

LA GRAN “C”. EL LEGADO DEL RADIUM

María M. López¹, Andrés F. Cardona²

Resumen

Marie Sklodowska-Curie, fue una mujer extraordinaria, que nació en Varsovia, Polonia, el 7 de noviembre de 1867. Debido a que a las mujeres no se les permitía estudiar en las universidades polacas, abandonó el país para continuar su educación en Francia. Obtuvo su licenciatura en física en la Facultad de Ciencias de la Sorbona en 1893, y en matemáticas un año después. En 1894 le presentaron a Pierre Curie (1859-1906), un físico francés. Poco después, Pierre se dio cuenta de que había encontrado un alma compatible y le escribió a Marie: “Qué maravilloso sería si pudiéramos pasar nuestras vidas juntos, siguiendo nuestras ideas. Tus ideas patrióticas y nuestras ideas comunes de humanidad e investigación”. Su matrimonio (25 de julio de 1895) marcó el comienzo de una relación extraordinaria. Trabajaban en un viejo cobertizo de madera, con techo de claraboya, un antiguo prosectorium de la facultad de medicina. Pierre se concentró en la física, Marie en la química, y se ocupó principalmente en aislar las sales de uranio de toneladas de minerales. Marie publicó su primer trabajo de investigación sobre el magnetismo del acero templado. Presentó los resultados en solitario sobre los rayos de Becquerel y sugirió la existencia de un nuevo elemento. Pierre Curie se unió a su trabajo de investigación en marzo de 1898. La investigación de Curie sobre la radiación en el mineral de uranio condujo, en 1898, al descubrimiento de dos nuevos elementos químicos altamente radiactivos, el polonio (nombrado por Marie en honor a Polonia) y el radio. En 1911 recibió el Premio Nobel de Química por su trabajo sobre el aislamiento del radio metálico. Ese mismo año participó en la Conferencia de Solway, donde fue la única mujer entre científicos que incluían a Niels Bohr, Max Planck y Albert Einstein. Gracias a los esfuerzos de Marie Sklodowska-Curie, en 1912 se fundó el Radium Intitute de París (el sueño de Pierre). En 1914, Marie se convirtió en directora del Pabellón Curie’s y trabajó allí hasta su muerte. El impacto social del trabajo de Marie Curie se puede ver a lo largo del siglo pasado, su compromiso condujo al desarrollo de la energía nuclear y la radioterapia para el tratamiento del cáncer, y también mejoró la imagen de la ciencia.

Palabras clave: *Radium; radioterapia; cáncer; historia; radiación.*

-
- 1 Historiadora. Magíster en Gestión Cultural. Coordinación Editorial, Señal Memoria RTVC. Dirección proyectos Culturales, Idearium Cultura. Bogotá, Colombia.
 - 2 Grupo Oncología Clínica y Traslacional, Clínica del Country. Fundación para la Investigación Clínica y Molecular Aplicada del Cáncer (FICMAC). Grupo de Investigación en Oncología Molecular y Sistemas Biológicos (Fox-G), Universidad El Bosque. Bogotá, Colombia.

THE BIG “C”. THE LEGACY OF RADIUM

Abstract

Marie Sklodowska-Curie, was an extraordinary woman, who born in Warsaw, Poland, on 7 November 1867. Because women were not allowed to study at Polish universities she left the country to continue her education in France. She won her licenciante in physics at the Faculty des Science at Sorbonne already in 1893, and in mathematics a year later. In 1894 she was introduced to Pierre Curie (1859–1906), a French physicist. Soon after, Pierre realized he had found a matching soul and wrote to Marie: “How wonderful would it be if we could spend our lives together, following our ideas. Your patriotic ideas, and our common ideas of humanity and scientific research”. Their marriage (25 July 1895) marked the beginning of a remarkable partnership. They worked in an old wooden shed, with a skylight roof, a former prosectorium of a medical school. Pierre concentrated on physics, Marie on chemistry, she was mainly occupied with isolating uranium salts from tones of ores. Marie published her first research paper on magnetism of tempered steel. She presented the results of her solo work on Becquerel’s rays and suggested the existence of a new element. Pierre Curie joined her research work in March 1898. The Curies’ investigation of the radiation in uranium ore led, in 1898, to the discovery of two highly radioactive new chemical elements, polonium (named by Marie in honor of Poland) and radium. In 1911, she received the Nobel Prize in chemistry for her work on the isolation of metallic radium. In the same year she took part in the Solway Conference, where she was the only woman amongst men-scientists that included Niels Bohr, Max Planck and Albert Einstein. Due to Marie Sklodowska-Curie’s efforts, the Radium Intitute in Paris (Pierre’s dream) was founded in 1912. In 1914, Marie became head of the Curies Pavilion and worked there until her death. The social impact of Marie Curie’s work can be seen during the past century, her work led to the development of nuclear energy and radiotherapy (RT) for the treatment of cancer and also improved the image of science.

