



RAYOS MISTERIOSOS

R. O. Barrachina

1 Introducción

“La física de colisiones atómicas debe su ímpetu inicial a dos descubrimientos separados: Los rayos canales y la radioactividad. Estos descubrimientos fueron realizados con una separación de diez años hacia fines del siglo XIX. Ambos proveyeron a los físicos con haces y rayos de iones y átomos de alta velocidad, que pudieron ser usados para investigar la interacción de iones energéticos con átomos bajo condiciones controladas de laboratorio.”¹

2 El tubo de rayos catódicos

En una conferencia desarrollada en 1879, Sir William Crookes (1832 - 1919) hizo una completa descripción sobre todos los experimentos de rayos catódicos realizados hasta ese momento. Muchos de ellos habían sido realizados en su mismo laboratorio con un equipo relativamente simple, como el que se muestra en la siguiente figura. Un tubo de vidrio con dos electrodos

en su interior, se llenaba de aire o algún otro gas a presión atmosférica. Los electrodos se conectaban a una fuente de tensión del orden de las decenas de voltios. Al disminuir la presión, se comenzaban a observar descargas intermitentes que, a presiones más bajas, se transformaban en un resplandor más o menos uniforme que llenaba todo el tubo. A presiones aún más bajas, se comenzaba a distinguir una zona de oscuridad por detrás de uno de electrodos, y un fuerte brillo por delante, interrumpido por rayas oscuras. Usando la terminología de Faraday, a este electrodo, conectado al polo negativo de la fuente de tensión, se lo denominó *cátodo*. Al otro electrodo se lo llamó *ánodo*. Cuando la presión era muy baja (del orden de 10^{-5} mm de mercurio) la zona de oscuridad llenaba todo el tubo, salvo por una fluorescencia sobre la pared de vidrio en el extremo opuesto al cátodo. Al invertir la polaridad de la fuente de tensión, el brillo se desplazaba al otro extremo. Elementos de distintos materiales colocados entre ambos electrodos, brillaban con colores característicos.

En un cuidadoso experimento, Crookes montó una pantalla de vidrio de



uranio entre ambos electrodos y demostró que un objeto metálico puesto frente al cátodo producía una sombra sobre dicha pantalla. Invirtiendo la polaridad o ubicando el obstáculo frente a ánodo, la sombra desaparecía. Estos resultados se podían interpretar en el sentido de que “algo” parecía estar emanando del cátodo y que era detenido por obstáculos. A esta emisión se le dio el nombre de “descarga catódica” ó “rayos catódicos”. Crookes observó que al cambiar el cátodo plano por otro puntiagudo, las sombras se volvían difusas, lo cual era una indicación de que los rayos catódicos eran emitidos perpendicularmente a la superficie del cátodo y en línea recta. Además descubrió que la localización o la forma geométrica del ánodo no producían ningún efecto sobre la emisión de los rayos catódicos o sobre la sombra producida por obstáculos.

Otros experimentos diseñados por Crookes mostraban que los rayos catódicos podían producir efectos mecánicos, como impulsar unas pequeñas ruedas con aspas de mica², calentar una lámina de platino ubicada en el foco de un cátodo semicircular, o ser desviados por campos magnéticos. Estos resultados convencieron a Crookes de que los rayos catódicos consistían de partículas cargadas emitidas por el cátodo. El físico alemán P. Lenard (1862 - 1947) de la Universidad de Heidelberg, en cambio, sostenía que los rayos catódicos no podían ser partículas, ya que en numerosos experimentos él había observado que podían atravesar láminas metálicas delgadas sin ser desviadas de sus trayectorias rectas. El suponía que debía tratarse de perturbaciones ondulatorias del éter (es decir, ondas electromagnéticas). Experimentos realizados por Hertz que parecían mostrar que los rayos catódicos no podían ser desviados por campos electrostáticos, avalaban esta última propuesta. Esta controversia se mantendría hasta el año 1897, cuando -tal como veremos enseguida- la naturaleza corpuscular de los rayos catódicos sería demostrada por el físico inglés Joseph John Thomson (1856 - 1940). Pero antes debemos mencionar otros dos importantes descubrimientos previos relacionados con el tubo de rayos catódicos.

