

a leer lo que previamente ha escrito, o le han escrito, en una serie de diapositivas o transparencias. Desde luego no creo que de este tipo de opositores, que ahora en la mayor parte de los casos (dadas las circunstancias actuales) resultan triunfadores de sus oposiciones! (muchas veces ¡sin oponentes!), pueda esperarme el cambio que exige la situación actual de la Universidad.

Pero esperemos, no obstante, que la Universidad, que según una célebre frase que oí en una ocasión al insigne profesor D. Enrique Gutiérrez Ríos (e.p.d.), es un «ente insu-mergible» (tal como se ha visto ex-

perimentalmente a lo largo de la historia), sabrá reaccionar adecuadamente para corregir sus males.

Además de la clase, el profesor de enseñanza presencial dispone de otros medios de enseñanza: seminarios, tutorías y prácticas.

La gran similitud existente entre la utilización de estos medios en la Universidad tradicional y en la Universidad a Distancia, unida a la quizá ya excesiva extensión de este artículo, aconsejan que dejemos pendiente la consideración de estos medios para tratar de ellos en el artículo próximo.

La última fase del proceso didáctico es la evaluación (cuyo estudio detenido queda también pendiente), que tiene tres finalidades:

— Calificar al alumno, a la vista del rendimiento académico que obtiene.

— Evaluar la propia metodología utilizada.

— Retroalimentar a dicha metodología, planificando las correcciones que se estimen necesarias.

Santiago de Vicente Pérez

Depto. de Ciencias Analíticas

TALLER Y LABORATORIO

Iniciamos esta sección, frecuente en muchas revistas de divulgación científica, con el ánimo de difundir aquellos aspectos de la experimentación que por su importancia histórica, su ingeniosidad o por su fácil reproducción en un laboratorio, puedan ser de interés para el estudio de las Ciencias. La hemos subdividido en cuatro apartados, a saber:

1. **Experimentos históricos.** Trataremos de poner en evidencia su importancia científica y describiremos la forma en que fueron llevados a cabo. Hemos elegido, para inaugurar la sección, el descubrimiento de los rayos X por Röntgen en 1895.

2. **El ingenio en el experimento.** A este apartado traeremos aquellos experimentos que suponen un elevado grado de creatividad científica. Nos parece que el experimento realizado por Friedrich Knipping y Laue en 1912 de difracción de rayos X por los cristales es un buen ejemplo de ello.

3. **Experimentos caseros.** Como su nombre indica, se trata de experimentos que puedan realizarse con material de bajo coste. Lo que nos proponemos es traer a esta sección experimentos propuestos por los estudiantes o para los estu-

diantes. Para iniciar el apartado hemos elegido una medición colectiva del radio de la Tierra siguiendo el método de Eratóstenes (276-195 a. J.C.).

4. **Proyectos experimentales.** Nos proponemos incluir en esta sección experimentos sugeridos por alumnos de la UNED, que puedan ser realizados en nuestros laboratorios. Con ello queremos fomentar la iniciativa investigadora de los estudiantes de Ciencias. Comienza este apartado con una propuesta hecha por dos estudiantes de la Sección de Físicas, que se encuentran realizando su proyecto (*estudio de la sonoluminiscencia*) en los laboratorios del Depto. de Física de los Materiales.

Manuel Yuste Llandres
Depto. de Física de los Materiales

El descubrimiento de los rayos X

El 8 de noviembre de 1895 Wilhelm Conrad Röntgen descubrió los rayos X. Este profesor de Física alemán contaba ya con cincuenta años de edad y era rector de la Universidad Julio Maximiliano de Würz-

burg. En su laboratorio de Física proseguía estudios sobre los «rayos invisibles de alta frecuencia», de los que von Helmholtz había preconizado la existencia a partir de la teoría electromagnética de Maxwell. Röntgen utilizaba para el estudio el tubo de rayos catódicos del inglés William Crookes.

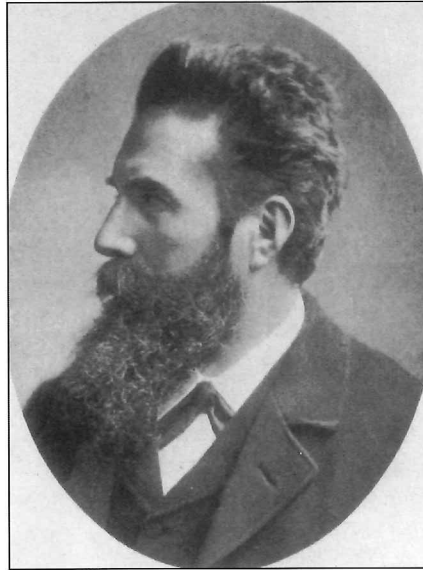
Este último tipo de rayos, los rayos catódicos, distintos de los de alta frecuencia que buscaba Röntgen, ya estaba bastante bien caracterizado en la época. Habían sido puestos de manifiesto por primera vez en 1869 por el físico alemán J. C. Hittorf cuando produjo una descarga eléctrica al aplicar un alto voltaje entre los electrodos de un tubo de vidrio herméticamente cerrado. Al producir la descarga, del cátodo emanaban unos rayos invisibles que al chocar contra las paredes del tubo las tornaban fosforescentes. Diez años más tarde, Crookes, aplicando las técnicas de alto vacío y elevando el potencial aplicado a los electrodos, repitió el experimento y demostró que dichos rayos se desviaban de su trayectoria por la acción de un imán. El tubo de Crookes es uno de los precursores de los tubos de televisión actuales.

