

El electrón centenario

Andoni Garritz

Hace cien años, la carrera para identificar la naturaleza de los misteriosos rayos catódicos se encontraba en su apogeo, hasta que John Joseph Thomson realizó el descubrimiento magistral que provocó una transformación y un avance fundamentales en la física y la química.¹

Esos años finales del siglo pasado fueron prolijos en descubrimientos revolucionarios: en 1887, la constancia de la velocidad de la luz; en 1895, los rayos X; en 1896, la radiactividad; en 1897, el electrón, y en 1900, la cuantización. ¿Se imagina el lector una física o una química de hoy sin estos descubrimientos? Pensemos en una física sin c , e y h , y nos queda sólo la física clásica. Esas tres cantidades, base de la física moderna, están enigmáticamente entrelazadas en la expresión $2\pi e^2/hc$, la temible constante de estructura fina, cuyo valor adimensional de $1/137$ debe aún ser elucidado por los físicos de hoy.

Si por decreto se nos prohibiera utilizar argumentos electrónicos en nuestra clase de química, la docencia se volvería sin duda una empresa mucho más difícil, ¿o no? Sería como tratar de acostumbrarse a la vida del siglo XIII, perdiéndonos las maravillas de la modernidad (libros, luz eléctrica, transporte motorizado, cine, combustibles, fibras sintéticas, electrónica, telecomunicaciones, computadora, ...) y algunas otras de sus trivialidades (refrigerador para conservar alimentos, agua caliente con sólo abrir la llave, desagüe y red de alcantarillado para grandes urbes, horno de microondas para calentar rápido un arrozito, y tantas otras). No quiero decir con ello que el descubrimiento del electrón haya dado paso a muchas de estas preciosidades, sino ejemplificar cómo nos sentiríamos los docentes en caso de tal censura.

El 30 de abril de 1897 Thomson anunció confidencialmente sus resultados en una reunión de la Institución Real Inglesa: el cociente de la carga a la masa de los constituyentes de los rayos catódicos es por lo menos 1000 veces mayor que el correspondiente al ion hidrógeno. Meses más tarde escribiría: "No hay escapatoria a la conclusión que los rayos catódicos son cargas de electricidad negativa portadas por partículas materiales [...] En los rayos catódicos tenemos materia en un nuevo estado, en el cual la subdivisión de la materia va mucho más allá que en el estado gaseoso ordina-

rio". Esos portadores eléctricos son cierto tipo de "átomos primordiales a los que llamaremos «corpúsculos», por brevedad".

Pero ¿cuáles fueron los antecedentes de este descubrimiento? Vayamos por partes, aunque sea dando algunos bandazos al péndulo del tiempo.

Quizás convenga empezar por la pila de Volta y la electrólisis del agua realizada por Nicholson y Carlisle, ambos en 1800, así como el descubrimiento de nuevos elementos por H. Davy años más tarde, unidos al trabajo



Figura 1. Dos años antes de que J. J. Thomson informara el resultado de sus experimentos, los rayos X fueron descubiertos por William Röntgen. Ésta es una de las primeras radiografías tomadas, que muestra los lugares donde todavía se alojaban los perdigones en la mano de un cazador accidentado. ¡Y pensar que la radiografía comercial fue descubierta en un tubo de rayos catódicos!

¹ El material histórico de esta editorial está tomado fundamentalmente de dos referencias:

- Glasstone, S., *Textbook of Physical Chemistry*, D. Van Nostrand, New York, 1940.
- Devons, S., "The body electric", *The Sciences*, 37[2] 26-39 (1997).

acucioso y cuantitativo de Michael Faraday en sus experimentos de electrólisis de 1834, que le llevaron a la conclusión de que el paso de 96,490 coulombios (un faradio) a través de disoluciones siempre libera en los electrodos un peso equivalente de sustancia.