3 Los rayos canales

El 27 de Julio de 1886, pocos años después de la presentación realizada por Crookes, Helmholtz envió a la Academia de Berlín un trabajo realizado en el laboratorio de Postdam por un antiguo estudiante suyo, Eugen Goldstein³. En este trabajo, Goldstein daba a conocer el descubrimiento de una nueva forma de radiación. Para ello había diseñado un tubo vidrio con dos compartimientos separados por un disco metálico circular con perforaciones. Una de las cámaras era un tubo de rayos catódicos convencional, con el disco perforado haciendo las veces de cátodo. Goldstein encontró que la descarga catódica en dicho compartimiento estaba acompañada por el paso de algún tipo de “rayos” a través de las perforaciones hacia la otra cámara. De alguna manera estos rayos se hacían visibles por el resplandor del gas residual y sólo se observaban si el cátodo estaba perforado. Por lo tanto, y a causa de su aparente relación con las perforaciones o “canales” del cátodo, Goldstein denominó a esta radiación “Kanalstrahlen” o *rayos canales*. Sus intentos de desviar estos rayos con campos eléctricos o magnéticos no tuvieron éxito.

Este era un efecto tanto ó más incomprensible y evidentemente secundario frente al de la descarga catódica. Por ello se le prestó muy poca atención. Tal como veremos en un momento, recién en 1898, Wilhelm Wien retomó el estudio de este fenómeno, formulando una hipótesis sobre su naturaleza.

4 Eugen Goldstein

En su libro *Recuerdos y reflexiones*⁴, el físico inglés J. J. Thomson escribió la siguiente semblanza de Eugen Goldstein:

“Entre los visitantes extranjeros (al congreso de la Asociación Británica en Winnipeg en 1909) debo mencionar especialmente al Dr. E. Goldstein de Berlín, uno de los primeros investigadores de la descarga de electricidad en gases y quien, en el curso de investigaciones que se extendieron por más de cincuenta años,



descubrió muchos y muy importantes fenómenos. Era estudiante de Helmholtz y trabajó primero en el Laboratorio de Física de Berlín y más tarde en el Observatorio de Postdam. Su primer trabajo fué publicado en 1874 y fué seguido por una rápida sucesión de otros, cada uno conteniendo descubrimientos interesantes. Por estos descubrimientos recibió la medalla Hughes de la Real Sociedad en 1908. Murió en 1930 a la edad de ochenta años.”

5 Los rayos X

El tercer descubrimiento realizado con el tubo de rayos catódicos ocurrió en 1895, y fue sin duda el más sorprendente de todos. De manera completamente accidental, Wilhelm Roentgen (1845 - 1923), profesor de física en Würzburg, observó que una pantalla de papel cubierto con un material fluorescente (platinocianuro de bario) brillaba intensamente cuando se encendía un tubo de rayos catódicos. ¡Y esto ocurría aún cuando el tubo estuviera perfectamente cubierto por un cartón negro y a más de dos metros de distancia de la pantalla!.

Ante semejante observación, Roentgen decidió abandonar su línea de investigación, y dedicarse de lleno a este nuevo y sorprendente fenómeno. Inmediatamente supuso que algún tipo de radiación emanaba del tubo de rayos catódicos. Sin embargo, verificó que la intensidad del resplandor variaba poco o nada al interponer entre el tubo y la pantalla objetos tales como papel, madera, hule o, inclusive, láminas delgadas de aluminio (todos materiales opacos a la luz ordinaria). De todos los materiales que probó, sólo el plomo, y en un grosor de al menos un milímetro y medio, era opaco a estos rayos. Roentgen describió estos resultados en un trabajo presentado en Diciembre de 1895. No podemos ni siquiera imaginar el impacto que este nuevo fenómeno provocó a nivel mundial, y no sólo en el mundo científico. Por ejemplo, en su primer trabajo Roentgen había escrito

“Si se sostiene la mano entre la descarga del tubo y la pantalla, la sombra más oscura de los huesos se ve dentro de la sombra

ligeramente oscura de la mano.”

Como la emulsión fotográfica era sensible a estos rayos, ¡Roentgen pudo tomar así las primeras fotografías del interior del cuerpo humano!. Estas fotografías produjeron una impresionante sensación pública y rápidamente comenzaron a ser utilizadas por los médicos como herramienta de diagnóstico. A nadie pudo sorprender, entonces, que el primer premio Nobel de Física, otorgado en 1901, fuera entregado a Wilhelm Roentgen por su importante descubrimiento.

Teniendo serias dudas sobre su naturaleza, Roentgen decidió llamar a esta nueva emanación con el nombre de *rayos X*. Probando con prismas de distintos materiales, Roentgen encontró que, aparentemente, estos rayos X no podían ser refractados y, por lo tanto, tal vez fuera imposible enfocarlos por medio de lentes. Además, a diferencia de los rayos catódicos, los rayos X no podían ser desviados por campos magnéticos. Evidentemente, este era un efecto completamente diferente al de los rayos catódicos. Tal vez, la diferencia más sorprendente fuera que, mientras los rayos catódicos sólo podían penetrar unos pocos milímetros en el aire, esta nueva radiación recorría distancias de varios metros.

