

# La sombra de Marie es alargada\*

Jesús Navarro Faus\*\*

## Titre / Title / Titolo

L'ombre de Marie est longue  
Marie's shadow is long  
L'ombra lunga di Marie

## Resumen / Résumé / Abstract / Riassunto

Las narraciones populares sobre la historia de la ciencia suelen reducirse a los «grandes» personajes, obviando la actividad de muchos otros científicos relevantes. Este artículo se refiere a los años pioneros de la radioactividad, que cubre aproximadamente el primer tercio del siglo XX. Presentamos una lista de científicas que, fuera de la literatura especializada, han quedado eclipsadas por la figura de Marie Curie. Describiremos brevemente el contexto general en el que hicieron sus investigaciones y mencionaremos las contribuciones más relevantes de algunas de ellas. El artículo se cierra con unos comentarios generales que pueden ser de interés en la actualidad.

Les récits populaires de l'histoire des sciences se réduisent souvent aux «grands» personnages, ignorant l'activité de nombreux autres scientifiques importants. Cet article porte sur les années pionnières de la radioactivité, qui couvrent approximativement le premier tiers du 20e siècle. Nous présentons une liste de femmes scientifiques qui, en dehors de la littérature spécialisée, ont été éclipsées par la figure de Marie Curie. Nous décrivons brièvement le contexte général dans lequel elles ont mené leurs recherches et mentionnons les contributions les plus pertinentes de certaines d'entre elles. L'article se termine par quelques commentaires généraux qui peuvent être d'intérêt.

\* Este artículo es una versión extendida y más elaborada de otro anterior, publicado con el título "L'ombra de Marie és allargada" en DAUALDEU, 25, 2023, pp. 32-39.

\*\* Instituto de Física Corpuscular CSIC – Universitat de València.

Popular accounts of the history of science are often reduced to the “great” figures, ignoring the activity of many other relevant scientists. This article is concerned with the pioneering years of radioactivity, covering roughly the first third of the 20th century. We present a list of women scientists who, outside the specialised literature, have been overshadowed by the figure of Marie Curie. We will briefly describe the general context in which they did their research and mention the most relevant contributions of some of them. The article closes with some general comments that may be of interest today.

I resoconti popolari della storia della scienza si riducono spesso alle figure dei «grandi», ignorando l'attività di molti altri scienziati di rilievo. Questo articolo si occupa degli anni pionieristici della radioattività, che coprono all'incirca il primo terzo del XX secolo. Presentiamo un elenco di scienziate che, al di fuori della letteratura specializzata, sono state messe in ombra dalla figura di Marie Curie. Descriviamo brevemente il contesto generale in cui hanno svolto le loro ricerche e citiamo i contributi più rilevanti di alcune di loro. L'articolo si chiude con alcune considerazioni generali che possono essere di interesse oggi.

## Palabras clave / Mots-clé / Keywords / Parole chiave

Radioactividad, primer tercio del siglo XX, invisibilidad, mujeres científicas.

Radioactivité, premier tiers du 20e siècle, invisibilité, femmes scientifiques.

Radioactivity, first third of the 20th century, invisibility, women scientists.

Radioattività, primo terzo del Novecento, invisibilità, donne scienziate.

## 1. Introducción

Las notas históricas sobre descubrimientos o teorías científicas que se incluyen en libros de texto o en artículos y libros de divulgación, pecan muy a menudo de reduccionistas. En la mayoría de los casos se limitan a mencionar aspectos anecdóticos y se concentran en los personajes famosos que han intervenido en tal o cual experimento o teoría, con tendencia a mitificarlos, omitiendo aquellos aspectos que no encajan con la visión ideal que se quiere ofrecer de ellos. De este modo, no sólo se reduce la actividad científica a acciones individuales, obviando que es una empresa colectiva, en cuyo desarrollo y adquisición de conocimientos participan muchos científicos, técnicos y auxiliares. También se omiten otros protagonistas de menor renombre, aunque hayan jugado un papel crucial en dicho experimento o teoría<sup>1</sup>.

Este tipo de omisiones es aún más frecuente cuando hay mujeres implicadas, sobre todo al referirse a épocas en las que su presencia en la ciencia era muy reducida. Si en una encuesta se preguntaran nombres de mujeres científicas, es muy probable que el único nombre, de citarse alguno, fuera el de Marie Curie. Su fama a nivel popular, con los premios Nobel de Física de 1903 y de Química de 1911, es solo comparable a la de Albert Einstein, ambos igualmente mitificados e idealizados<sup>2</sup>. En ambientes relacionados con la Física o la Química, es posible que se citara también a Lise Meitner, rescatada del olvido desde hace unos años para destacar, sobre todo, su exclusión del premio Nobel de 1944, que sólo recibió su colega Otto Hahn por un trabajo conjunto de varios años en el que también participó el joven Fritz Strassmann. Por último, se citaría con menor probabilidad, excepto si estuviéramos en Francia, a Irène Joliot-Curie, a pesar de que

recibió el premio Nobel de Química de 1935. Por eso, parafraseando el título de la novela de Miguel Delibes, podemos decir que la sombra de Marie es alargada, tanto que oculta a las demás científicas, incluso a las de excelente nivel. No es, ciertamente, lo que sucede con la sombra de Albert.

En este artículo me referiré a las mujeres que investigaron en radioactividad durante los años pioneros de esta disciplina. Tras el impulso inicial del matrimonio Marelene y George Rayner-Canham (899, 1038, 1997), ha habido un número creciente de investigaciones históricas en las que se han rescatado del olvido a muchas de estas mujeres. En este artículo pretendo dar a conocer a los lectores de *EU-topías* algunos resultados de estos estudios. Los años pioneros de la radioactividad se pueden situar en el primer tercio del siglo XX; comprenden el período entre el descubrimiento de los rayos uránicos en 1896 y el descubrimiento del neutrón en 1932, que dio inicio a la física nuclear. Presentaré una lista de científicas que durante estos años realizaron investigaciones sobre radioactividad, describiré brevemente el contexto general en el que lo hicieron y citaré las contribuciones más relevantes de algunas de ellas. En conjunto, es una muestra de las mujeres que, fuera de la literatura especializada, han quedado eclipsadas por la figura de Marie Curie. Finalmente, haré algunos comentarios generales que pueden ser de interés en la actualidad.

