuantitativo (medidas y pesos de las mezclas y reacciones)

y el principio de la conservación de la materia. De estos puntos de vista fueron derivándose varias leyes que configuraron la química «científica» inicial: la de «proporciones equivalentes» (Richter, 1791), la de las «composiciones constantes» (Proust, 1797) y la de las «presiones parciales» (Dalton, 1802). Esas leyes permitían identificar y caracterizar nuevos compuestos y llevaban a la teoría atómica, es decir, a la indagación sobre la naturaleza «íntima» de los procesos químicos.

El inglés John Dalton (1766-1844) retomó la teoría atómica, que constituía una especulación eminentemente filosó-



Lord Kelvin



Siemens

fica desde la época de Demócrito (siglo v a. C.) y explicó en *Nuevo sistema de filosofía química* (1808) que existen diferentes especies de átomos, siendo iguales los de un mismo elemento químico: partía de la visión newtoniana de que los átomos de un gas se repelían con una fuerza inversamente con la distancia, y consideraba que esta fuerza repulsiva era el calor (idea que ya era mantenida en Francia por Gay-Lussac).

Prout (inglés), Thomson (escocés), Berzelius (sueco) y Stas (belga) indagaron sobre los pesos atómicos de los ele-

mentos concluyendo que, aunque podían referirse al del hidrógeno, no eran números exactos. Pero la teoría atómica de los elementos no volvió a revivir hasta 1860, resurgiendo cuando se planteó el problema de las valencias de combinación de elementos químicos, para lo que se convocó un congreso en Karlsruhe (1860) en el que la presencia de alemanes fue abrumadora. Y aunque el problema de las valencias no quedó resuelto, el italiano Cannizzaro, reivindicó para Avogadro la solución de ese problema 39 años antes, cuando formuló su famosa *hipóte-*

sis: «Los mismos volúmenes de distintos gases contienen el mismo número de partículas». De ahí —del entusiasmo nacionalista de Cannizzaro por el genial Avogadro²— se derivó el pronto establecimiento de los pesos atómicos y las valencias de los elementos químicos.

En la identificación de nuevos elementos —que en tiempos de Lavoisier eran solamente 22 aumentando en 39 entre 1790 y 1830— tuvo una importancia decisiva el espectroscopio, una creación de 1859 obra de los alemanes Bunsen (químico) y Kirchoff (físico), ambos profesores en Heidelberg.

Fue el comprobar la ordenada disposición «geométrica» que los elementos químicos presentaban según se iban descubriendo lo que impulsó al sabio ruso Mendeleiev a indagar por esa lógica que relacionaba los pesos atómicos y las propiedades químicas por «familias», construyendo la famosa *Tabla periódica* de los elementos, que lleva su nombre desde 1869³.

El trabajo de completar las ocho familias de elementos químicos finalizó cuando en las última década del siglo se aislaron los gases inertes: el radón, descubierto por Crookes, y el helio, neón, kriptón y xenón, descubiertos por Ramsay. Fue Moseley quien, ya en 1914, estableció la nómina de elementos en 92, finalizando en el uranio, aunque quedaron los «huecos» de los elementos llamados lantánidos (del 57 al 71) y actínidos



Mandeleiev



Michael Faraday

(del 89 al 103). A partir del descubrimiento de la radiactividad (Becquerel, 1896) se fue confirmando lo que tanto tiempo se había sospechado: que los elementos estaban relacionados entre sí «genéticamente».

CIENCIA ALEMANA ROMÁNTICA: DE LA QUÍMICA ORGÁNICA A LA INDUSTRIA

La química inorgánica vive su «edad heroica» entre 1790 y 1830, al tiempo que los conocimientos en geología avanzan y los geólogos descubren numerosos minerales que los químicos han de estudiar e identificar⁴. En esas primeras

décadas del siglo XIX en Alemania se desarrolla, conjuntamente la química y la agricultura; y en la década de 1830 se inicia la química orgánica debido al trabajo de Friedrich Wöhler y Justus von Liebig. Estos dos químicos «fundadores» habían estudiado con científicos de prestigio: el primero con Berzelius, en Estocolmo, y el segundo con Gay-Lussac, en la Politécnica de París. Ambos descubrieron que había productos orgánicos que se obtenían de los compuestos inorgánicos, como la urea, consiguiendo que se aproximaran notablemente la química inorgánica y la orgánica. Aunque Wohler abandonó la química por el análisis de minerales Liebig continuó con la química orgánica y formó a la siguiente generación de químicos alemanes, entre ellos a Bunsen, Hofmann, Kekulé y Wurtz⁵.

