

Una descripción del experimento de los Curie



J.M. López Sancho¹ (IFF-CSIC. El CSIC en la Escuela)
E. Moreno Gómez² (VACC-CSIC. El CSIC en la Escuela)
1. josem.lopez@csic.es 2. esteban@orgc.csic.es

Palabras clave

Curie, radiactividad, Roentgen, Rutherford, experimento, cámara ionización, piezoeléctrico, electrómetro.

Resumen

Describimos brevemente los antecedentes y el paradigma científico que rodearon las experiencias de los Curie a principios del siglo XX.

Realizamos un estudio del equipamiento utilizado en el laboratorio de Marie Curie con los esquemas de funcionamiento de los distintos instrumentos de medida y, a modo de ejemplo, recreamos un proceso típico de medida de los realizados por Marie Curie.

Esta publicación se complementa con el *Laboratorio Curie* publicado en el Museo Virtual de la Ciencia del CSIC.

Antecedentes

Estamos en 1897. Roentgen acaba de descubrir los rayos X. Entre otras propiedades tienen la capacidad de atravesar cuerpos opacos y de ionizar los gases y hacerlos conductores. Esta última característica la descubrió utilizando un aparato similar al que presentamos en la figura siguiente.

Ese mismo año, inspirado por los resultados de Roentgen, Becquerel había descubierto la existencia de una nueva radiación emitida por el uranio y con características similares a las de los rayos X, ya que también atravesaban los cuerpos opacos a la luz visible e impresionaban las placas fotográficas.

Como es lógico, Becquerel repitió los experimentos de Roentgen sobre conductividad inducida en gases con el propósito de comprobar si los nuevos rayos uránicos también la producían. El experimento lo realizó colocando sales de uranio en el fondo de un frasco que contenía un electrómetro de hojas de oro, tal como describe en la página 18 de su libro *Sur une propriété nouvelle de la matière*. Las sales podían cubrirse por diferentes pantallas: papel, láminas de metal de diferentes grosores, etc., para determinar su poder de penetración.

A pesar de que sus determinaciones no llegaron a ser cuantitativas este experimento constituye el primer estudio sobre las propiedades de los nuevos rayos.

En esa misma obra presenta algunos resultados experimentales, como los de la **Figura 1**.

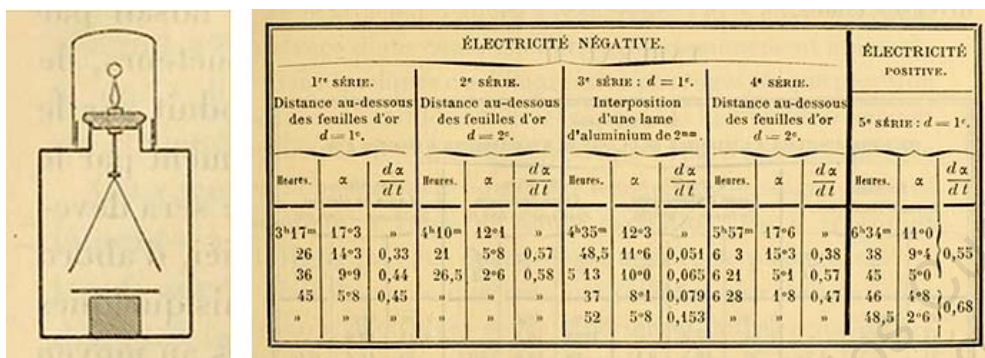


Figura 1. Electrómetro y tabla de resultados de Becquerel. Modificado de *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière*. Becquerel 1903.

Esta propiedad ionizar las moléculas de los gases es la que utilizaron tanto Marie Curie como Rutherford para comenzar sus experimentos sobre física nuclear, aunque con diferentes objetivos. Marie, para descubrir los nuevos elementos radiactivos y Rutherford para estudiar en profundidad la naturaleza de la radiación y las características del núcleo.

Sobre este tema Marie introduce, en su autobiografía, el siguiente comentario:

“Me pareció que lo primero que debía hacer era llevar a cabo medidas precisas del fenómeno. Y para ello decidí utilizar la propiedad de los rayos que producía la descarga del electroscoipo. No obstante, en vez de utilizar el electroscoipo normalmente utilizado para ello utilicé un aparato de más precisión”.

Sistema experimental de Curie

Como es natural, el primer elemento que era necesario diseñar para determinar la conductividad del aire sometido a las radiaciones uránicas era la cámara de ionización.