La interpretación correcta de estos fenómenos no llegaría hasta el descubrimiento del electrón a fina-

les del siglo XIX y el desarrollo de la Física Atómica en las primeras décadas del siglo XX. En su época, William Crookes pensaba que el gas enrarecido en el interior del tubo se había transformado en un cuarto estado de la materia, al que denominó «estado radiante». Los físicos de la escuela alemana pensaban, sin embargo, que estos fenómenos eran manifestaciones de las propiedades del éter, medio en el que se producían y propagaban las ondas electromagnéticas de Maxwell. Uno de sus más eminentes seguidores era von Helmholtz, que estudiaba a fondo las consecuencias de la teoría electromagnética y que había encargado a dos de sus colaboradores, Heinrich Hertz y Conrad Röntgen, que comprobasen experimentalmente las predicciones de dicha teoría. En 1887, Hertz demostró la existencia de las ondas electromagnéticas, produciéndolas y detectándolas con su famoso oscilador. Un año más tarde, Röntgen verificó que un dieléctrico moviéndose en el seno de un campo eléctrico inducía una fuerza magnética que actuaba sobre el propio dieléctrico.

Por aquella época, Helmholtz llegó a la conclusión de que se deberían producir rayos invisibles de una frecuencia mucho más elevada que la frecuencia de vibración de los dipolos eléctricos de los medios materiales. Al ser tan diferentes las frecuencias, este nuevo tipo de rayos interaccionaría muy débilmente con la materia y penetraría muy profundamente en ella, atravesándola en la mayoría de los casos. Röntgen se propuso buscar esta radiación de alta frecuencia en los tubos de descarga de Crookes, puesto que pensaba que la radiación en ellos producida era consecuencia de las propiedades físicas del éter. Por esta razón bajó a su laboratorio la tarde del 8 de noviembre de 1895, hace ahora un siglo.

Para tener alguna posibilidad de observar la radiación de alta frecuencia, se proponía utilizar una pantalla de platinocianuro de bario, que George G. Stokes había desa-



W.C. Röntgen.

rollado depositando una fina capa de cristallitos de esta sal sobre una hoja de papel. Aquella tarde, Röntgen se dedicó a la tarea de camuflar la radiación fluorescente que provenía del tubo, producida por los rayos catódicos al chocar con sus paredes. Estos rayos no atravesaban el vidrio, como se había comprobado al colocar placas de este material cerca del tubo y observar que no se producía en ellas fluorescencia alguna. Cubrió todo el dispositivo con cartón negro y cerró las cortinas de las ventanas del laboratorio para producir la oscuridad. Accionó el interruptor del carrito de Ruhmkorff que utilizaba para aplicar un alto voltaje al cátodo y se dedicó a mirar si se escapaba alguna luz del dispositivo. Cuando lo estaba haciendo, por el rabillo del ojo observó un pequeño resplandor intermitente que se producía en la pantalla de platinocianuro de bario, que todavía no había colocado en el lugar que él destinaba para la detección, y que se encontraba en una esquina de la mesa, a más de un metro de distancia del tubo. Desconectó el cerrete de Ruhmkorff y el resplandor desapareció. Repitió la operación varias veces y siempre obtenía el mismo resultado: al conectar el carrito el resplandor aparecía y al desconectarlo desaparecía. Colocó un cartón negro entre el tubo y la pantalla y seguía observando el resplandor.

Interpuso un libro de mil páginas y el resplandor subsistía. Lo mismo sucedía si utilizaba una tabla de madera de dos centímetros y medio de espesor. Había que concluir que si se producía otro tipo de radiación distinta de las detectadas hasta la fecha, ésta parecía ser muy penetrante, puesto que atravesaba objetos materiales de espesor considerable.

Acercó la pantalla a la salida del tubo y observó una fluorescencia más intensa y de color verde. Alejó la pantalla a más de dos metros y aún obtenía el mismo resultado. Probó entonces interponiendo láminas de aluminio, cobre, plomo y platino. Solamente las de plomo y platino eran capaces de detener esa «*neue Art von Strahlen*» (nueva especie de rayos), que él bautizó como *rayos X* por desconocer su naturaleza. Además, observó que la sombra que proyectaban las placas de plomo y platino sobre la pantalla al obstruir los rayos X tenían los bordes nítidos. Estos rayos se propagaban en línea recta.

