

A cien años de las observaciones de Becquerel: los descubrimientos de la radiactividad

María Ester Brandan

Instituto de Física, UNAM

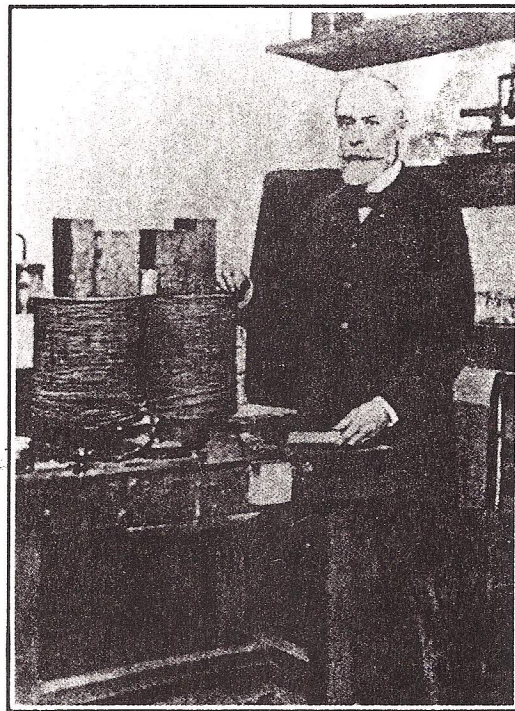
Un hecho definitivamente importante

La Academia de Ciencias francesa se reunía cada lunes y los miembros tenían la oportunidad de presentar los resultados de sus investigaciones más recientes. En la sesión del 20 de enero de 1896, el académico Henri Poincaré, de la sección de Geometría, informó a sus colegas sobre los descubrimientos que el científico alemán Wilhem Conrad Roentgen había realizado a fines de diciembre pasado. Roentgen había observado que en su tubo de rayos catódicos se producían rayos de naturaleza desconocida, referidos por consiguiente como rayos-X, que poseían un gran poder de penetración. Entre otras propiedades interesantes, los rayos-X causaban fosforescencia, tanto en la pared de vidrio del tubo, como en sustancias fosforescentes ubicadas afuera del tubo.

En Francia, la fosforescencia había sido estudiada con entusiasmo por Alexandre-Edmond Becquerel, un científico fallecido 5 años antes de los hechos que relatamos, y cuyo hijo Henri estaba presente en la Academia durante el anuncio de Poincaré. Henri Becquerel, quien contaba con un doctorado de la Sorbona, había ingresado a la Academia a los 39 años de edad y, tal como habían sido antes su padre y abuelo, era director del Museo de Historia Natural en París. Al escuchar las noticias de los rayos-X, Becquerel, fiel a la tradición familiar en el estudio de los fenómenos fosforescentes, decidió investigar de inmediato si los cuerpos fosforescentes emitirían rayos similares. Su idea era averiguar si la fosforescencia del tubo de rayos catódicos de Roentgen no sería la fuente emisora de los rayos-X.

En la sesión de la Academia del 24 de febrero Becquerel ya tenía resultados que presentar, y lo hizo con todo detalle. Usando sales cristalinas de uranio, que se sabía poseían propiedades fosforescentes, dispuestas como laminillas de manera de formar "una capa delgada y transparente, he hecho

el experimento siguiente: Se envuelve una placa fotográfica... con hojas de papel negro bien gruesas, de modo que la placa no se vele por una exposición al Sol, durante un día. Se pone sobre la hoja de papel, en el exterior, una placa de la sustancia fosforescente [las sales de uranio] y se expone todo al Sol durante varias horas. Cuando se revela la



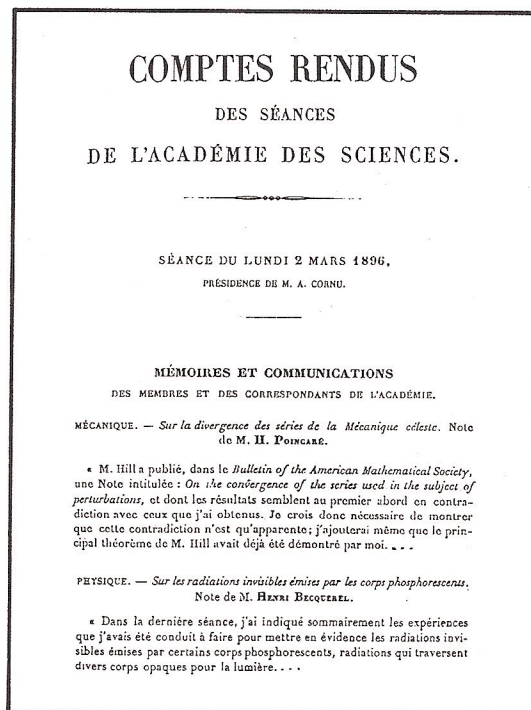
H. Becquerel en su laboratorio. Descubrió la radiactividad natural en 1896.

placa fotográfica, se reconoce que la silueta de la sustancia fosforescente aparece en negro sobre el cliché... Se debe entonces concluir de estos experimentos que la sustancia fosforescente en cuestión emite radiaciones que atraviesan el papel opaco a la luz y reducen las sales de plata". Becquerel pensaba, erróneamente, que era la luz solar la que causaba que el sulfato de uranio y potasio emitiera, además de la luz de la fosforescencia, radiación penetrante similar a los rayos-X.