Keywords: *Radium; radiotherapy; cancer; history; radiation.*

*Para comprender una ciencia
es necesario conocer su historia.
Auguste Comte*

Introducción

La Historia está llena de silencios, de sombras, de afo-
nías. Durante mucho tiempo la Historia tuvo una sola

voz; masculina, hegemónica y excluyente; pero en algu-
nas excepciones hubo voces que sin hablar más duro dije-
ron mucho más. De hecho, muchas veces, esas voces fue-
ron el eco de sus acciones. Este es el caso de Marie Curie:
una mujer excepcional, pionera investigadora y brillante
científica, que, gracias a una impecable ética por el traba-
jo, respeto por los principios, disciplina y ante todo perse-
verancia logró cumplir sus objetivos y crear ciencia.

Marie Curie junto a su marido Pierre Curie hicieron importantes descubrimientos y avances científicos en el campo de la radioactividad. Fue la primera mujer en ser profesora de la Universidad de la Sorbona, además de haber sido la primera mujer -y persona-, en ganar un Premio Nobel en Física y un segundo nobel en Química. El siglo XIX inicia con una revolución y termina con una guerra. Una revolución, la francesa, que, en defensa de los ideales ilustrados como la libertad, la igualdad y la fraternidad, derrocó el antiguo régimen; y una guerra, la Gran Guerra, que dejó en evidencia el costo de la vida humana para construir estados-nacionales que tienen el propósito de ofrecer y preservar la libertad, la igualdad y la fraternidad a sus ciudadanos. Es, por lo tanto, el siglo XIX, la representación de la lucha del hombre por implementar los ideales, los principios y la razón, los cuales estaban basados en tendencias filosóficas como el positivismo y el idealismo. El positivismo decimonónico se centró en lo público, como elemento constitutivo del pueblo, y desplazó la vida cotidiana, privada e individual. Este movimiento respondió al momento político de su época: la construcción simbólica de las naciones y el énfasis en el desarrollo de la ciencia y la tecnología como motores del progreso (1).

Las acciones de los hombres de este siglo, se fundamentaron en el conocimiento, en la ciencia y en un pensamiento racional, ya que eran elementos esenciales para la constitución de la individualidad. No obstante, muchas de esas acciones implementadas cayeron en las guerras y las revoluciones como mecanismos para cambiar los antiguos establecimientos políticos, económicos y sociales. En este siglo tan convulsionado, que al mismo tiempo se siente sombrío y gris, están las raíces de la modernidad, de la ciencia, de la individualidad, de la ciudadanía y de muchos otros ideales que forjaron el siglo XX y el XXI.

Es además en este siglo, donde las mujeres comenzaron a vincularse activamente con la vida pública, a par-

icipar de otros sectores y disciplinas, y a encontrar su propia voz. Ciertamente es que la vida de las mujeres como el desarrollo de una historia personal estaba sometida a una codificación colectiva precisa y socialmente elaborada (2), pero también sería equivocado pensar que estuvieron en absoluta dominación masculina. En este siglo surge por demás, el nacimiento del feminismo, concepto que se refiere a la aspiración por parte de las mujeres a cambios estructurales importantes que les permita su participación, trabajo asalariado, ciudadanía, autonomía del individuo, derecho a la educación, libertad de ejercer la profesión, entre otros (2). Este cambio histórico, cambió la perspectiva de vida de las mujeres, ya que, para ellas, sus acciones, fundamentadas en la razón e inspiradas por los ideales, les permitió adoptar una conciencia de individuo, de protagonista y de futura ciudadana (3)³. Por lo tanto, la mujer dejó de pensarse exclusivamente en los espacios de la vida privada, de las labores domésticas, en donde su rol primario era el de ser madre y compañera del hombre. Ahora, ella podía pensar en ocupar espacios públicos, como la esfera política, social y científica, entre muchos otros.