## 2. De la Radioactividad a la Física Nuclear

En los primeros años del siglo XX, la radioactividad se desarrolló básicamente en torno a Marie y Pierre Curie en París; Ernest Rutherford en Montreal, Manchester y Cambridge, sucesivamente; Stephan Meyer en Viena; Otto Hahn y Lise Meitner en Berlín. Hubo otros científicos destacados que también contribuyeron a este campo, pero los nombres citados están relacionados con laboratorios que atraían a quienes querían formarse en radioactividad y, en particular los de París y Viena, a un buen número de mujeres.

<sup>1</sup> Por ejemplo, al referirse a la primera evidencia empírica sobre los núcleos atómicos se suele hablar del «experimento de Rutherford», como si este hubiera sido su autor. En realidad, lo realizaron su entonces ayudante Hans Geiger y el estudiante de doctorado Ernest Marsden (Geiger: 495). Lo que hizo Rutherford (669) fue interpretar y extraer conclusiones del experimento. No dejó de referirse a sus autores, pues Rutherford siempre fue muy cuidadoso en estas cuestiones, máxime cuando se trataba de colaboradores suyos.

<sup>2</sup> Así, se suelen omitir ciertos aspectos, tal vez por considerarlos poco edificantes, como el «affaire» entre Marie Curie y Paul Langevin, o la tormentosa relación entre Albert Einstein y Mileva Marić en los últimos años de su matrimonio.

Las investigaciones iniciales en Radioactividad requerían métodos físicos y químicos, haciendo de ella una disciplina común a la Física y la Química. Entre los principales problemas que hubo que afrontar estaba el análisis de las radiaciones emitidas, de las que se identificaron tres tipos, a los que —muy sobriamente— se les dieron los nombres de  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Se tardó en averiguar que están constituidas, respectivamente, por núcleos de helio, electrones y radiación electromagnética de alta energía. También hubo que identificar y separar los elementos químicos que las producían: en un lapso de tiempo más o menos amplio (desde microsegundos a millones de años, según sea el elemento), se transforman en otros, emitiendo alguna de estas radiaciones. Este proceso de transformación sigue una cadena de desintegraciones radioactivas hasta llegar a un elemento químico estable. La identificación de los elementos que forman estas cadenas llevó a la existencia de los isótopos de un mismo elemento químico.

A lo largo de este proceso hubo tres descubrimientos clave, todos ellos basados en el uso de partículas  $\alpha$  como proyectil, y que dieron origen a la física nuclear. Entre 1909 y 1911, al bombardear una lámina de oro, se descubrió que los átomos poseen un núcleo. En 1919, usando nitrógeno como blanco, se descubrió que el núcleo atómico contiene protones y «algo más». En 1932, con un blanco de berilio, se descubrió que ese algo más son los neutrones. Al año siguiente se celebró el 7º Congreso Solvay, dedicado precisamente a «Estructura y propiedades de los núcleos atómicos». Entre los 43 científicos invitados a participar en este Congreso hubo tres mujeres: Marie Curie, Lise Meitner e Irène Joliot-Curie, reconocidas internacionalmente por sus investigaciones. Las tres son las grandes pioneras de la radioactividad y las dos últimas, también lo son de la Física Nuclear<sup>3</sup>, pues Marie Curie, muerta en 1934, no intervino activamente en este campo.

No obstante, hubo un número significativo de mujeres que se dedicaron al entonces emergente campo de la radioactividad, como puede verse en el libro de Stefan Meyer y Egon von Schweidler (1926). Mientras que en la primera



Photo: Margaret Clappett

H. A. BRANDES    H. P. BRY    G. GARDY    P. HALLATY    M. CURIE    J. H. KELLER    A. G. LEWIS    A. G. LEWIS  
 E. STEIN    P. A. M. SMITH    J. COHEN    E. S. MULLER    P. BAIRD    R. GARDNER    W. NUTTER    G. B. BAUER    J. C. HODGKINSON    J. S. COOK    E. G. LAMBERT    L. ROSENFIELD  
 G. HADLEY    F. JOLYOT    M. SCHOENBERG    E. FERMI    C. S. MULLER    P. BAIRD    R. GARDNER    W. NUTTER    G. B. BAUER    J. C. HODGKINSON    J. S. COOK    E. G. LAMBERT    L. ROSENFIELD  
 P. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI    E. FERMI  
 G. SCHOENBERG    M. J. JOLYOT    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS    M. CURIE    A. G. LEWIS

Photo: Margaret Clappett

edición de 1916 se citaban 26 mujeres con publicaciones en radioactividad, diez años más tarde este número subió a 79. Es de destacar que, al dar la referencia de los artículos, los autores omitieron el entonces habitual tratamiento de cortesía hacia las mujeres como «Miss» o «Madame» porque «ya no es tan excepcional que una mujer haga trabajos científicos» (Malley: 183). Es posible que este gesto, que buscaba evitar distinciones entre hombre y mujeres, haya contribuido a favorecer la invisibilidad de estas últimas, pues no todo el mundo está al corriente del género de los nombres en cada idioma. Es lo que le sucedió a Rutherford cuando, después de recoger el premio Nobel de Química de 1908, pasó por Berlín para saludar a su discípulo Otto Hahn. Se quedó muy sorprendido al conocer personalmente a Lise Meitner ya que, como ella no firmaba sus artículos como «Fraulein Meitner», esperaba encontrarse a un hombre.

### 3. Los Institutos del Radio de Viena y de París

Los esposos Curie descubrieron el radio a partir de unos cien gramos de pechblenda, de los que extrajeron una minúscula cantidad de radio. A finales del XIX, el único

<sup>3</sup> Maria Goeppert-Mayer fue otra gran científica, que recibió el premio Nobel de Física de 1962 por sus descubrimientos referentes a la estructura en capas de los núcleos atómicos. La menciono aquí sólo para recordar su nombre, pues sus contribuciones a la Física Nuclear están fuera del marco temporal considerado en este artículo.

yacimiento de pechblenda conocido en Europa estaba en las minas de St. Joachimsthal, situadas en Bohemia. De la pechblenda se extraía uranio, que se utilizaba para colorear cristales. Los Curie solicitaron la mediación de la Academia de Ciencias austríaca para conseguir a precios asequibles grandes cantidades de pechblenda, de la que aislar radio en cantidad suficiente para medir sus propiedades. En total recibieron unas ocho toneladas y, en la fase final, aplicaron a escala industrial su técnica de cristalización fraccionada, con la ayuda de una gran empresa de productos químicos. Como muestra de agradecimiento enviaron una muestra muy pura del radio obtenido a su colega Frank Exner, el académico vienés que había actuado de intermediario. Esto supuso el impulso definitivo para los estudios de radioactividad en Viena, que ya habían sido iniciados por Stefan Meyer.