Parecía obvio que los rayos X eran de naturaleza electromagnética, pero, ¿cuál era su origen?. Al respecto, en su trabajo de 1895, Roentgen escribió lo siguiente:

“... la mancha brillante sobre la pared del tubo de descarga puede ser considerada como el punto a partir del cual radian los rayos X en todas direcciones... (Los rayos X) son producidos por los rayos catódicos en la pared de vidrio del aparato de descarga. Esta producción no ocurre solamente en el vidrio, sino que, como he podido observar en un aparato encerrado por una placa de aluminio de dos milímetros de espesor, también ocurre en este metal. Otras sustancias van a ser examinadas posteriormente.”

En estudios posteriores se confirmó que, de alguna manera desconocida, los rayos X eran producidos por el impacto de los rayos catódicos sobre diferentes materiales. Los tres tipos de radiación: rayos catódicos, rayos canales



y rayos X, estaban evidentemente relacionados entre sí, y el impacto producido por los descubrimientos de Roentgen actuaría como el disparador de una serie de investigaciones que finalmente permitirían entender el origen de estos extraños efectos, dando nacimiento a la física atómica, y conduciendo -en apenas unos pocos meses- a otro descubrimiento aún más sensacional.

6 Los rayos Becquerel

En una conferencia dictada poco antes de su muerte en 1937, Ernest Rutherford -de quien nos ocuparemos más adelante- describió el impacto producido por el descubrimiento de Roentgen en los siguientes términos:

“Pocos de ustedes pueden posiblemente darse cuenta de la enorme sensación producida por el descubrimiento de los rayos X por Roentgen en diciembre de 1895. Interesó no solamente al científico, sino también al hombre común, quien estaba excitado por la idea de ver su propio interior y sus huesos. Todos los laboratorios del mundo sacaron sus viejos tubos de Crookes para producir rayos X...”

Y luego continuaba describiendo los pasos que llevaron a otro sensacional descubrimiento

“Estos antiguos tubos de Crookes mostraron que los rayos catódicos tienen el poder de causar una fosforescencia brillante en un gran número de sustancias y también se observó que los rayos X parecían venir de los puntos sobre los cuales aquellos incidían. Esto llevó a pensar que los rayos X podrían estar relacionados en alguna forma con la fosforescencia. Quizás esas sustancias fosforescentes podrían emitir rayos X. Un número de investigadores en el continente hizo experimentos sobre este asunto, entre otros Henri Becquerel de París. Esto ocurría a los dos meses del anuncio del descubrimiento de Roentgen. Su padre, un profesor, también había estado muy interesado en la fosforescencia, particularmente en medir su duración. Y

también había estado interesado en las propiedades poco comunes mostradas por los compuestos de uranio. Henri Becquerel ayudaba en el trabajo a su padre y quince años antes, en 1880, se había divertido haciendo unos cristales del doble sulfato de uranio y potasio, los cuales brillaban en forma hermosa cuando eran expuestos a la luz.”

“En su búsqueda de una relación entre la fosforescencia y los rayos X, Becquerel colocó un número de sustancias fosforescentes, envueltas en papel negro, sobre una placa fotográfica, pero sus resultados fueron enteramente negativos. Entonces se le ocurrió probar con cristales de una sal de uranio. Primero los expuso a la (luz solar) para hacerlos fosforecer y luego los envolvió en papel negro y los colocó sobre una placa fotográfica. Después de una exposición de varias horas, al revelarse la placa, se observó un marcado efecto fotográfico. El experimento se repitió con un delgado trozo de cristal colocado entre la sal de uranio y la placa fotográfica a fin de cortar los efectos debidos a posibles vapores, pero nuevamente se obtuvo el efecto fotográfico.”

“Al principio, Becquerel supuso que la emisión de rayos que podían penetrar el papel negro estaba relacionada en alguna forma con la fosforescencia, pero más tarde demostró que los efectos eran igualmente marcados si la sal de uranio se hubiese mantenido previamente en la oscuridad por varias semanas, de manera que no hubiera señal de fosforescencia. Más tarde demostró que todas las sales de uranio, o incluso el metal mismo, tienen el poder de producir radiación que penetra el papel negro. En esta forma él descubrió el fenómeno que hoy en día llamamos *radioactividad*”

Los efectos fotográficos observados por Henri Becquerel, aunque más débiles, eran similares a los producidos por los rayos X, y por lo tanto supuso que la radiación del uranio consistía de rayos X débiles. Esta errónea suposición hizo que al principio los rayos Becquerel despertaran poco interés,



y que toda la atención se centrara en los rayos X más intensos producidos por la descarga de los tubos catódicos.