Es en este contexto que aparece Marie Curie. Una mujer excepcional que representó todos estos cambios silenciosos y ulteriores que se estaban dando, pero de los cuales no se estaba hablando. En ella, existen varias representaciones claras como la incipiente conciencia nacional, pero al mismo tiempo la constitución de un pensamiento autónomo que la define como un individuo capaz de agenciar sus libertades, competir con hombres, ganar un salario, sostener una familia y desarrollar en plenitud su individualidad.

3 Simone de Beauvoir, en su clásica obra feminista *El Segundo Sexo* (1949), ya planteaba cómo lo varonil era el ser, y lo femenino se convertía en lo otro; mientras que aquel representaba lo público, lo político, lo ético, la producción cultural, la ciencia y la filosofía, el otro se convertía en lo privado, lo cerrado, el matrimonio y lo carente de significado.

No es propósito de este ensayo hacer un análisis de género, ni una historia de las mujeres, pero sí dar algunos elementos del contexto que son representativos en Marie Curie, para poder reconocer además de sus aportes a la ciencia, las barreras que tuvo que enfrentar desafiando precisamente el establecimiento por medio del esfuerzo y el trabajo. Hay muchas mujeres que hicieron parte de este cambio, pero sin duda alguna, Marie tuvo una voz propia y un lugar preponderante. Ella fue una bisagra entre los tiempos modernos, que permitió repensar el aporte de las mujeres tanto en la sociedad como en la ciencia.

Marya Sklodowska-Curie en Polonia

*Saber es poder.
Auguste Comte*

Marya Sklodowski-Curie nació el 7 de noviembre de 1867 en Varsovia, Polonia. Sus padres, judíos, fueron profesores, y ella, la menor de cinco hermanos. Wladyslaw Sklodowski, su padre, fue maestro de biología y física, mientras que su madre, Bronislawa, directora de uno de los internados de niñas más prestigiosos de la ciudad. Sin duda alguna, sus padres ejercieron una gran influencia en su formación e intereses, a pesar de la difícil época que les tocó vivir. A principios de 1790 Polonia fue invadida por los imperios de Rusia, Prusia y Austria, quedando Varsovia bajo la ocupación rusa (4). Los rusos llegaron a imponer sus formas, costumbres y lengua, reprimiendo violentamente un pueblo, que históricamente había construido una resistencia cultural bajo la mancomunidad polaco-lituana, que previamente se había desintegrado, razón por la cual motivó la invasión y repartición del territorio entre los tres imperios.

Durante la invasión rusa, la élite polaca en forma de protesta no violenta, impulsó la doctrina positivista de Auguste Comte (5), en la cual era menester la difusión del conocimiento y la estimulación de la educación científica para la reconstrucción del orden social

y la convivencia pacífica⁴. Por lo tanto, apropiándose de los principios de Comte, los polacos encontraron en la ciencia el fundamento que podía darle unidad a los demás elementos constitutivos de la sociedad, para hacer resistencia a los rusos, y no perder el tejido social que los unía.

Marya creció en un hogar que cumplió a cabalidad esta doctrina. Su padre fue activo en la resistencia pacífica, además de profesar su patriotismo, por lo cual las autoridades rusas lo penalizaron en varias ocasiones, entre esas por subversión. Esto impactó la estabilidad del padre, lo cual repercutió en las finanzas del hogar. Así las cosas, la familia Sklodowski creció entre la austeridad, con una gran ética por el trabajo y una profunda devoción por el conocimiento. Además de la pobreza, la familia tuvo que enfrentar problemas de salud y pérdidas humanas. En 1871, el hermano del padre llegó a vivir a la casa de los Sklodowski con una tuberculosis pulmonar, la cual era una enfermedad contagiosa e incurable de la época. La madre fue infectada, por lo cual tuvo que vivir aislada de la familia para evitar contagios. Por más cuidados que se tuvieron, Bronislawa murió en 1878, cuando Marya tenía once años. Unos tres años antes, su hermana más cercana, Sophie, había muerto por tífus. Las **Figuras 1A y B** incluyen un recuento gráfico de Wladyslaw y Bronislawa Sklodowski.