El funcionamiento de una cámara de ionización es muy simple (se puede ver un esquema animado en el Museo Virtual de la Ciencia del CSIC). El aire es ionizado por efecto de la radiación de la muestra introducida en la cámara, produciéndose iones positivos y electrones libres. Los iones positivos se dirigen a la placa negativa y los electrones correspondientes a la placa positiva, aportando, durante el tiempo t que dura el experimento, una carga total Q a cada placa (**Figura 2**).

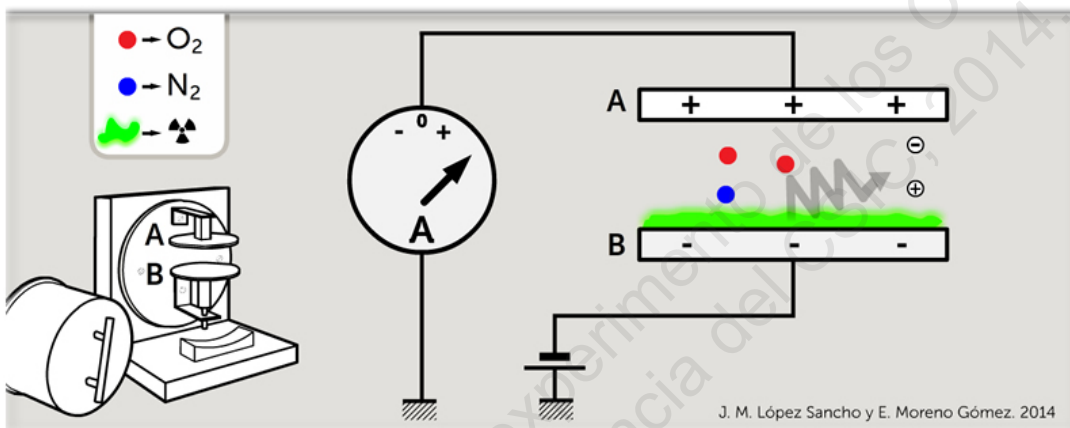


Figura 2. Fotograma de la animación que muestra el funcionamiento de una Cámara de ionización. J.M. López Sancho & E. Moreno Gómez (2014).

La corriente de ionización resultante es,

$$I = Q / t$$

que en el caso del experimento de que nos ocupa es del orden del picoamperio (10^{-12} Amperios). El problema con que se enfrentaba Marie Curie era el de medir con exactitud esta corriente.

A lo largo de sus experimentos debió de utilizar varias cámaras de ionización: En su *tratado de radioactividad* describe una con anillo de guarda.

Polarizando la placa inferior con unos 100 voltios y conectando la placa central superior a un picoamperímetro de los que se encuentran actualmente en el mercado (de resistencia prácticamente nula), la medida no tendría ninguna dificultad.

Pero a finales del siglo XIX no existían instrumentos de ese tipo. Sólo se disponía de electroscopios o de electrómetros del tipo de Kelvin, de cuadrantes, de manejo muy delicado (y que, en realidad, medían voltajes).

Es seguro que en sus experimentos previos Marie utilizó uno de esos electrómetros para medir la caída de tensión producida en la cámara como resultado de la ionización del aire, como hizo Rutherford (se puede ver un esquema animado en el Museo Virtual de la Ciencia del CSIC).

Antes de comenzar el experimento la placa positiva de la cámara de ionización se encuentra conectada a tierra. En el instante inicial se elimina esa conexión, de manera que la carga positiva que desaparece de la armadura positiva no puede ser reemplazada como en la animación anterior, ya que la resistencia del electrómetro es prácticamente infinita. Como resultado, en cada intervalo de tiempo dt la corriente de iones cede a las placas una carga

$$dq = I \cdot dt$$

Esta carga produce una variación de tensión dV en los bornes del voltímetro,

$$dV = dq / C$$

donde C la capacidad total del sistema de medida.

El generador piezoeléctrico

Pero la capacidad del sistema de medida era demasiado grande, del orden de los 150 picofaradios y las intensidades debidas a la ionización del aire muy débiles (a veces inferior a un picoamperio, como hemos dicho), por lo que este montaje no era suficientemente sensible.

Por ello Pierre y Marie Curie construyeron un banco de medidas con un electrómetro de cuadrantes muy sensible, diseñado por Pierre Curie (que actuaba como voltímetro detector de cero) y un generador de corriente que compensaba la que desaparecía de la

armadura positiva de la cámara por la llegada de los electrones de ionización del aire. Este generador piezoeléctrico fue diseñado por Jacques y Pierre Curie, (descubridores de la piezoelectricidad), algunos años antes, el CSIC conserva uno ubicado en el Museo Nacional de Ciencias Naturales (**Figura 3**).