...Urea, anilina...

Es interesante observar cómo evoluciona la química en Alemania, desde los filósofos de la naturaleza de la transición entre siglos, francamente relacionados con el Romanticismo⁶ hasta un predominio claro y rotundo químico-industrial antes de que acabe el siglo. Así, Humphrey Davy, que es amigo del romántico inglés Coleridge, tenía mucho de romántico él mismo y era a ratos poeta nada malo; Coleridge viajó a Alemania en 1798-99, volviendo con las enseñanzas de Schelling, el filósofo de la naturaleza por excelencia del romanticismo alemán, y bajo esta influencia pronunció conferencias en la *Royal Institution* a su vuelta.

— Pero en la Alemania del Romanticismo la ciencia se mueve también, iniciándose en 1822 una serie de congresos anuales a instancias de Lorenz Oken (Babbage asistirá al de 1828, en Berlín)

— Nota, inicial sobre el Romanticismo y su esfuerzo por unificar la ciencia (¿Mason, 115?)

— Orsted es discípulo de Schelling, y en 1807 anuncia que está buscando la unificación en la física. En 1820 descubre el fenómeno básico para la inducción, las fuerzas circulares electromagnéticas, ampliadas por Faraday..

...(Añadir Mason, 115 y 117: Seebeck asistía a Goethe en sus experimentos)

Este «itinerario alemán de retorno» se inicia con Justus von Liebig (1803-73), que estudió en la Politécnica de París y se dedicó sobre todo a la química agrícola y a la creación de abonos. Su conferencia *La química y sus aplicaciones a la agricultura y la fisiología*, pronunciada en la reunión de la BA celebrada en Liverpool (1837) le dio gran popularidad en Inglaterra, de tal manera que en el siguiente viaje (1842), en una entrevista con el primer ministro Peel y varios latifundistas, propuso la creación de una escuela de química. La Corona se interesó directamente en esta fundación y en 1845 se creó el Royal College of Chemistry, piéndosele a Liebig que recomendará un primer director, cosa que hizo con uno de sus mejores alumnos, August von Hofmann. Es en este Real Colegio donde William Perkin, discípulo de Hofmann, y el propio Hofmann, iniciaron la creación de sustancias colorantes para la industria textil. Cuando en 1865 Hofmann abando-

na Londres para ocupar una cátedra de Química en la Universidad de Berlín, al mismo tiempo que otro químico alemán, Heinrich Caro, deja la fábrica de Manchester donde había trabajado para montar una factoría química en Alemania, se inicia el empuje de la industria química alemana. Hofmann planearía los laboratorios químicos de las universidades de Berlín y Bonn, que fueron finalizados en 1869 y de donde saldrían los químicos que darían a Alemania en pocos años su poderío científico e industrial.

FARADAY Y LA REVOLUCIÓN ELECTRODINÁMICA

Michael Faraday (1791-1867) ostenta un papel excepcional en la historia de la electricidad y del magnetismo reuniendo, comprobando y sintetizando el trabajo en ambas materias de los científicos que le