En ese tiempo estaba vigente la interpretación de la electrólisis de T. von Grothuss, dada en 1805. Según ésta, el campo eléctrico actuaba sobre la disolución orientando a las moléculas del electrolito en cadenas, de tal manera que sus porciones con polaridad negativa apuntaban al electrodo positivo, y viceversa. Entonces, las moléculas en los extremos de la cadena interactuaban con uno y otro electrodo, produciéndose su transformación y liberación. Medio siglo más tarde, en 1857, R. Clausius se opone a tal interpretación, argumentando que la energía para romper las moléculas tendría que ser muy superior a la mostrada en los experimentos. Sugiere entonces que las porciones polarizadas negativa y positivamente en la molécula pudieran romperse fácilmente, e incluso que fueran capaces de separarse por breves periodos en forma de iones. De esta manera, cuando en 1886 van't Hoff encuentra grandes desviaciones de la presión osmótica y de otras propiedades coligativas² en las disoluciones de electrolitos, ello abre paso a la teoría de la disolución electrolítica de S. Arrhenius de 1887. La existencia permanente y estable de iones en disolución queda establecida, así como su responsabilidad en la conducción de la corriente, la aparición de pesos equivalentes debida a su carga eléctrica entera y todo lo demás. Uno de estos iones era más ligero que todos los demás, el ion hidrógeno, pues su peso equivalente era de un gramo solamente. Así, el cociente de la carga q_{H^+} entre la masa m_{H^+} pudo obtenerse como $(\mathcal{V}_m)_{H^+} = (96,490 \text{ C/eq}) / (0.001008 \text{ kg/eq}) = 9.57 \times 10^7 \text{ C/kg}$, es decir, prácticamente $1 \times 10^8 \text{ C/kg}$.

La "atomicidad" de la carga eléctrica queda plenamente establecida. Los iones son portadores de múltiplos de una unidad, calculada como el cociente del Faradio entre el Número de Avogadro, para la cual G.J. Stoney propone en 1891 el nombre de **electrón**.

La otra parte de la historia tiene que ver con el paso de la electricidad a través de atmósferas gaseosas enrarecidas. El trabajo de Faraday de la década de 1830 inspiró a un matemático de la Universidad de Bonn, Julius Plücker, a cambiar de rumbo a mitad de su carrera para transitar por la avenida de la física experimental. En la misma universidad

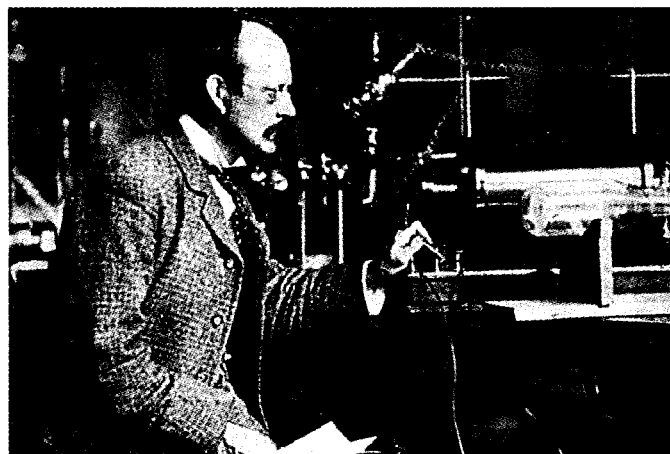


Figura 2. John Joseph Thomson (1856-1940) en su laboratorio y frente a su aparato.

laboraba un excelente instrumentista y soplador de vidrio, Heinrich Geissler, que había logrado construir una bomba de vacío que mantenía un gas a presiones bajas sin precedente (el tubo de Geissler). Entre ambos científicos idearon un tubo en el que introdujeron dos electrodos sobre los que se aplicaba una alta diferencia de potencial.

Al disminuir la presión en el tubo, se presentaban diversos efectos luminosos, como una característica luminiscencia verde-amarillenta en las paredes de vidrio. Este brillo, que primero aparecía en el cátodo y luego se separaba de él (espacio oscuro de Crookes) para llenar todo el tubo a presiones menores que 0.01 mmHg, fue estudiado acuciosamente por diversos científicos. Un buen número de ellos llegó a la conclusión de que unos rayos materiales viajaban del cátodo al ánodo: los rayos catódicos. Éstos eran desviados por campos magnéticos, según encontraron Plücker y Hittorf, viajaban en línea recta y producían sombras si un objeto sólido se interponía en su trayectoria (también Hittorf, en 1869) e inclusive hacían rotar una rueda de paletas debido a su cantidad de movimiento, según constató Goldstein en 1876, descubridor más tarde de los rayos canales que condujeron a la espectrometría de masas, ya en este siglo.

Pero no todo el mundo estaba convencido de la hipótesis de que los rayos catódicos estaban constituidos por partículas materiales. Uno de ellos era Heinrich Hertz, quien no pudo medir el campo magnético que debían generar estas supuestas partículas cargadas en movimiento, por lo que pensó más bien en "vibraciones u ondas propagándose a través del éter". El asunto se volvió inclusive un debate de nacionalidades. Los ingleses, con Crookes, estaban a favor de las partículas materiales cargadas; pero los franceses (Perrin) y

² Recordemos que estas propiedades (disminución de la presión de vapor, incremento de la temperatura de ebullición, disminución del punto de congelación y presión osmótica) fueron cuantificadas en esa época en términos del número de partículas disueltas.