Después de su primer informe "sobre las radiaciones emitidas por las sustancias fosforescentes", Becquerel continuó la investigación, ahora interponiendo una cruz hecha con lámina de cobre entre el papel negro y las sales de uranio. Lo que esperaba ver en la placa desarrollada era la silueta de la cruz debido a que la radiación penetrante no sería capaz de atravesar el cobre. Pero, en febrero no siempre sale el sol en París, y así ocurrió el miércoles 26 y el jueves 27. Al no poder exponer las sales a la luz solar, Becquerel guardó la placa fotográfica cubierta de tela negra en el fondo de un cajón, con las sales de uranio encima. Como el sol seguía sin salir, el 1 de marzo reveló la placa, esperando encontrar una imagen muy débil. Y lo que observó fue un hecho que, en sus palabras ante la Academia el lunes 2 de marzo, "me parece definitivamente importante y fuera de los fenómenos esperados... las siluetas aparecieron, por el contrario, con gran intensidad". De inmediato realizó una nueva observación, de sólo cinco horas de exposición de la placa a las sales en total oscuridad, con resultados similares. Becquerel concluyó el segundo reporte a la Academia proponiendo: "Una hipótesis que se presenta de manera natural al espíritu sería suponer que estas radiaciones, cuyos efectos tienen gran analogía con los efectos producidos por las radiaciones estudiadas por los Sres. Lenard y Roentgen, serían radiaciones invisibles emitidas por fosforescencia... Los experimentos que yo hago en este momento podrán, yo lo espero, aportar alguna aclaración sobre este nuevo tipo de fenómenos".

Becquerel había "descubierto" la radiactividad, pero su explicación era incorrecta.

Becquerel siguió experimentando y poco a poco fue descubriendo algunas propiedades de la emisión radiactiva (aún no bautizada así) que la diferencian de la fosforescencia. La larga persistencia de la emisión radiactiva, observada en placas expuestas a sales durante varias semanas, era un misterio sin explicación, así como la ausencia de efecto cuando la irradiación se hacía con otras sustancias fosforescentes como el sulfato de calcio. El 18 de mayo de 1896 Becquerel presentó un nuevo informe a la Academia resumiendo dos meses de observaciones, en que declara "he sido llevado a pensar que el efecto es debido a la presencia del elemento uranio en estas sales". Propone el término "fosforescencia invisible" para el fenómeno. Después de ésta, hay sólo dos comunicaciones de Becquerel relativas al fenómeno, en no-



Ejemplar de las actas de la Academia de Ciencias, correspondiente a la sesión del 2 de marzo de 1896 en que Henri Becquerel presentó su trabajo "Sobre las radiaciones invisibles emitidas por los cuerpos fosforescentes".

viembre del mismo año y en marzo de 1897. Evidentemente, la radiactividad no tuvo el impacto inicial que había tenido el descubrimiento de los rayos-X.

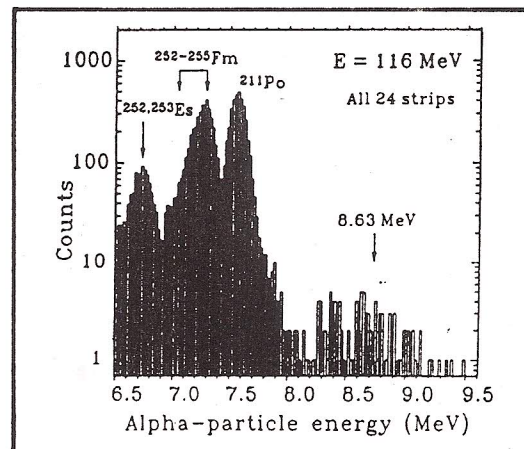
Nuevos descubrimientos radiactivos

En diciembre de 1897 una nueva serie de experimentos que harían historia comenzaba en una bodega de la Escuela Municipal de Física y Química Industriales en París. Allí, el profesor Pierre Curie daba clases y ofreció espacio en su "laboratorio" a su esposa, Marie Sklodowska Curie, quien había decidido iniciar su tesis doctoral en Física en la Sorbona. El tema, el estudio experimental de las propiedades de los "rayos de Becquerel", fue probablemente inspirado por el trabajo que el científico británico William Thomson, Lord Kelvin, había realizado a comienzos de ese año en Glasgow, midiendo la ionización producida en aire