Figura 3. G. Piezoeléctrico. CSIC.

Su funcionamiento es muy fácil de entender (se puede ver un esquema animado en el Museo Virtual de la Ciencia del CSIC). Cuando se *estira* un cristal de cuarzo (**Figura 3**) cortado de forma apropiada, aparecen cargas en las caras perpendiculares a la dirección de la fuerza. Estas cargas de superficie inducen, a su vez, cargas en las armaduras que las recubren. Cuando se aumenta el valor de la fuerza aplicada aumenta la carga cautiva en sus láminas laterales, y cuando esa fuerza disminuye el aparato libera parte de la carga cautiva.

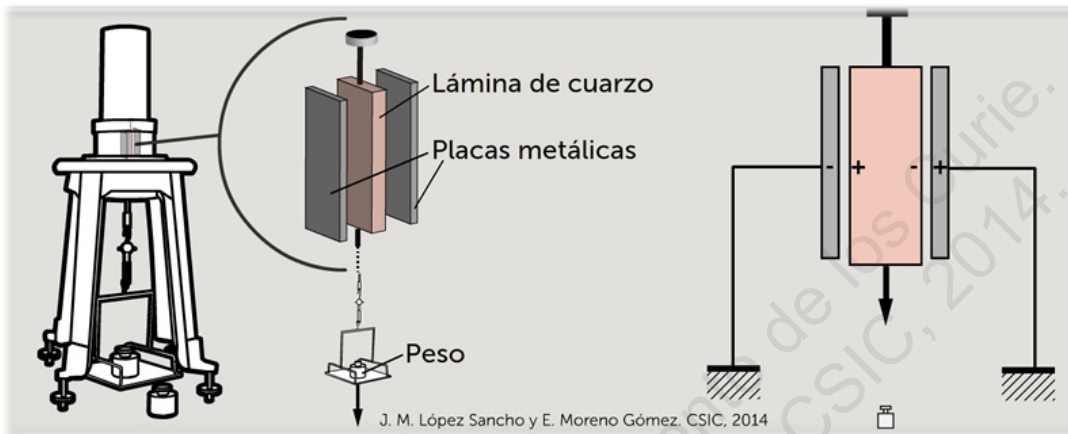


Figura 3. Fotograma de la animación que muestra el funcionamiento de un Generador Piezoeléctrico. J.M. López Sancho & E. Moreno Gómez (2014).

La introducción de este instrumento en el método de medida es una aportación importante de Pierre y Marie Curie al proceso de medida de bajas corrientes, que se utilizó hasta los años cuarenta del siglo pasado en que aparecieron los amplificadores de tubos electrónicos.

El esquema general del banco de medidas (**Figura 4**), tal como lo representó en *Traité de Radiactivité* (M. Curie, 1910).

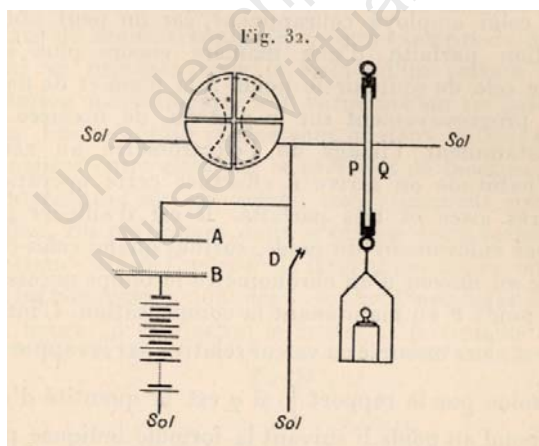


Figura 4. Esquema general del banco de medidas. Modificado de Curie, 1910.

El experimento

Sobre la mesa experimental están situados los seis elementos que intervienen: la cámara de ionización **CI**, la batería de polarización **B₂**, el generador de corriente piezoeléctrico **GP** (un cuarzo montado como generador de carga, de la manera que se describe en la ficha correspondiente), el electrómetro de cuadrantes **EC**, el interruptor **IN** y el cronómetro **CR**.

Con objeto de estudiar detalladamente el proceso de medida, hemos sustituido su esquema original por otro (**Figura 5**) similar, pero más apropiado para utilizar en las animaciones publicadas en el Museo Virtual de la Ciencia del CSIC.