Si bien en sus primeros años el fenómeno de la radioactividad interesó sólo a un pequeño número de científicos, con el descubrimiento de las aplicaciones médicas del radio, el interés por la radioactividad sobrepasó la esfera puramente académica. Por ejemplo, el análisis de las aguas termales mostró que todas ellas, en mayor o menor grado, eran radioactivas. De ahí a deducir que su acción benéfica, real o imaginada, estaba ligada al radio, no había más que un paso que algunos negociantes no dudaron en dar. Surgió así una industria de preparación de compuestos de radio, destinados no sólo a hospitales para el tratamiento del cáncer, sino también a ser incluidos en toda una variedad de productos, como cremas, cosméticos, pañales, inhaladores, etc. Ni que decir tiene que estas operaciones comerciales basadas en el uso descontrolado del radio hoy día están absolutamente prohibidas.

En vista de la creciente demanda de radio, el gobierno austríaco nacionalizó las minas de St. Joachimsthal y potenció las investigaciones radioactividad. En 1910 se inauguró en Viena el *Institut für Radiumforschung*, cuyo director formal fue Frank Exner, aunque en la práctica actuaba como tal Stefan Meyer, nombrado director oficial diez años más tarde. Siguiendo el modelo vienés, en diversos países se crearon centros, privados o públicos, para estudiar y utilizar las propiedades del radio. Poco después de morir Pierre Curie en 1909, Marie Curie impulsó la

creación del *Institut du Radium*, una gran instalación que fue inaugurada en 1914, poco antes de la 1ª Guerra Mundial. Tenía dos edificios separados por un jardín: en el pabellón Curie se estudiaba la radioactividad y se purificaban los elementos radioactivos, mientras que en el Pabellón Pasteur se analizaban sus efectos en células, tejidos y seres vivos.

Los institutos de Viena y de París poseían unas excelentes infraestructuras para realizar investigaciones básicas y aplicadas. En ellos se podían formar estudiantes, realizar tesis doctorales y acoger a investigadores, tanto nacionales como extranjeros. También contaban con financiación externa, sobre todo el de París, gracias al prestigio de Marie Curie y sus relaciones con la industria química y del radio. Mientras que el personal del instituto de Viena provenía de los países germánicos, Marie Curie se propuso desde el principio dar a su instituto un carácter internacional y acoger a científicos de todos los países<sup>4</sup>. Naturalmente, también se investigaba la radioactividad en otros lugares, sobre todo en cátedras universitarias. Pero, en general, no tenían instalaciones comparables para acoger a estudiantes e investigadores visitantes. Una importante excepción es el caso de Ernest Rutherford, que desde Cambridge se trasladó sucesivamente a Montreal y Manchester, para volver definitivamente a Cambridge, logrando en cada traslado que se le facilitaran infraestructuras adecuadas.

#### 4. Las científicas de la radioactividad

Los esposos Rayner-Canham culminaron sus estudios pioneros (899, 1038) sobre las científicas dedicadas a la radioactividad y la física nuclear en el primer tercio del

<sup>4</sup> El argentino Ernesto Sábato fue uno de estos científicos extranjeros. Después de doctorarse en física, realizó en 1938 una estancia post-doctoral en París. Ya andaba sumido en una crisis existencial, porque cada vez sentía más que su auténtica vocación era la literatura. En sus memorias escribió: «Durante ese tiempo de antagonismos, por la mañana me sepultaba entre electrómetros y probetas y anocheecía en los bares, con los delirantes surrealistas. En el *Dôme* y en el *Deux Magots*, alcoholizados con aquellos heraldos del caos y la desmesura, pasábamos horas elaborando cadáveres exquisitos.» (Sábato: 42) «En el Laboratorio Curie, en una de las más altas metas a las que podía aspirar un físico, me encontré vacío de sentido. Golpeado por el descreimiento, seguí avanzando por una fuerte inercia que mi alma rechazaba.» (Sábato: 48)

siglo XX con un libro (1997) en el que recopilaron datos biográficos de una veintena de ellas, incluyendo a las tres grandes pioneras. Entre los centros de investigación de este período, han sido objeto de estudios detallados los Institutos de Viena y de París. En cuanto a la presencia de científicas en ellos hay que destacar los trabajos de Maria Rentetzi (2008) sobre Viena y de Soraya Boudia (2011) y Natalie Pigéard-Micault (2013) sobre París, además de diversos estudios dispersos en otros centros. En total, he podido contabilizar 92 científicas en el período que nos ocupa, la mayoría en París y Viena, cuyos nombres se dan en la Tabla. Este número es una cota inferior, pues hay que tener en cuenta que las cátedras de universidad u otros centros no llevaban un registro tan minucioso como estos dos Institutos del Radio. No obstante, aunque sea un número aproximado, bastará para los fines de este artículo.

¿Qué motivos tenían estas mujeres para interesarse por la radioactividad? Los mismos que sus colegas masculinos: se trataba de un campo nuevo, donde había muchos problemas que resolver y muchas cosas que descubrir. Además, al ser un campo nuevo, no había desarrollado las rutinas y prejuicios establecidos en otros. Era pues una buena manera de completar su formación universitaria, adquirir una especialidad, iniciarse a la investigación, realizar una tesis, etc. Después se buscaban salidas en la enseñanza secundaria, en la industria (sobre todo química), en hospitales, o bien en la universidad o un centro de investigación, relacionado o no con la radioactividad.