por los rayos-X y por las emanaciones del uranio. Trabajando con sales de uranio similares a las que había usado Becquerel, las observaciones de Marie Curie rápidamente produjeron resultados: el 12 de abril de 1898 comunicó a la Academia que todos los compuestos del uranio son "activos", y también los del torio. La observación llevaba implícita la noción de que esta actividad sería un fenómeno atómico, postura no trivial en una época en que la estructura atómica de la materia era aún un tema de discusión. Como Marie Curie no era miembro de la Academia sus resultados debieron ser presentados por un académico, en este caso, el Prof. Gabriel Lippmann¹. El 18 de julio del mismo año, Henri Becquerel presentó dentro del área de Físico-Química una nueva comunicación, firmada por Pierre y Marie Curie, con el título "Sobre una Nueva Sustancia Radio-activa, Contenida en la Pechblendá". Esta es la primera vez que se le llamó radiactividad al nuevo fenómeno natural, y el reporte contenía evidencias de que un nuevo elemento, para el que se sugiere el nombre polonio, había sido encontrado en los minerales de uranio. Este trabajo, en que se usó por primera vez la radiactividad como herramienta para un descubrimiento, mereció en diciembre del mismo año uno de los reconocimientos de la Academia, el Premio Gegner, asignado a Madame Curie². En la misma fecha, diciembre de 1898, los Curie reportaban la posible existencia de otro nuevo elemento, el radio.

Los avances siguieron a gran velocidad. En 1898 se publicó el primer trabajo del neozelandés Ernest Rutherford quien, en el Laboratorio Cavendish de Cambridge, comenzaba a estudiar las propiedades de los rayos de Becquerel. En este trabajo, Rutherford descubría que existían al menos dos tipos de radiación: "una que es fácilmente absorbida, que por conveniencia será llamada la radiación-alfa, y la otra, de naturaleza más penetrante, que será llamada la radiación-beta". Diez años de trabajo intenso más tarde, Rutherford y Geiger podían declarar que las partículas alfa eran "átomos de helio". En 1900 P. Villard en París, trabajando con películas fotográficas expuestas a las emisiones del radio, descubría que de éste salían radiaciones "muy penetrantes". Su naturaleza no fue inmediatamente descubierta, y en 1912 todavía Rutherford postulaba con cautela que rayos-X y gamma podrían ser un mismo tipo de radiación. El asunto se aclaró definitivamente en 1914 cuando Rutherford y Andrade observaron la reflexión de rayos gamma de superficies cristalinas.

En cuanto a los rayos-beta, en 1900 los Curie midieron su



Espectro de partículas-alfa detectado durante la reacción $^{248}\text{Cm} + ^{22}\text{Ne}$ a 116 MeV. El grupo de 8.63 MeV son partículas alfa emitidas por el isótopo $^{266}\text{106}$ que se forma durante la reacción. En este trabajo se descubrieron dos nuevos isótopos, el $^{265}\text{106}$ y el $^{266}\text{106}$. (Lazarev *et al.*, *Phys.Rev.Lett.* 73 (1994) 624).

carga eléctrica y la encontraron negativa. En 1902, W. Kaufmann, quien expuso rayos-beta del radio a campos eléctricos y magnéticos (así podía seleccionar los rayos-beta de baja energía para sus medidas de e/m , y los de velocidades cercanas a la de luz para la investigación de la relación entre masa, velocidad y energía) concluyó que la masa de las partículas negativas encontradas en los rayos de Becquerel coincidía con aquella medida a los rayos catódicos; es decir, los rayos-beta eran electrones.

El haber identificado las emisiones no explicaba el fenómeno y pasaron más de 25 años desde la observación de Becquerel antes de entender por qué algunos núcleos son radiactivos. Grandes incógnitas acompañaron el trabajo experimental de estos años. Las preguntas más importantes se referían al origen de la energía —aparentemente inagotable— que se libera en una emisión radiactiva y al significado de la vida media característica de cada elemento radiactivo. Ahora sabemos que las respuestas reque-

¹ En realidad, Marie Curie no fue nunca miembro de la Academia. En 1911, después de haber obtenido el primer Premio Nobel, su solicitud de ingreso fue rechazada. Las razones no fueron académicas sino de principios: era mujer y nunca en sus 215 años el Instituto de Francia había admitido a una mujer entre sus miembros. Habrían de pasar otros 51 años antes que Marguerite Perey, la descubridora del elemento francio, fuera la primera mujer en la Academia de Ciencias.