7 Los rayos N, un ejemplo de ciencia patológica

Para finalizar la descripción de estos sensacionales descubrimientos, debemos mencionar al físico francés Rene Prosper Blondlot de la Universidad de Nancy, quien en 1903 reportó haber observado un nuevo tipo de radiación que -por sus peculiares características- daba un broche de oro a la brillante serie de descubrimientos que había comenzado un cuarto de siglo antes con los rayos catódicos. En el curso de trabajos tendientes a polarizar los rayos X, Blondlot observó que un alambre caliente dentro de un tubo de hierro generaba cierto tipo de radiación, que él denominó *rayos N* en honor de la ciudad donde vivía y de su Universidad. En principio, parecía que los rayos N eran emitidos por casi todas las sustancias con muy contadas excepciones. Un alambre de sulfato de calcio que brillaba débilmente al ser alcanzado por estos rayos, servía como detector. Los rayos N parecían ser invisibles a cualquier otra forma de detección, y podían ser refractados con prismas y lentes de aluminio. En un experimento típico, Blondlot detectaba la radiación N después de desviarla a 60° con un prisma de aluminio.

Rápidamente, los descubrimientos de Blondlot fueron confirmados por otros laboratorios, aunque algunos científicos de Inglaterra y Alemania no habían podido reproducir dichos resultados. Ante este estado de cosas, la revista *Nature* decidió enviar al físico americano Robert W. Wood⁵ a la Universidad de Nancy para investigar, y eventualmente confirmar, el descubrimiento de Blondlot. Robert Wood (autor de un libro clásico sobre *Optica física* y descubridor del fenómeno de fluorescencia atómica) había intentado reproducir las observaciones de Blondlot en la Universidad John Hopkins donde trabajaba, pero sin éxito; y llegó a Nancy con un gran escepticismo. En particular le parecía muy sospechoso que, usando un espectrómetro con una ranura de 2 mm, Blondlot pudiera detectar bandas espectrales de 0.1 mm en el plano focal. Wood pensaba que todo era un engaño, y para demostrarlo decidió tenderle una trampa a Blondlot. Le

pidió que le hiciera una demostración del funcionamiento de su aparato, y aprovechando la oscuridad necesaria durante la medición, removió el prisma de aluminio. Sin este elemento, el aparato no podía funcionar. Sin embargo, cuando el asistente de Blondlot realizó el experimento, detectó rayos N. Entonces, Wood intentó colocar el prisma en el aparato. Pero esta vez, el asistente de Blondlot lo advirtió. Sin embargo pensó equivocadamente que Wood había quitado el prisma, cuando en realidad lo había vuelto a poner en su lugar. Y esta vez, el asistente juró que “por algún motivo” no podía ver ningún rayo N refractándose en el prisma. O sea que había visto rayos N cuando no debía, y había dejado de verlos cuando el equipo funcionaba correctamente. Wood publicó esta pequeña “investigación” en *Nature* en 1904, y los rayos N desaparecieron rápidamente de la literatura científica.

Es poco creíble que un científico con la reputación de Blondlot haya fabricado un engaño de tal calibre. Más probablemente la causa hay que buscarla en la psicología de la percepción. Blondlot, sus asistentes y aquellos que en otros laboratorios “confirmaron” el descubrimiento de los rayos N sufrieron un caso de “alucinaciones visuales auto-inducidas”⁶, donde se engañaron a si mismos, observando lo que no existe.

Esta historia se ha contado innumerables veces. En particular, Irving Langmuir la presentó como un ejemplo de ciencia *patológica* en su famoso seminario⁷ de 1953. Sin embargo, es justo comentar que existen ciertas inconsistencias entre el artículo original de Robert Wood y otro publicado en 1940. Esto ha llevado a algunos a sospechar que en realidad

¡Wood nunca quitó el prisma del equipo de Blondlot!

Notas

¹Extraído de Eugen Merzbacher: *Energetic ion-atom collisions: Early beginnings and recent advances*, Invited papers of the XIII International Conference on the Physics of Electronic and Atomic Collisions, edited by J.



Eichler, I. V. Hertel and N. Stolterfoht (Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1984).

²En realidad, cuando la rueda se exponía al haz de rayos catódicos no giraba, a menos que se ubicara de manera tal que algunas de sus aspas quedaran parcialmente cubiertas por la sombra de un objeto metálico.

³E. Goldstein: *Sitzungsberichte der Königlich Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin* **39**, 691 (1886).

⁴J. J. Thomson: *Recollections and Reflections* (MacMillan, New York, 1937).

⁵En 1928, “nuestro” Enrique Gaviola realizó estudios postdoctorales en Estados Unidos bajo la dirección de Robert Wood

⁶M. Gardner: *Fads and Fallacies*, pag. 345 (Dover, New York, ...)

⁷Una reimpresión de esta conferencia puede encontrarse en *Physics Today*, Oct 1989, pag. 36.