Noventa y dos mujeres. ¿Son muchas o son pocas? Entre 1906 y 1934, año de la muerte de Marie Curie, el porcentaje de mujeres científicas en el Instituto de París oscilaba, según los años, entre el 10% y el 30% (Pigéard-Micault, 2013). En el caso del Instituto de Viena, este porcentaje era un poco mayor, variando entre el 16% y el 38% (Rentetzi, 2008). Son porcentajes claramente superiores a los existentes en la misma época en otras disciplinas científicas. En ambos casos, los picos máximos corresponden a los años de la guerra, cuando los hombres fueron movilizados. Rentetzi atribuye la mayor presencia femenina en Viena tanto a la actitud positiva de Exner y Meyer sobre

el trabajo de las mujeres<sup>5</sup> como al ambiente vienés de la época. No obstante, dejando aparte a estudiantes y doctorandas, hay que observar que muchas de las científicas en Viena eran «voluntarias» que no cobraban un salario. En cambio, en París, todos los «trabajadores», como les llamaba Marie Curie, tenían beca o contrato. En conjunto, he estimado que el promedio de mujeres científicas en los institutos del radio de París y de Viena estaba alrededor de 20-25%, un porcentaje a retener para más tarde.

Hay que recordar que la admisión de mujeres en las universidades fue un proceso gradual, iniciado en la segunda mitad del siglo XIX, que no se generalizó hasta los años de la primera guerra mundial. Según los países, el acceso de las mujeres estaba aceptado, tolerado sin conceder un título o prohibido. Así, a finales del siglo XIX, las universidades de Francia y de Suiza aceptaban sin impedimento a las mujeres. En España, el acceso de mujeres en la universidad no se reconoció oficialmente hasta 1910, aunque se permitieron algunas excepciones. La universidad de Cambridge no concedió título oficial a las mujeres hasta 1948, a pesar de que admitía a algunas mujeres en sus laboratorios y centros de investigación. Debido a estas restricciones, Marie Curie y Lise Meitner empezaron sus estudios universitarios a los 24 y 22 años, respectivamente cuando, normalmente, los hombres ya los habían completado.

Estas restricciones se debían a la actitud de la sociedad ante las mujeres, a quienes se asignaban los roles de esposa, madre y ama de casa, roles considerados incompatibles con la dedicación a otras actividades. Por ello, había mujeres que abandonaban sus estudios o su profesión al casarse o cuando algún familiar próximo requería cuidados especiales. Un ejemplo evidente es el de Winifred M. Beilby, estudiante de Frederick Soddy en Glasgow. Cuando en 1908 se convirtió en Mrs. Soddy, abandonó la investigación. Su único artículo científico, junto con su marido y un estudiante de este, fue publicado dos años más tarde.

<sup>5</sup> Como detalle revelador en este sentido, en el momento de la construcción del nuevo instituto, Exner y Meyer se preocuparon de que hubiera lavabos separados para hombres y mujeres, lo que no sucedía en la mayoría de centros semejantes ya que la ausencia de mujeres lo hacía innecesario. Recordemos que Lise Meitner, durante sus primeros años en el Instituto de Química de Berlín, tenía que salir del edificio para usar los servicios de un restaurante próximo al Instituto.

Hilda Fonovitz-Skmerer ilustra un abandono temporal. Se doctoró en Viena el 1919 y enseguida fue contratada como ayudante en el instituto del radio. Cuando se casó, pudo compatibilizar este trabajo con un puesto de asistente en la universidad de Viena. No obstante, al nacer su hijo en 1922, se vio obligada a dejar ambos trabajos. En una carta escribió a Meyer: «Lamento mucho tener que dejar un trabajo que me gusta, pero no he encontrado la manera de compaginar mis tareas profesionales y domésticas» (Bischof: 522). De ello se deduce que, según la norma de la época (y tal vez también de la actual), su marido no estaba afectado por esta incompatibilidad. Afortunadamente para Hilda, diez años más tarde pudo retomar su carrera científica en el Hospital General de Viena, donde acabó siendo directora de su departamento del radio.

Con toda seguridad, el caso de abandono más sangrante es el de Harriet Brooks, que fue el primer estudiante de postgrado de Rutherford cuando este llegó en 1898 a la universidad McGill de Montreal. Después de unos años dedicada a la investigación en Montreal, Brooks se trasladó a Nueva York, contratada como profesora en el *Barnard College*, una universidad para mujeres. Cuando en 1906 anunció su compromiso matrimonial, su decana le previno que tendría que dejar su puesto al casarse. Brooks protestó por ello en una carta al consejo rector del *College* en la que escribió (Rayner-Canham: 900):

Creo también que es un deber que tengo para con mi profesión y con mi sexo demostrar que una mujer tiene derecho a ejercer su profesión y no puede ser condenada a abandonarla simplemente porque se case. No puedo concebir cómo las universidades para mujeres, que invitan y alientan a las mujeres a acceder a profesiones, puedan fundarse o mantenerse negando precisamente tal principio.

Pero el consejo rector mantuvo el despido con estos argumentos:

El *College* no puede permitirse el lujo de tener mujeres en su plantilla para quienes su trabajo universitario sea secundario; el *College* no está dispuesto a dar su aprobación a una mujer para quien puedan ser secundarios sus autoelegidos deberes domésticos.



Harriet Brooks (Exeter 1876, Montreal 1933)

Esta actitud no era nada extraña en aquellos años, en Estados Unidos o en otros países, pero, tal como indicaba Brooks, era más que sorprendente en la dirección de una universidad femenina. Brooks renunció a su trabajo y también a su compromiso matrimonial, de lo que se puede deducir que el prometido —profesor de la universidad de Columbia— compartía la opinión del consejo rector. Tras realizar una estancia en el laboratorio de Marie Curie en 1907 (fue la primera «trabajadora libre» de su laboratorio, antes de la creación del Instituto) y, sin que se hayan sabido los motivos, renunció a la investigación, a pesar del apoyo constante que le mostraba Rutherford. Regresó a Montreal, se casó con un amigo de su época estudiantil y se convirtió en ama de casa. Volveremos a Harriet Brooks más adelante.

Pigeard-Micault (2013) ha confeccionado unas fichas biográficas sobre cuarenta y tres mujeres que pasaron por

el Instituto de París, algunas de ellas procedentes del de Viena. Después de sus años formativos, cuatro se convirtieron en amas de casa, trece cambiaron de actividad, dieciocho siguieron una carrera investigadora y/o universitaria, y no se sabe nada de las ocho restantes. Es decir, aproximadamente un 42% continuaron con una carrera similar, siendo casadas aproximadamente la mitad. No he encontrado un seguimiento similar para el Instituto de Viena. Estos números, traducidos a porcentajes, pueden ser orientativos aun con todas las reservas, por ser muy reducida la muestra de París.