² La Academia informó a la ganadora de su premio a través de una carta dirigida a su esposo. Probablemente, otra razón de principios.

rían de conceptos no existentes hace cien años. ¿Cómo podría comprenderse en 1898 el origen nuclear de la energía radiactiva si no existía todavía el concepto de núcleo? Este nació con el trabajo de Rutherford de 1911, pero no fue hasta 1932, en que se descubrió el neutrón, que se pudo comprender la estructura nuclear. Desde un punto de vista teórico, era necesario conocer la equivalencia entre masa y energía propuesta por Einstein en 1905 y las leyes de la mecánica cuántica, generadas cerca de 1925, para comprender las transiciones nucleares que originan la emisión radiactiva de partículas y radiación.

Entre los trabajos experimentales que intentaron resolver algunas de estas dudas podemos mencionar la medida por Pierre Curie y Albert Laborde en 1903 de la energía liberada durante el decaimiento del radio; usaron un calorímetro y encontraron que 1 g de radio podía calentar 1.3 g de agua desde 0 a 100° Celsius en una hora. Esta noticia causó gran revuelo y fue la causa del gran interés del público mundial por el radio y la consiguiente fama de los Curie. En relación al origen de esta energía los autores están dispuestos a aceptar "una fuente de energía exterior [al radio] de naturaleza desconocida"... Ese mismo año Rutherford propuso una "ley de conservación de la radiactividad" según la cual este proceso no sería "creado, alterado o destruido". En esta línea de investigación, se realizaron estudios que determinaron la independencia de la radiactividad de la temperatura. Pierre Curie repitió su medida de energía liberada a temperaturas de aire líquido con Dewar en Londres, Marie Curie hizo lo mismo en Leiden con Kamerlingh Onnes a temperatura de nitrógeno líquido y Rutherford puso una fuente radiactiva en un aparato explosivo y comprobó que no había cambios en la radiactividad a temperaturas de hasta 2500° C.

En relación al significado de la vida media y el decaimiento radiactivo, las explicaciones de comienzos de siglo se basaban en la posible acción de factores externos que, sin embargo, no eran afectados por la temperatura. En 1916 Einstein, en su estudio de la emisión espontánea e inducida de fotones por transiciones atómicas comprendió que la ley del decaimiento radiactivo (similar a su resultado para emisión espontánea) sólo se podía entender dentro del contexto de la mecánica cuántica. No fue hasta 1926 que Dirac realizó la derivación cuántica del coeficiente de emisión espontánea.

En 1928, George Gamow e independientemente Ronald Gurney y Edward Condon descubrieron que el decaimiento alfa era un caso de efecto túnel a través de una barrera de potencial, predicho por la mecánica cuántica. En su publicación en *Nature*, Gurney y Condon cierran una época diciendo "Hasta ahora ha sido necesario postular una 'inestabilidad' arbitraria del núcleo; pero en la siguiente nota se señala que la desintegración es una consecuencia natural de las leyes de la mecánica cuántica sin ninguna hipótesis especial".

Radiactividad hoy

A la reseña anterior se podrían agregar muchos más ejemplos de descubrimientos en radiactividad que han estado asociados a avances de gran significado en la física moderna. La explicación del decaimiento beta, por ejemplo, que llegó a poner en entredicho la conservación de la energía en 1910, debió esperar hasta que se descubriera el neutrón (1932) y se desarrollara la teoría de campos para encontrar una explicación exitosa en el trabajo de Fermi (1934), y la confirmación final al descubrirse el neutrino en 1956.

La desintegración radiactiva sigue siendo, un siglo después, un área de investigación interesante. En 1994 se publicaron más de 200 artículos en investigación básica relacionada con el decaimiento radiactivo. Modalidades poco frecuentes de decaimiento se han identificado recientemente, como es la emisión radiactiva de ^{14}C por los núcleos ^{222}Ra y ^{224}Ra . Uno de los proyectos más ambiciosos del momento es la búsqueda del decaimiento del protón que, de ser observado, cambiará la visión actual de las interacciones fundamentales. Muchos trabajos hacen uso del decaimiento radiactivo como herramienta de trabajo, por ejemplo en la identificación de los nuevos isótopos que han demostrado la existencia de nuevas islas de estabilidad cerca de $Z=108$ y $N=162$. Han sido cien años de arduo y fructífero trabajo.

Agradecimientos

Agradezco la hospitalidad del Cyclotron Institute de la Universidad Texas A&M, donde se realizó parte de la investigación bibliográfica de este trabajo.

Bibliografía

- Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences*, años 1896-1898.
- Abraham Pais, *Inward Bound*, Oxford University Press, Oxford, 1986.
- Susan Quinn, *Marie Curie*, Simon & Schuster, New York, 1995.