Tomó un disco de plomo con los dedos y lo interpuso entre el tubo y la pantalla. Su sorpresa fue aún mayor porque, además de la silueta del disco, observó sobre la pantalla la sombra que proporcionaban los huesos de su mano. Algunos días más tarde, el veintidós de diciembre, invitó a su esposa Berta a bajar a su laboratorio; le hizo colocar su mano derecha entre el tubo y una placa fotográfica y obtuvo la primera radiografía de la Historia. Los huesos de la mano de Frau Röntgen quedaron fotografiados para la posteridad, junto con el anillo que lucía en uno de sus dedos. Un bonito regalo de Navidad.

Esta fotografía y el descubrimiento de los rayos X dieron rápidamente la vuelta al mundo y se hicieron populares. Una pequeña prueba de esto la encontramos en el *Tratado elemental de Física* de Bartolomé Feliú Pérez, catedrático de la Universidad de Zaragoza, que en 1896, solo algunos meses después



Radiografía de la mano de Berta Röntgen.



Una radiografía cien años después, realizada por el Dr. Juan Luis Maza Martín (médico de la UNED).

del descubrimiento, ya lo incluía en uno de los apéndices del libro, proporcionando noticias sobre los diversos trabajos que en la época se estaban llevando a cabo sobre las aplicaciones de estos rayos.

Los rayos X estuvieron presentes en experimentos anteriores al de Röntgen, pero los investigadores que los realizaron, o el estado de la Ciencia en esos momentos, no estaban preparados para el descubrimiento. Así sucedió con el propio Crookes, que hacia 1880 observó cómo se le velaban unas placas fotográficas que, herméticamente cerradas en su caja, tenía cerca del tubo de rayos catódicos en funcionamiento. Lo atribuyó a un defecto de fabricación y se quejó por ello a su proveedor. Algo parecido le sucedió a Philipp Lenard hacia 1888 cuando trataba de detectar radiación ultravioleta procedente del tubo de rayos catódicos. Observó fluorescencia fuera del tubo. Cuando repitió el experimento en 1893, con vacío y voltaje más elevados, volvió a observar fluorescencia sobre su pantalla y ennegrecimiento de una película fotográfica, pero no llegó a comprender la causa. Otro físico, el norteamericano Arthur W. Goospeed, profesor de la Universidad de

Pensilvania, en 1890 obtuvo, sin proponérselo, la radiografía de dos monedas que estaban sobre una placa fotográfica, guardada en su estuche cerca de un tubo de rayos catódicos en funcionamiento. Tampoco se percató de la importancia del asunto.

Volviendo a Röntgen, sí podemos hablar *a posteriori* de algunas circunstancias fortuitas por las que él pudo observar los rayos X y los otros no. La pantalla utilizada por él contenía átomos pesados, y la eficiencia de producción de fotoelectrones por interacción con los rayos X (fotoelectrones que son responsables de la posterior fluorescencia) aumenta con la cuarta potencia del número atómico. A este respecto, la pantalla de platino-cianuro de bario de Röntgen era cien veces más eficaz que la de Lenard. Por otra parte, los rayos X producidos en el experimento de Röntgen, que se deben al brusco frenado de las cargas eléctricas de los rayos catódicos en las paredes del tubo («*bremsstrahlung*»), presentan un pico de intensidad entre 20 y 30 keV. El calcio de los huesos y las sales de plata de la emulsión fotográfica tienen un máximo de absorción para los rayos X pre-

cisamente a esas energías. Por eso pudo Röntgen obtener fácilmente la radiografía de la mano de su esposa Berta. Por estas razones y, sobre todo, porque andaba buscando los rayos invisibles de alta frecuencia y elevada penetración en la materia, Röntgen fue capaz de descubrir los rayos X.

En los trabajos de investigación la suerte sonrío a veces, pero sólo los que están preparados para recibir esa sonrisa son capaces de apreciar su valor. Es el caso de Wilhelm Conrad Röntgen, que obtuvo en 1901 el primer Premio Nobel de Física de la Historia por este descubrimiento.

Nota: Para ahondar más en el tema, el lector curioso puede leer el artículo titulado «*Wilhelm Conrad Röntgen and the glimmer of light*», de **Howard H. Seliger**, aparecido en *Physics Today* en noviembre de 1995.

Manuel Yuste Llandres
Depto. de Física de los Materiales

El experimento de Friedrich, Knipping y Laue (1912)

Entre los experimentos decisivos para la evolución de nuestra comprensión del mundo físico, no hay duda que el de la difracción de los rayos X por los cristales, llevado a cabo por Max Laue en 1912, es uno de los más significativos, no sólo por las características intrínsecas del mismo y las consecuencias que de él se derivaron, sino porque desvela facetas a menudo soslayadas al considerar la creación científica.

Como se expone, con mayor o menor detalle, en gran parte de los textos que se ocupan, a distintos niveles, de la estructura de la materia, y, en concreto, de la física del estado sólido [1], nos detendremos sólo en resaltar las circunstancias que lo propiciaron, el impacto y desarrollo posteriores y los temas de reflexión a que nos invitan.