Algunas de las científicas casadas desarrollaron sus carreras en circunstancias personales bastante atípicas para la época, y mencionaré solo dos casos. El primero es Jeanne Ferrier-Lattès-Fournier (los dos últimos apellidos son los de sus sucesivos maridos). Después de licenciarse en matemáticas y física en la universidad de Montpellier, trabajó como profesora de matemáticas en un centro de enseñanza secundaria. Antes de cumplir 30 años enviudó de M. Lattès y decidió cambiar de actividad. Contactó con Marie Curie, consiguió una beca para investigar so-



Jeanne Lattès Ferrier (Montpellier 1888, Paris 1979)

bre radioactividad y en 1918 se fue a París con su hija de apenas cinco años, cosa que era, entonces e incluso ahora, una proeza para una mujer sola. El segundo caso es Branca Marques Torres, quien, después de licenciarse en química en la universidad de Lisboa, fue nombrada profesora ayudante. Se casó con un profesor de la misma universidad, y unos años después decidió formarse en radioactividad en el laboratorio de Marie Curie. Como el marido no podía dejar su trabajo en la universidad de Lisboa, en 1931 se fue a París acompañada por su madre. En 1935 presentó su tesis doctoral en la Sorbona, que había sido dirigida por Marie Curie hasta su fallecimiento el año anterior. Marques fue la impulsora de los estudios de radioquímica en Portugal.

Es bien conocido que las estancias post-doctorales crean lazos fuertes entre investigadores jóvenes. Nuestras mujeres no fueron excepción en este sentido. Casi todas las científicas que pasaron por los institutos de París y de Viena, y que después siguieron activas en la investigación, mantuvieron relaciones frecuentes entre ellas, en una especie de red en la que jugó un papel especial la noruega Ellen Gleditsch. Formada primero como farmacéutica, prefirió luego la química y la radioquímica. En 1907, con 28 años, consiguió una beca para ir al laboratorio de Marie Curie,



Ellen Gleditsch (Mandal 1879, Oslo 1968)

donde permaneció hasta 1912, pues aprovechó su estancia en París para obtener la licenciatura y el doctorado en química. Posteriormente visitó a menudo el Instituto y se convirtió, de hecho, en una colaboradora de confianza de Marie Curie. Pero sin subestimar sus aportaciones científicas<sup>6</sup>, quiero destacar su papel como nodo central y motor de la mencionada red de mujeres, pues por su edad y sus frecuentes visitas al Instituto, las conoció prácticamente a todas. Mantuvo correspondencia con casi todas, estableció colaboraciones científicas con algunas de ellas e incluso acogió en Oslo a varias que huían del nazismo. Luchó activamente contra la discriminación de las mujeres y, entre 1926 y 1929, presidió la Federación Internacional de Mujeres Universitarias. Gleditsch impulsó los estudios de radioactividad en Noruega y en 1929 se convirtió en la primera catedrática de química de la universidad de Oslo, la única entonces existente (Lykness: 576).

## 5. Algunos resultados científicos de excelencia

Como es evidente, no todas las mujeres de la Tabla hicieron investigaciones de igual importancia. Destacaré ahora a seis científicas que hicieron contribuciones relevantes, sin menospreciar a las demás que, por razones de espacio, dejaré fuera.

Volvamos a Harriet Brooks. En su corta trayectoria científica, Brooks hizo unos experimentos importantes, demostrando que la llamada «emanación» del radio era un gas radioactivo, identificado más tarde como el elemento radón. Actualmente se puede banalizar este resultado, pero no hay que olvidar que, durante muchos años, la interpretación de los experimentos en radioactividad fue un gran rompecabezas. Cuando murió Brooks —treinta años después de haber dejado la investigación— el propio Rutherford escribió su obituario en la revista

<sup>6</sup> Uno de sus trabajos importantes lo realizó en 1913 en la universidad de Yale, durante una estancia en el laboratorio de Bertram Boltwood, a pesar de que este era poco favorable a la presencia de mujeres en la investigación. Gleditsch analizó las concentraciones de radio y uranio en más de veinte minerales y realizó la medición de la vida media del radio más precisa de la época, resolviendo la controversia existente entre Boltwood y Rutherford a favor de este último.

*Nature*, donde destacó la importancia de los trabajos de Brooks y el hecho de que aportaron la primera prueba fehaciente de la transmutación de los elementos.

Otro ejemplo de resultados científicos que con el tiempo se pueden subestimar nos lo da el caso de Stefanie Horovitz. En 1914, por recomendación de Meitner, empezó a trabajar con Otto Hönigschmid en el Instituto de Viena. El año anterior, Frederick Soddy y Kasimir Fajans habían formulado, independientemente, la ley de los desplazamientos radioactivos, a partir de la cual Soddy imaginó la existencia de los isótopos de los elementos químicos. Una manera de verificar la hipótesis era demostrar empíricamente que el peso atómico del plomo natural era diferente al del plomo producido en una cadena radiactiva. Estas mediciones fueron efectuadas, independientemente, en Harvard por Theodor Richards, y en Viena por Horowitz y Hönigschmid. Los resultados proporcionaron la primera prueba irrefutable de la existencia de los isótopos. Soddy se refirió a ello cuando recibió el premio Nobel de Química de 1921, y quiso destacar el papel relevante de Horowitz como científica cuando habló de los trabajos de «Richards y sus estudiantes» y de «Hönigschmid y Mlle. Horovitz».

Jeanne Lattès empezó en el Pabellón Curie, y pronto colaboró con Antoine Lacassagne, un médico que trabajaba en el Pabellón Pasteur. En 1924 encontraron un nuevo



Stefanie Horovitz (Varsovia 1887, Treblinka 1942)





Marietta Blau (Viena 1894, Viena 1970)

método de precisión para localizar un elemento radioactivo en las células, al que nombraron «método auto-histo-radiográfico» y que permitía visualizar las lesiones debidas a la radioactividad a nivel celular. Por un problema de salud, Lattès tuvo que dejar la investigación en radioactividad en 1930. Se dedicó a las matemáticas, trabajando hasta su jubilación en el *Institut Poincaré*, sobre el estudio y cálculo de probabilidades. Pero en los ambientes médicos no se olvidó su nombre. En 1979, año de su muerte, se celebró en París un congreso internacional sobre el cáncer. Raymond Latarjet, que era entonces una autoridad en radiobiología y radioterapia, quiso rendirle un homenaje y, entre otras cosas, en su intervención calificó el método auto-histo-radiográfico como uno de los más importantes resultados para la biología en el siglo XX.