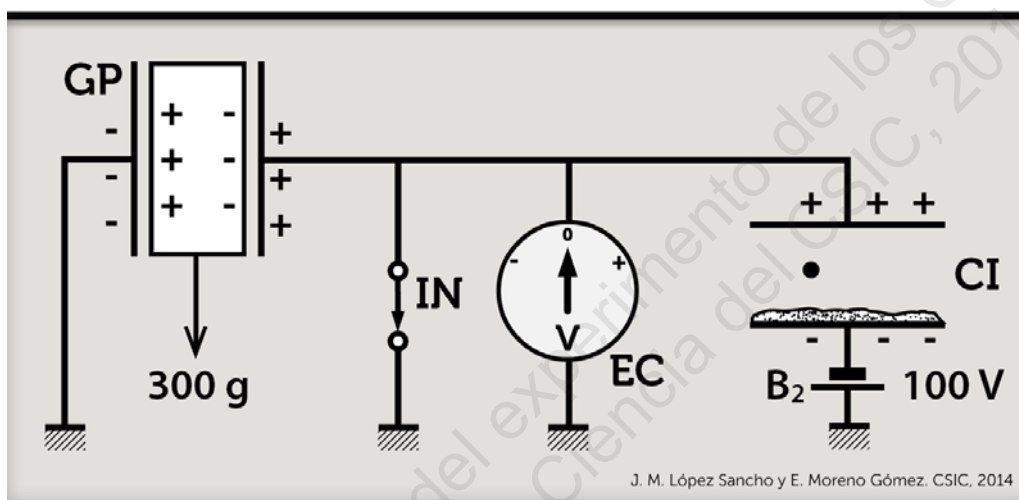


Figura 5. Esquema del experimento de Curie. J.M. López Sancho & E. Moreno Gómez. CSIC, 2014.

A continuación recrearemos un proceso típico de medida de los realizados por Marie Curie. [Esta sección está acompañada de una serie de animaciones que pueden visualizarse en el Museo virtual de la Ciencia del CSIC]

Antes de comenzar el experimento se coloca la cantidad de material radiactivo sobre la placa inferior de la cámara y se *carga* el cuarzo piezoeléctrico con masa de 300 gramos suspendida en el platillo que *estira* el cristal. El interruptor se encuentra cerrado, con lo cual las dos armaduras del aparato se encuentran a tierra. Asimismo la placa positiva de la cámara se encuentra a tierra y el voltímetro en corto.

En el instante en que se inicia el experimento se abre el interruptor y, simultáneamente, se pone en marcha el cronómetro.

La corriente de ionización en la cámara produce una disminución de la carga en ambas armaduras. Los iones positivos que llegan a la placa inferior de la cámara neutralizan su carga negativa, pero ésta es sustituida inmediatamente por electrones provenientes de la batería.

Simultáneamente los electrones que llegan a la placa positiva de la cámara van neutralizando las cargas positivas iniciales (que no pueden reponerse al estar aislada de tierra por la resistencia *infinita* del electrómetro) y su potencial se hace negativo; esto hace que se mueva la aguja del electrómetro (**Figura 6**) en la dirección correspondiente (en el experimento de Curie lo que se desvía es el punto de luz reflejado sobre la regla translúcida).

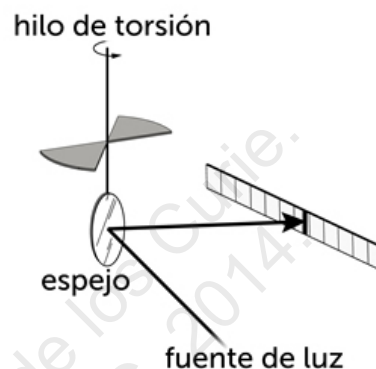


Figura 6. Reflejo del punto de luz.

En este instante Marie aplica una leve fuerza hacia arriba para disminuir el peso que soporta el platillo del cuarzo piezoeléctrico, que en la animación pasa de 300 a 200 gramos. Esto disminuye las cargas de superficie del cristal y libera la carga positiva necesaria para compensar la que ha perdido la placa superior por efecto de la corriente de electrones de ionización, volviendo a 0 voltios la lectura del electrómetro. La importancia de mantener la lectura del voltímetro a cero es que así se asegura que la corriente que va desde la armadura positiva del cuarzo a la placa superior de la cámara es siempre constante y la tensión entre placas permanece igual a la de polarización suministrada por las pilas.

El proceso continúa hasta que la pesa no ejerce ninguna fuerza sobre el platillo, siendo imposible mantener la aguja del electrómetro a 0 voltios. En ese momento se para el cronómetro, que supondremos que marca 200 segundos.

Como conocemos exactamente la carga inicial del cuarzo piezoeléctrico, $6 \cdot 10^{-10}$ Culombios, y el tiempo transcurrido, 200 segundos, es fácil calcular la corriente: $3 \cdot 10^{-12}$ Amperios. Esta corriente nos indica fielmente la actividad de la muestra radiactiva.