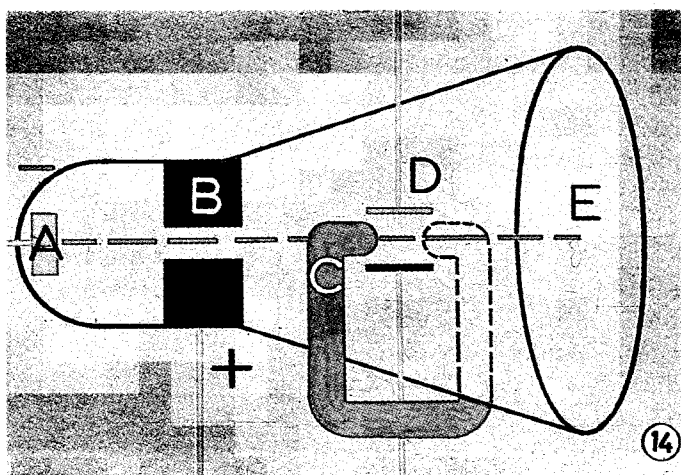


Figura 3. Modelo del aparato de Thomson. A: cátodo; B: rejilla como ánodo; C: campo magnético; D: campo eléctrico, y E: lugar de arribo de los corpúsculos cuando las fuerzas magnética y eléctrica se igualan.

alemanes (Hertz y otros) se afiliaron por la interpretación ondulatoria: el “continente” contra “la isla”.

El punto de vista de Hertz cambia radicalmente en 1892, cuando descubre que los rayos sí logran traspasar una lámina metálica delgada, pero muere el primero de enero de 1894 cuando pensaba realizar un experimento clave. Es entonces cuando entra en escena el famoso Juan José (Thomson) desde Inglaterra.

Los fenómenos de descarga eléctrica a través de gases son tan bellos y variados que han atraído la atención de numerosos observadores. Esa atención no es debida, sin embargo, a la

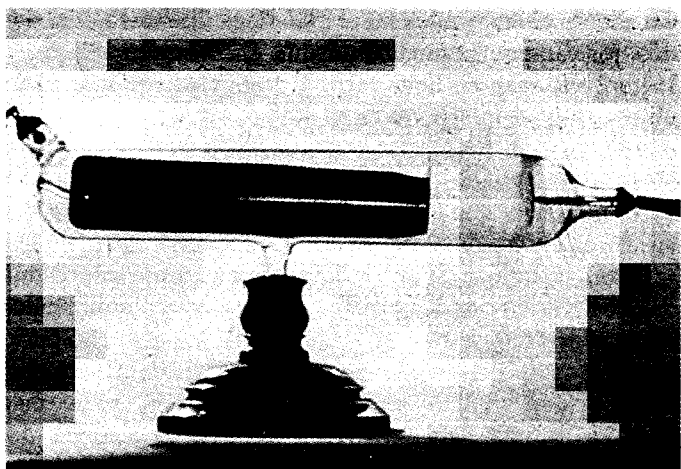


Figura 4. Aparato de rayos catódicos. La trayectoria rectilínea aparece sobre una pantalla con sulfuro de zinc.

belleza del experimento, sino a la convicción ampliamente difundida de que quizás no hay otra rama de la física que nos provea de la oportunidad promisoriosa de penetrar en el secreto de la electricidad.

J.J. Thomson, 1893.

Una cuestión curiosa es que a finales de la década de 1880, Arthur Schuster, un físico inglés de Manchester, había medido con alguna precisión la relación carga/masa para los rayos catódicos, pero no se atrevió a informar su resultado. La razón fue que dicho valor era alrededor de 1000 veces mayor que la del H^+ (como sería informado años más tarde por Thomson). Necesitaba experimentos adicionales para sostener tan atrevida propuesta y los buscó en un error de la velocidad que midió, explicable por las colisiones con las partículas residuales del gas, que lo llevaría finalmente a una relación q/m parecida a la del protón. Una vez más en la historia de la ciencia, un descubrimiento temerario genera el miedo de comunicar el hallazgo porque, como diría Schuster décadas después, “un resultado increíblemente considerado como el de un físico serio, ya que los límites de la heterodoxia científica permitida por la comunidad se alcanza demasiado fácilmente”.