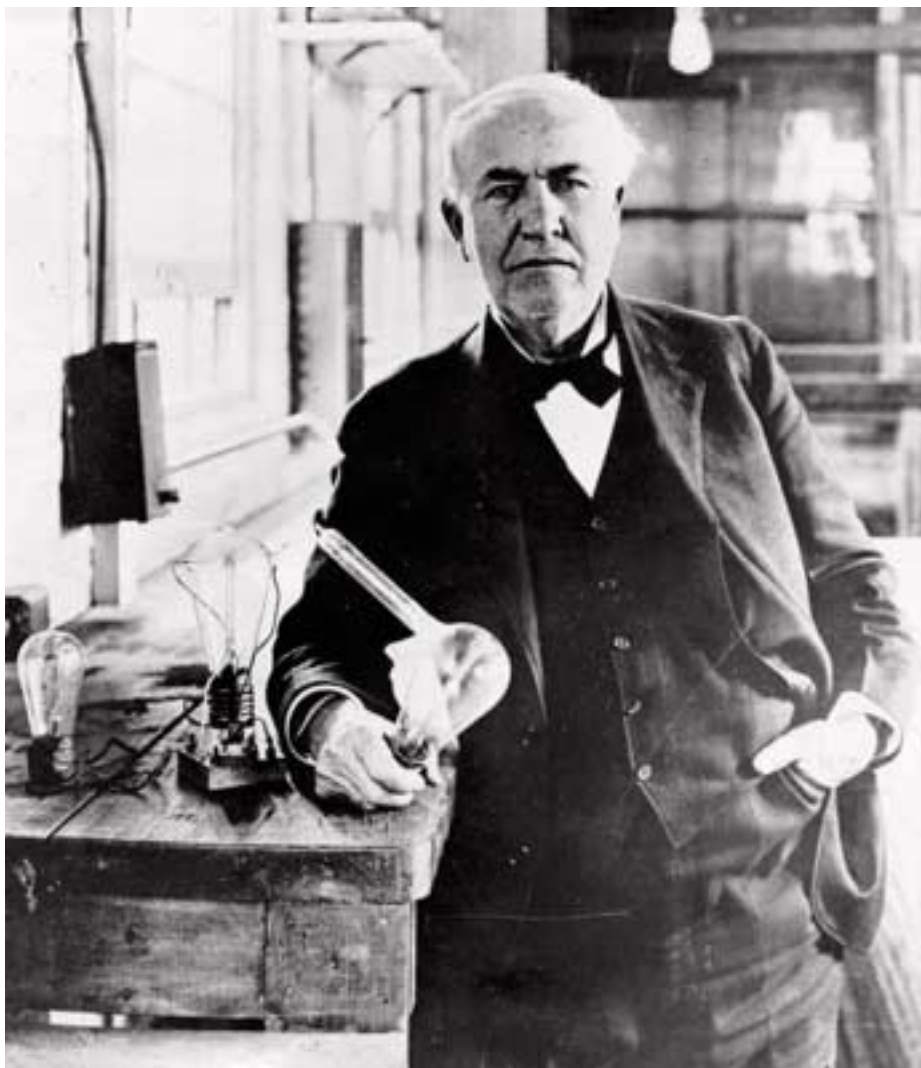
precedieron, desde Coulomb hasta Davy, pasando por Ørsted, Ampère, Volta, Gauss, Ohm... Faraday es un producto singular de la Inglaterra de su tiempo, de familia humilde, autodidacta y de confesión religiosa protestante fundamentalista⁷; todo esto, pero en primer lugar su tenacidad e inteligencia, llevaron a la filosofía natural a un grado nunca alcanzado de experimentación y de traducción a máquinas de trascendencia capital: nada menos que los motores y generadores eléctricos.

Su contacto con la ciencia la inicia en 1810 con los jóvenes del círculo que animaba el científico John Tatum, conde recibió una formación básica y firme en electricidad, galvanismo, hidrostática, óptica, geología, mecánica teórica y experimental, química, astronomía, meteorología... El marco global de su conocimiento de la naturaleza era, sin embargo la química, ciencia que consideró, al igual que el gran Humphry Davy (1788-

1829), la llave para conocer la naturaleza. El minucioso trabajo que realizó asistiendo a las conferencias de Davy en la *Royal Institution* en 1812 hizo que éste le dispensara su simpatía y lo nombrara su ayudante, acompañándolo en la gira que realizó por Europa continental en 1813-15, donde tuvo ocasión de conocer a Volta y Ampère.

A la vuelta a Londres se entregó a los estudios y trabajos en química preparando materiales como ayudante de laboratorio para los conferenciantes de la *Royal Institution*, hasta que en 1821 ésta le encargó la revisión de los trabajos sobre electromagnetismo de Ørsted (1777-1851), Ampère (1775-1836) y Biot-Savart (1774-1862 y 1791-1841) aparecidos el año anterior. De ahí formó su opinión física fundamental: que la electricidad es un fenómeno que consiste en la transferencia de partículas excitadas, lo que le llevó a «intercambiar» los efectos eléctricos y magnéticos. Si una corriente eléctrica producía una fuerza (¡circular!) sobre un imán (experimento de Ørsted, 1820), la acción de éste debía producir una corriente eléctrica en un conductor; esta conclusión fue comprobada por Faraday en 1831 mediante un dispositivo como el de un transformador con dos bobinas, una de ellas conectada a una pila, en los lados opuestos de un núcleo de hierro, que se transmitían corrientes eléctricas mutuamente⁸.