A continuación (**Figura 7**) incluimos una página de los *carnets de la découverte* donde Marie anotó las corrientes de ionización expresadas en picoamperios, de diferentes muestras.

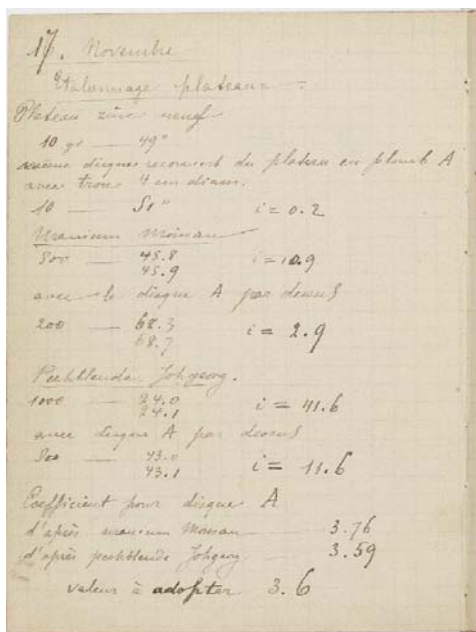


Figura 7. Anotaciones de Marie Curie, *Carnets de la découverte* 1897-1900. Modificado de Pierre et Marie Curie. Papiers.

El margen de error

Una última palabra sobre las desviaciones del valor de la corriente en torno al valor medio. Como hemos visto, el papel del operador consiste en mantener la indicación del electrómetro a cero, actuando como un dispositivo de realimentación negativa sobre la fuente de corriente. Si la carga que adquiere la placa positiva de la cámara aumenta sobre el valor de reposo se ejerce menos fuerza *hacia arriba* sobre la pesa, y si la carga disminuye se aumenta la fuerza hacia arriba, de manera que la carga liberada por el piezoeléctrico sea exactamente igual a la de la corriente iónica generada por la radiación. En el caso del montaje original, la sensibilidad del aparato de medida era 40 milivoltios por centímetro de desviación en la regla transparente que Marie tiene delante de ella.

Esto quiere decir que el error en la carga es de 4 pico culombios ($4 \cdot 10^{-12}$ Culombios). Como la cámara tiene una capacidad de 0,3 picofaradios, los 40 milivoltios equivalen a una carga de $1,2 \cdot 10^{-14}$ Culombios, lo que representa un error menor del uno por mil para una desviación de 1 centímetro en la regla transparente. Si se añade a esto el que las variaciones de la señal luminosa fluctuarían en torno al cero podemos decir, aunque la amplitud de las fluctuaciones alcanzase los 5 centímetros, que el error de la medida es inferior al 1%.

Referencias bibliográficas

- BECQUEREL, H. *Recherches sur une propriété nouvelle de la matière : activité radiante spontanée ou radioactivité de la matière*. 1903. Medical Heritage Library. Internet Archive. <https://archive.org/details/recherchessurune00becq>
- BOUQUET, A. *Radioactivité: Les Curie*. http://evelyne.bouquet.free.fr/WebAlain/particules/120_curie.htm
- CHÉNEVEAU, C. *Méthode et appareils de mesure de la radioactivité*. Le Radium. 1904.
- CURIE, M. *Traité de radioactivité*. Radioactivity Vol. 2. Paris, Gauthier. 1910. <https://archive.org/details/traitedradioac02curi>
- CURIE, P. & CURIE, M. *Papiers. I - ŒUVRES ET TRAVAUX SCIENTIFIQUES*. 1898. BNF. <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8451521n/f12.image>
- RUTHERFORD, E. *Uranium Radiation and the Electrical Conduction Produced by It*. Philosophical Magazine. 1899. <http://web.ihep.su/dbserv/compas/src/rutherford99/eng.pdf>

Fuentes del Museo Virtual de la Ciencia del CSIC

- Cámara de ionización. Esquemas animados. <http://museovirtual.csic.es/csic75/laboratorios/lab1/lab1a.html>
- Generador Piezoeléctrico. Ficha del Instrumento y esquema animado. http://museovirtual.csic.es/csic75/instrumentos/cuarzo_piezoelctrico/cuarzo_piezoelctrico.html
- El Experimento de Curie. Esquemas animados. <http://museovirtual.csic.es/csic75/laboratorios/lab1/lab1c.html>
- Laboratorio Curie. Versión WEB de este artículo. <http://museovirtual.csic.es/csic75/laboratorios/lab1/lab1.html>