Marietta Blau obtuvo su doctorado en 1919 en el instituto del radio de Viena (Sime: 2). Pasó unos años en Alemania, trabajando primero en una fábrica de tubos de rayos X en Berlín y después en un centro de física médica en Frankfurt. La enfermedad de su madre le hizo volver a Viena, integrándose en el instituto del radio desde 1923 hasta 1937, cuando la llegada de los nazis la forzó al exilio. Blau fue pionera en el uso de emulsiones fotográficas para detectar radiaciones y partículas cargadas, cuyas trayectorias aparecen como trazas (rayas de longitud y grosor variable), en las placas fotográficas. Su descubrimiento más importante fue que al exponer las placas a los rayos cósmicos en altura se producían «estrellas» con un número de brazos que variaba entre tres y veinte. Los rayos cósmicos rompían los núcleos atómicos de la emulsión, produciendo núcleos más pequeños, cuyo movimiento se reflejaba como trazas en la emulsión. Estos resultados lanzaron el estudio de la física de partículas elementales con rayos cósmicos. Sin embargo, Blau no pudo participar en él hasta años más tarde, cuando se estableció en Estados Unidos, después de pasar por Noruega y México. Cecil F. Powell recibió el Nobel de Física de 1950 «por su desarrollo del método fotográfico para estudiar procesos nucleares y por sus descubrimientos sobre los mesones hechos con este método». La prioridad de Blau sobre el método fotográfico fue simplemente ignorada, a pesar de que recibió cinco nominaciones al premio Nobel. Tal vez por razones diferentes al caso de Meitner, pero los miembros del comité Nobel han mostrado su misoginia durante años.

Marguerite Perey descubrió un nuevo elemento químico. Con el equivalente de una formación profesional actual, Perey entró en el Instituto del Radio de París en 1929 en calidad de técnico de laboratorio. En vista de su interés y pericia, Irène Joliot-Curie le animó a hacer una investigación en solitario a partir de los resultados obtenidos por investigadores estadounidenses sobre los rayos  $\beta$  asociados al actinio. Perey observó que las energías publicadas por los estadounidenses eran incompatibles con las de los rayos  $\beta$  que ella misma había observado, de modo que emitió la hipótesis de que pertenecían a otro elemento químico. Tres años más tarde, en 1938 confirmó la existencia del elemen-

to 87, al que dio el nombre de francio. Siguiendo de nuevo los consejos de Joliot-Curie, se inscribió en la Sorbona para obtener la licenciatura en química y, más tarde, un doctorado. En 1949 ocupó en la universidad de Estrasburgo la reciente cátedra de Química Nuclear. Marguerite Perey destaca, además, por ser la primera mujer miembro de la Academia de Ciencias de Francia, logro que en el pasado había sido negado a Marie Curie y a Irene Joliot-Curie.

Acabo esta selección con Elizabeth Rona, seguramente la mujer más viajera de esta muestra y la que desarrolló una investigación más variada. Estudió física, química y geofísica en la universidad de Budapest, donde en 1912 se doctoró en química orgánica. Al año siguiente se fue a Karlsruhe, para estudiar los fenómenos radioactivos con Fajans. De vuelta a Budapest, verificó, por sugerencia de Hevesy, la existencia del torio-231, lo que le valió un primer reconocimiento internacional. Por ello, Otto Hahn la invitó a ir a Berlín para separar el torio-230. Después de una breve estancia en Budapest, en 1924 fue contratada por Meyer en el instituto de Viena. Las reacciones nucleares se realizaban entonces bombardeando núcleos con partículas alfa, y convenía utilizar las más energéticas. Rona estuvo mes y medio en París para aprender a preparar, de la mano de Irène Joliot-Curie, fuentes de polonio, que es un potente emisor de estas partículas, y se convirtió una experta en esta técnica<sup>7</sup>. Más tarde, se interesó por la oceanografía, cuando un físico sueco llegó a Viena con muestras de sedimentos marinos, cuya radioactividad quería medir. Como el fondo radioactivo ambiental en el laboratorio era demasiado alto para poder hacer medidas precisas, Rona decidió pasar sus veranos en la costa sueca, con todo el equipo necesario para estudiar la presencia de las familias radioactivas en el entorno marino. En los primeros años de la segunda guerra mundial estuvo en Budapest, trabajando en un hospital, pero finalmente emigró a Estados Unidos, donde se instaló permanentemente. Acabó su carrera académica en el Instituto de Ciencias Marinas de la universidad de Miami, donde, entre 1965 y 1975, se dedicó a aplicar lo que sobre



Marguerite Perey (Villemomble 1909, Louveciennes 1975)



Elizabeth Rona (Budapest 1890, Oak Ridge 1981)

<sup>7</sup> Años más tarde, Rona diseñó un nuevo método para extraer grandes cantidades de soluciones purificadas de polonio-210 y plomo-210 a partir de fuentes de radón. Por esta razón, a poco de su llegada a los Estados Unidos en 1941, fue invitada a participar en el proyecto Manhattan, siendo una de las pocas científicas que lo hicieron.

oceanografía aprendió veinticinco años antes en las costas de Suecia (Bruce, 78).

## 6. El caso de España

En la Tabla solo aparece una española: Piedad de la Cierva Viudes. La universidad española abrió oficialmente sus puertas a las mujeres en 1910. Un dato interesante por lo que hace a las que hicieron estudios de física y de química, es el número de socias de la *Real Sociedad Española de Física y Química* (RSEFQ) en el primer tercio del siglo XX. Según los datos recopilados por Carmen Magallón (Magallón: 295), entre 1912 y 1936 ingresaron en ella 150 (entre ellas, la socia de honor Marie Curie). La investigación española se realizaba básicamente en Madrid, porque sólo la universidad Central podía conceder el grado de doctor y porque en Madrid estaban también los centros más importantes de investigación. Uno de ellos era el Instituto Nacional de Física y Química (INFQ) que, entre 1931 y 1936, contaba con 36 científicas.