Aunque ha pasado a la historia como investigador electromagnético, no podemos olvidar que su formación básica se inició en la química y que nunca perdió el interés por esta materia desarrollando su terminología al tiempo que avanzaba en sus experimentos; de sus trabajos en electroquímica (entonces la electricidad se consideraba una parte de la química y a ello había contribuido grandemente la creación por Volta de la pila electroquímica) se desprendieron los conceptos de *electrolito*, *electrodos*, *cátodo*, *ánodo*, *cationes* y *aniones*; de sus estudios sobre los dieléctricos la posteridad lo recompensó dándole su nombre a la unidad de capacidad: el *faradio*. Realizando otro tipo de experimentos se encontró con un «bicarburo de hidrógeno», que poco después sería llamado *benceno*. Suya es la «ley de equivalentes electroquímicos», o «ley de Faraday». Su manual *Chemical*



Thomas Edison



Westinghouse

Manipulation (1827) es un tratado exclusivamente experimental donde resume lo que aprendió y descubrió en la *Royal Institution*. Creó también el dispositivo llamado «jaula de Faraday», que permite aislar un determinado espacio de cualquier campo eléctrico, y descubrió el «efecto de Faraday», que es el giro del plano de polarización de la luz bajo los efectos de un campo magnético, lo que le hizo pensar que la luz era de naturaleza electromagnética.

Faraday supo en su momento optar por la vía austera y sacrificada del investigador cuando, precisamente, se había convertido en un prestigioso sabio (en 1824 entró en la *Royal Society* y desde 1825 se había instalado en la *Royal Institution* como director del laboratorio, y

allí vivió y trabajó desde entonces) y los informes y consultas le venían enriqueciendo. Es 1831 el año de su renuncia a los altos ingresos y también el más brillante de su vida de investigador ya que entonces se produjo la confirmación de algunas de sus intuiciones, fundamentalmente la de que electricidad y magnetismo se propagan mediante ondas. Dentro de ese mismo año descubrió la inducción magnética realizando y comprobando, a la inversa, el experimento de Ørsted, lo que completaba sus intuiciones y experimentos. Superó, así, a los físicos «atascados» en la inducción electrostática al darle mayor relevancia a la electrodinámica. Aunque sus experimentos en inducción dieron lugar en 1832 a un verdadero motor por obra del joven fabricante de ins-

trumentos francés, Hipólito Pixii, se le atribuye con justicia ser el inventor del motor eléctrico⁹. Y cerrando ese *annus mirabilis* de 1831, Faraday describió las leyes del electromagnetismo en términos de «movimientos relativos» entre las líneas del campo magnético (*líneas de fuerza*) y los conductores en su interior.

Sin duda debido a su intenso ritmo de trabajo a partir de 1839 su salud fue resintiéndose, sufriendo un colapso en 1840, a los 49 años (como Newton). Todavía en 1845 pudo determinar la característica de los materiales *diamagnéticos* y *paramagnéticos*, acuñando estos términos, y en realidad continuó trabajando hasta 1862. Faraday produjo una inmensa cantidad de escritos; lo sustancial de sus trabajos figura en sus obras *Experimental Researches* y *Electricity and Magnetism* (tres volúmenes publicados en 1839-55) y *Experimental Researches in Chemistry and Physics* (1859); en 1932 se publicó el *Faraday's diary* (siete volúmenes con los apuntes manuscritos de su trabajo en la *Royal Institution* entre 1820 y 1862).

INICIOS DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

La industria eléctrica se desarrolló, muy directamente, a partir de los trabajos en investigación científica, tanto en electroquímica como en electrodinámica. Así, las reacciones químicas producidas en la pila voltaica (pila que suponía el avance decisivo desde la «botella de Leyden» como acumulador de electricidad estática y que a su vez fue mejorada notablemente por Leclanché) dieron lugar a numerosos procesos industriales en los que intervenía la electrólisis (como el galvanizado). El descubrimiento a principios de siglo del «arco de carbono» entre dos electrodos (Davy) y de la incandescencia debida al paso de una corriente eléctrica a través de determinados materiales llevó a la industria de la iluminación eléctrica, que a finales de siglo ya amenazaba a la de gas. Y de la inducción magnética y las primeras máquinas electrodinámicas surgiría la potente y decisiva industria de las máquinas eléctricas: generadores y motores. Ohm, siguiendo

BIBLIOGRAFÍA

- Derry, T. K. y Williams, T. I. (1990): *Historia de la tecnología. Desde 1750 hasta 1900 (II)*, Siglo XXI, Madrid.
- Mason, S. E. (1986): *Historia de las ciencias. 4. La ciencia en el siglo XIX*, Alianza, Madrid.
- Strathern, P. (2000): *El sueño de Mendeleiev. De la alquimia a la química*, Siglo XXI, Madrid.

NOTAS

— Reunión de York (1831), a instigación del editor del *Edinburgh Journal of Science*, David Brewster, que se propone estimular sistemática y eficazmente el trabajo científico.