Llegado 1895, y con éste, el descubrimiento de los rayos X por Röntgen, también en un tubo de rayos catódicos, el interés por éstos se exagera aún más. La nueva radiación misteriosa emitida por los minerales de uranio, descubierta por Henry Becquerel en Francia en 1896, atizaría todavía más el debate.

En ese mismo año, dos físicos renombrados, Pieter Zeeman y Hendrick A. Lorentz, demuestran cómo un fuerte campo magnético puede influir en el espectro de la luz emitida por el sodio. Pero, ¿qué tiene que ver esto con nuestro electrón? Nada menos que el valor calculado por ambos para la relación carga/masa de las partículas eléctricas que supuestamente serían responsables de la emisión de dicha luz fue estimada nuevamente en ¡1000 veces la del protón!

Thomson atacó el problema de la medición de la relación carga/masa para los rayos catódicos de la manera más sistemática en la época. Primero confirmó su naturaleza negativa, luego calculó su energía por sus efectos térmicos, con lo que logró evitar su determinación incierta mediante medidas de diferencia de potencial, y finalmente pudo por primera vez desviarlos mediante un campo eléctrico. La presentación de sus primeros resultados en la Real Institución Inglesa en abril fue muy importante, ya que en enero de 1897 ya había aparecido un artículo de E. Wiechert con propuestas que pegaban cerca del blanco. Luego vino otro de W. Kaufmann, en julio, y finalmente el suyo, en octubre.

Aunque su resultado no fue del todo preciso, ya que



Figura 5. No se le ocurra al lector acercar un imán a la pantalla de su televisor, pero esto es lo que pasaría.

obtuvo $e/m \approx 1 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ —compárese con el dato actual de $1.759 \times 10^{11} \text{ C/kg}$ — ese 11 en la potencia de diez era suficiente para mantener que si el “corpúsculo” era portador de la unidad de carga de Stoney, entonces su masa tendría que ser mil veces menor que la del protón.

Thomson continuó llamando “corpúsculo” durante veinte años a la partícula descubierta, aunque poco a poco el término “electrón” de Stoney y de la electroquímica fue el nombre acuñado. Cosa curiosa que los físicos hayan permi-

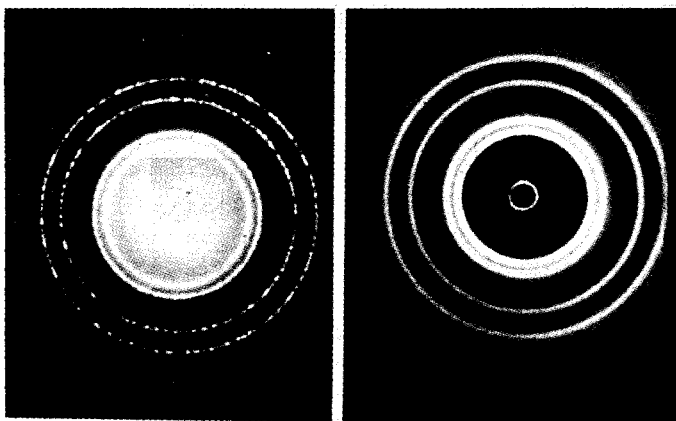


Figura 6. El hijo de Thomson, George Paget Thomson, se encargó en 1927 de verificar que un haz de electrones (derecha) se difractaba al pasar por una lámina metálica delgada, como ocurre con los rayos X (izquierda). Este experimento demostró la naturaleza ondulatoria del que su padre llamó “corpúsculo” durante unos veinte años.

tido el traslado del término desde la tierra de los químicos, lo que ocurrió primero con Larmor, luego con el mismo Lorentz, en 1905 y más tarde por toda la comunidad científica.

Cierro esta editorial con la paradoja de que John Joseph descubra al electrón como “corpúsculo”, con lo que obtiene el Premio Nobel de Física en 1906, y que su hijo, George Paget, lleve a cabo tres décadas después los experimentos cruciales de difracción que confirman la relación de De Broglie para el mismo electrón, demostrando con ello su naturaleza “ondulatoria”, que le hizo merecedor también del Premio Nobel de Física, ahora en 1937.

Padre e hijo envueltos en este rompecabezas complementario de onda y partícula del que todavía tienen mucho que decirnos los físicos de hoy, para que podamos entender mejor qué es eso que Juan José descubrió hace un siglo y que, graciosamente, hoy denotamos amigable pero respetuosa e inquisitivamente como “electrón”. ¡Felicidades electrón, quienquiera que seas!

Andoni Garritz

Si está por terminar
tu suscripción...



¡NO DEJES PASAR
MÁS TIEMPO!