En la universidad Central existió un Laboratorio de Radioactividad, fundado en 1904 por José Muñoz del Castillo, convertido en 1911 en Instituto de Radioactividad (Herrán, 2008). A pesar de que estuvo muy bien dotado en medios materiales, apenas tuvo influencia en los medios científicos, ni dentro ni fuera del país, por dos razones. Por un lado, Muñoz defendía, sin base empírica alguna, unas ideas sobre el origen de la radioactividad que lo situaban al margen del marco conceptual surgido de los experimentos realizados en los centros de investigación europeos. Por otro lado, sus actividades consistían en tratar de establecer un mapa radiológico de España, hacer mediciones en fuentes termales y explorar los efectos de aguas y abonos radioactivos, que finalmente no llevaron a resultados convincentes. El Instituto no tuvo a ninguna científica entre su personal que, por otra parte, no hacía investigación básica en radioactividad, como tampoco se hacía en el resto del país.

Cuando en 1933, Marie Curie volvió a visitar España, manifestó reiteradamente a Enrique Moles, a la sazón



Piedad de la Cierva (Murcia 1913, Madrid 2007)

director de la sección de Química Física del INFQ, «el interés y la complacencia con que vería en su Instituto un colaborador español» (Magallón: 255). M<sup>a</sup> Teresa Salazar Bermúdez, doctora en químicas y profesora ayudante de la universidad Central, obtuvo de la Junta de Ampliación de Estudios (JAE) una pensión para trabajar en el Instituto del Radio. Sin embargo, antes de emprender su viaje murió Marie Curie, y cambió su destino por el laboratorio de Química Física de la universidad de París. Se frustró así el primer intento de traer a España las investigaciones sobre radioactividad y física nuclear que se realizaban en centros europeos.

Quien sí lo hizo fue Piedad de la Cierva Viudes (Alva: 138). Esta licenciada en química estaba integrada en la sección de rayos X del INFQ, dirigida por Julio Palacios. Tras doctorarse en 1935, solicitó a la JAE una pensión para estudiar la estructura de polímeros en Viena. Sin embargo,

por razones desconocidas, cambió de opinión y, con una beca de la Fundación Conde de Cartagena, se fue al Instituto de Física de Copenhague, fundado y dirigido por Niels Bohr. Allí trabajó con George Hevesy (que recibió el premio Nobel de Química de 1943), sobre la radioactividad artificial, recientemente descubierta por los esposos Joliot-Curie. Aprendió a manejar detectores y fuentes de neutrones, que utilizó para estudiar la emisión de neutrones por diversos minerales y la acción de neutrones rápidos sobre el aluminio. También visitó varios laboratorios europeos, presentando sus trabajos a Irène Joliot-Curie y a Lise Meitner. Cuando regresó a España, obtuvo financiación para construir un contador de partículas beta, pero el proyecto se frustró a causa de la guerra civil. A partir de 1939, cambió de orientación y se dedicó al estudio de vidrios de calidad óptica en el laboratorio de la Marina.

## 7. Comentarios finales

Es evidente que las científicas de este primer tercio del siglo XXI han encontrado una situación muy distinta a la que hace un siglo encontraron nuestras pioneras. En la mayoría de los países, no hay restricciones para acceder a la universidad ni para mantener un trabajo después de casadas, etc. Pero hay otros aspectos, como el rol que la sociedad asigna a las mujeres, las dificultades de conciliación o las diferencias de salario, de los que no se puede decir lo mismo. Voy a indicar algunas cifras, aunque ya adelanto que no tengo explicación para ellas, con el fin de incitar a reflexionar a quienes se dedican a investigar sobre las mujeres y la ciencia

A partir de los datos de Rentetzi y Pigéard-Micault, he estimado más arriba que en los Institutos del Radio de Viena y de París, las mujeres representaban en promedio un 20-25% del personal científico entre los años 1910 y 1934. Como equivalente actual de estos centros he tomado el Instituto de Física Corpuscular (IFIC) de Valencia, donde se hace investigación en física nuclear, altas energías y aplicaciones médicas. El porcentaje de mujeres en el IFIC está en torno al 23%, incluyendo todas las categorías de funcionarios, contractados y becarios. No dispongo de

cifras de otros centros similares, pero por mi experiencia en algunos de ellos tanto en España como en otros países, debe de ser del mismo orden, tal vez un poco menor. Como es evidente, no hay en Física ninguna ley que afirme que este porcentaje tenga que ser constante en el tiempo.

Para hacer una comparación que incluya más categorías, he consultado las estadísticas de la universidad de Valencia del curso académico 2022/23. Las mujeres representan el 64% de estudiantes matriculados, lo que es una proporción notoriamente superior a la que existe en la población. Las mujeres constituyen la gran mayoría en los grados relacionados con educación y salud, como Pedagogía (87%), Enfermería (83%) y Magisterio (80%), mientras que son minoría en los grados de Física (31%) o Ingeniería (23%). Lo menos que se puede decir sobre estas cifras es que parecen responder al rol que la sociedad asigna a las mujeres<sup>8</sup>.

Estos números no son exclusivos ni de esta universidad ni de este país, como lo prueba el que el 11 de febrero haya sido declarado «Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia» por Naciones Unidas. Los «días de» invitan a reflexionar sobre cuestiones problemáticas que hay que resolver. En este caso, con los actos de todo tipo que se celebran ese día, se pretende atraer a las jóvenes a estudios científicos y técnicos. Además de mostrar lo que se consideran atractivos propios de las disciplinas involucradas, también se presentan modelos de éxito, que sirven en muchos casos como detonante para despertar «vocaciones». En el caso que nos ocupa, el modelo recurrente es Marie Curie, a quien las narraciones populares continúan presentando como una heroína que consagró su vida entera a la ciencia. Ciertamente, hubo mucho de ello, como consecuencia de las ideas positivistas dominantes en Francia a finales del siglo XIX, adoptadas por los Curie y tantos otros científicos de la época. Sin embargo, no creo que esta actitud casi religiosa hacia la actividad científica sea efectiva en el siglo XXI. Es sin duda más importante transmitir el mensaje de que no hay, o no debe haber, ningún sesgo

<sup>8</sup> El loable empeño de aumentar la proporción de mujeres en carreras científicas y técnicas tiene una consecuencia que no se tiene en cuenta, o al menos no he visto que se mencione. Si la presencia de mujeres aumenta en ciertas disciplinas, se reduce necesariamente en otras. Para evitar que en el futuro disminuya el número de profesionales en estas últimas, sería tal vez necesario hacer campañas paralelas para atraer a los hombres a las áreas de educación y salud, que la sociedad sigue asociando a las mujeres.

de género en el momento de escoger los estudios o la actividad profesional futura. Y a la hora de ofrecer modelos, convendrá evitar que la figura de Marie siga «ensombreciendo» —para seguir con la metáfora— a las científicas posteriores que han logrado su objetivo a pesar de los prejuicios sociales de cada época. Algunas lo hicieron hace un siglo, como he intentado mostrar aquí, y muchas más continúan haciéndolo en la actualidad.