— La BA intenta la «recepción» de F. Bacon y del espíritu de la *Nueva Atlántida* (1626). La BA se dedicará sobre todo a las ciencias físicas y las matemáticas, y en segundo lugar a la biología (la mitad que la física-matemática).

— Avogadro (1811): más los que Gay-Lussac: los mismos volúmenes de distintos gases contienen el mismo número de partículas...

— La química inorgánica vive su «edad heroica» entre 1790 y 1830, al tiempo que los conocimientos en geología avanzan y los geólogos descubren numerosos minerales que los químicos han de estudiar e identificar¹¹.

¹ Babbage, formidable matemático, figura en la historia como el primer constructor de máquinas numéricas, y su colaboradora Ada Lovelace, como la primera programadora.

² Italia realizó su unidad nacional en 1860; Alemania todavía tardaría diez años más.

³ La historia científica registra, entre sus *epifanías* más famosas, el dramático proceso personal de reflexión que llevó a Mendeleiev a entender y «completar» definitivamente esa *Tabla periódica*.

⁴ El propio Berzelius, purificó, analizó y describió más de doscientos compuestos inorgánicos en 1810-20.

⁵ Abandonando previamente, por cierto, Hofmann el derecho y Kekulé la arquitectura.

⁶ Este Romanticismo científico tiene su precedente genial en Goethe, que compaginó la investigación científica (botánica, geología, óptica...) con el trabajo literario.

⁷ Concretamente, sandemaniana, secta fundada por Robert Sandeman (1715-71), cuya base doctrinal es la creencia literal en las Sagradas Escrituras, y cuyas normas de conducta privilegian la cohesión de la comunidad.

⁸ Del trabajo de Faraday se dice, con razón, que no habría sido posible sin la creación previa de la pila de Volta y el galvanómetro de Örsted.

⁹ Es justo reconocer que el norteamericano Joseph Henry (1797-1878) llegó a los mismos resultados sobre la inducción magnética casi al mismo tiempo que Faraday y sin que existiese la menor relación entre ellos; pero Henry no la supo difundir en su momento.

¹⁰ Cuando en 1883 Edison observó que se oscurecía el cristal de esas lámparas dedujo que el filamento emitía partículas de algún tipo: era el «efecto Edison» y daría origen, veinte años después, a la industria electrónica con la creación de las válvulas termoiónicas diodo y triodo.

¹¹ El propio Berzelius, purificó, analizó y describió más de doscientos compuestos inorgánicos en 1810-20.

los trabajos de Fourier, establecería la relación técnica entre electricidad y calor, origen de no pocos procesos industriales.

Los primeros generadores fueron dinamos, es decir, máquinas de corriente alterna, que fueron considerados poco satisfactorios porque su uso principal era alimentar procesos electrolíticos, que exigían corrientes continuas. Se atribuye a Werner von Siemens el primer generador industrial de corriente continua (1866), que ya utilizaba autoexcitación. La larga discusión sobre corriente continua/alterna se resolvió cuando George Westinghouse adoptó el tipo de alterna en su famosa central hidroeléctrica de las cataratas del Niágara. Y las primeras centrales eléctricas urbanas, movidas por máquinas de vapor, se instalaron en París y Mulhouse (1875), Nueva York (1882: la famosa central de Edison de Pearl Street) y Londres (1889), siendo durante muchos años más utilizadas que las hidroeléctricas; éstas fueron mejorando su rendimiento en gran medida a consecuencia de la mejoras de diseño de las turbinas.

También en el uso de motores eléctricos predominó al principio el de corriente continua, siendo el primero de alterna el inventado por Tesla en 1888, y fabricado en Estados Unidos por Westinghouse. Pero se mantuvo durante decenios el uso de los de continua en ciertos usos, sobre todo en trenes y tranvías.

Mucho más dinámica que la industria de los generadores y motores eléctricos fue la de la iluminación. Esta industria se inició en 1879 con las creaciones de Swan (Inglaterra) y Edison (Estados Unidos) para conseguir iluminación mediante la incandescencia de un filamento de carbono en una ampolla de vidrio en la que se había hecho el vacío¹⁰. Swan y Edison compitieron ferozmente durante un tiempo, asociándose finalmente y consiguiendo hasta 1893 el monopolio de la fabricación de lámparas eléctricas en Inglaterra. Para mejorar su funcionamiento y prolongar su duración se investigó sobre filamentos de distinto material, utilizándose el osmio y el tántalo hacia final de siglo; el material definitivo sería el wolframio, por su altísimo punto de fusión (3.410 °C). ●