Elfrieda Adler	Marie-Isabelle Archinard	? Ascouart
Anne Baschwitz Levy	Winifred Beilby Soddy	Maria Belar
Lucie Blanquière	Marietta Blau	Harriet Brooks
Lilly Brück	Adrienne Brunshvicg Weil	Dora Buchgraber
Erna Bussecker	Catherine Chamié	Sonia Cotelle Slobodkine
Sonia Dedichen Hanneborg	Maria Deinlein	Piedad De la Cierva
Alicja Dorabialska	Elfrida Eysank	Jeanne Ferrier Lattès Fournier
Hilda Fonovits Smereker	Seweryn Grabienka	Renée Galabert
Fanny Gates	Janina Garczynska	Ellen Gleditsch
Irén Götz Dienes	Irène Gourvitch	Magda Habermeld
Ada Hitchens	Margarete Hoffer	Elsa Holesch
Randi Holwech	Maria Hornyak	Stefanie Horowitz
Theodora Kautz	Elisabeth Karamichailova	Berta Karlik
Marthe Klein Weiss	Antonia Korvezee	Ilse Lahner
Lauda Larche	Jeanne Ferrier Lattès Fournier	Marthe Leblanc Renard
Irma Leitner	Herta Leng	May Leslie
Wilhelmina Lub	Marguerite Macaigne	Irena Manteuffel Ramm
Stéphanie Maracineanu	Branca Marques Torres	Elisabeth Matzner
Ilse Merhaut	Sophie Merkader	Madeleine Monin Molinier
Eliane Montel	Elisabeth Neuninger	Isabelle Patton Waldbauer
Marguerite Perey	Hertha Pertz	Ruth Pirret
Wilhelmine Polaczke	Angele Pompei	Alice Prebil Leigh-Smith
Eva Ramstedt	Elisabeth Rona	Hertha Scheichenberger
Selma Schneidt	Jadwiga Schzmidt Tshernyshev	Alice Scouart
Jesse Slater	Helene Souczek	Anni Urbach
Suzanne Veil	Frieda Viehfeger	Richilde Wagner
Hertha Wambacher	Erna Wegemann	Lucienne Weinbach Wisner
Felicitas Weiss-Tessbach	Marie-Henriette Wibratte	Frances Wick
Hansi Wiesthal	Getrud Wild	Edith Willcock
? Wisner	Germaine Wiswald Pilorget	Margaret Wrangell Andronikow
Hélène Zavizziano Emmanuel	Stefanie Zila	

Relación de 92 científicas que investigaron sobre radioactividad y física nuclear entre los años 1896 y 1939, sin incluir a las tres grandes pioneras Marie Curie, Lise Meitner e Irène Joliot-Curie. En un caso, se desconoce el nombre de pila. Los apellidos múltiples indican que se trata de una mujer casada que ha querido indicar su apellido de soltera.

## Bibliografía

- Alva Rodríguez, Inmaculada. «Piedad de la Cierva: Una sorprendente trayectoria profesional durante la Segunda República y el franquismo», *Arbor* 192, 2016, pp. 138-144.
- Bischof, Brigitte. «Women in Physics in Vienna». Michal Kokowski (ed.), *The Global and the Local: The History of Science and the Cultural Integration of Europe. Proceedings of the 2nd International Conference of the European Society for the History of Science*. Cracow: Wydawnictwo Polskiej Akademii Umiejętności, pp. 517-525.
- Boudia, Soraya. «An inspiring Laboratory Director. Marie Curie and Women in Science», *Chemistry International* 33, 2011, pp. 12-15.
- Brucer, Marshall. «Elizabeth Rona», *The Journal of Nuclear Medicine* 23, 1982, pp. 78-79.
- Geiger, Hans & Ernest Marsden. «On a Diffuse Reflection of the  $\alpha$ -Particles», *Proceedings of the Royal Society* A82, 1909, pp. 495-500.
- Herrán Corbacho, Néstor. *Aguas, semillas y radioactividad. El laboratorio de radioactividad de la universidad de Madrid*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2008.
- Lyknes, Annette & Lise Kvittingen & Anne Kristine Børresen. «Appreciated Abroad, depreciated at Home. The career of a Radiochemist in Norway: Ellen Gleditsch (1879-1968)», *Isis* 95, 2004, pp. 576-609.
- Magallón Portolés, Carmen. *Pioneras españolas en las ciencias. Las mujeres en el Instituto Nacional de Física y Química*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2004.
- Pigeard-Micault, Natalie. *Les femmes du laboratoire de Marie Curie*. Paris: Glyphe, 2013.
- Rayner-Canham, Marelene F. & George W. Rayner-Canham. «Harriet Brooks. Pioneer nuclear scientist», *American Journal of Physics* 57, 1989, pp. 899-902.
- Rayner-Canham, Marelene F. & George W. Rayner-Canham. «Pioneer women in nuclear science», *American Journal of Physics* 58, 1990, pp. 1038-1043.
- Rayner-Canham, Marelene F. & George W. Rayner-Canham. *A Devotion to Their Science. Pioneer Women in Radioactivity*. Montreal: McGill-Queen's University Press, 1997.
- Malley, Marjorie. *Radioactivity. A History of a Mysterious Science*. Oxford: Oxford University Press, 2011.
- Stefan Meyer, Stefan & Egon von Schweidler. *Radioaktivität*. Leipzig: B.G. Teubner, 1927.
- Rentetzi, Maria. *Trafficking Materials and Gendered Experimental Practices: Radium Research in Early 20th Century Vienna*. New York: Columbia University Press, 2008.
- Rutherford, Ernest. «The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom», *Philosophical Magazine* 21, 1911, pp. 669-688.
- Sábato, Ernesto. *Antes del fin*. Barcelona: Seix-Barral, 1999.
- Sime, Ruth. «Marietta Blau: Pioneer of Photographic Nuclear Emulsions and Particle Physics». *Physics in Perspective* 15, 2013, pp. 3-32.