4 Auguste Comte (1798-1857) fue el padre de lo que conocemos hoy en día como Sociología, y un pensador del positivismo del siglo XIX. Profesando un profundo respeto por las ciencias naturales (al igual que René Descartes), Comte propone en el "Discurso sobre el espíritu positivo" en que la única manera de entender cómo se organizan las sociedades es a través de la aplicación de métodos científicos y cuantitativos, para descubrir cuales son las leyes que las rigen, lo cual estaría determinado por la ley del progreso humano. De hecho, en la aplicación de la ley todas las sociedades pasan por tres estados: el teológico (Antigüedad a la Edad Media), el metafísico (siglos XVI, XVII y XVIII) y el positivo, el cual sería el final, en el que cada sociedad adquiriría un estado científico y tecnológico, que fuese la base de la toma de decisiones racionales, por lo cual las normas morales serían universales. Este estado sería el de la ciencia de la sociedad, es decir, la Sociología.



Figuras 1A y B. Wladyslaw y Bronislawa Sklodowski, padres de Marya. **C.** Pareja Sklodowski rodeada de sus alumnos en la 16 Freta Street, Varsovia, Polonia, 1860 (Fuente: Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP3).

Marya creció en un entorno políticamente complejo y oprimido por consecuencia de la opresión rusa, además de la pobreza, la exclusión social, y las pérdidas de la hermana y la madre. No obstante, logró sobreponerse a dichas circunstancias destacándose en sus estudios. Aprendió a leer a los 4 años, dominó a la perfección el ruso y desde muy pequeña se interesó por las ciencias. Se graduó del colegio con honores, pero su sueño de seguir una carrera científica se vio frustrado porque en Polonia estaba prohibida la entrada de mujeres a la Universidad, y las condiciones económicas de la familia no permitieron costearle estudios en el extranjero (**Figuras 2A y B**).

Así las cosas, Marya y su hermana Bronya, honrando los principios familiares y cumpliendo la doctrina de Comte, hicieron el "pacto de damas" (6). Este pacto consistió en que las hermanas mutuamente se iban a ayudar a costear su educación superior. Marya trabajó durante ocho años como institutriz para que su hermana Bronya estudiara medicina en París. Mientras tanto, Marya adelantó estudios en Física, Química y Matemáticas en las clandestinas "universidades flotantes", las cuales fueron creadas secretamente por profesores polacos para ofrecer alternativas de estudio a los estudiantes polacos que no tenían acceso a la educación por consecuencia de la opresión rusa (7) (**Fi-**

gura 3). En 1891, a sus 24 años, Marya viajó a París, financiada por su hermana, para estudiar Física, Química y Matemáticas en la Universidad de la Sorbona.

Marie Curie: los inicios de su carrera científica y su relación con Pierre Curie

Era como un nuevo mundo abierto para mí, el mundo de la ciencia, que por fin se me permitió conocer en toda libertad.

Marie Curie

Marie llegó a París sin dominar el francés y con escasos recursos a un humilde ático del barrio latino de París para estar cerca de la universidad (7). Ella dedicó mucho tiempo a perfeccionar el idioma, ya que estaba en franca desventaja con sus compañeros, mientras solventaba la situación de pobreza, frío y hambre, lo cual tuvo implicaciones en su salud. Sin embargo, Marie logró graduarse como la mejor alumna, obteniendo su título de licenciatura en Física en 1892, y al año siguiente en matemáticas.

La carrera científica de Marie inició en 1894 investigando las propiedades magnéticas de diversos aceros



Figura 2A. Joven Marya Skłodowska en 1883 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP25) y extracto de su diario (B). El boceto representa a Lancet, el querido puntero de los niños Skłodowski, alrededor de 1886 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP37). En ese momento, Marya esperaba continuar su educación superior y asistir a una universidad adecuada. Sin embargo, lamentablemente esto no fue posible para una mujer joven en la Varsovia dominada por Rusia. En ese entonces, Marya hablaba con fluidez el alemán y el ruso (discretamente el francés), y deseaba estudiar en la Sorbona de París.



Figura 3. Marya Skłodowska y su hermana Bronisława en 1886 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP42).

por encargo de la Sociedad para el Fomento de la Industria Nacional francesa. Ese mismo año conoció por medio de un amigo polaco, el profesor Kowalski, a Pierre Curie, un físico francés, pionero en el estudio de la radioactividad. Nacido en París el 15 de mayo 1859, Pierre, hijo de un médico y proveniente de una familia en la que la ciencia tenía igualmente un valor significativo. Estudió Física en la Universidad de la Sorbona, y en 1878, obtuvo al igual que Marie, su licenciatura en Física. Para ese entonces, Pierre, con 35 años era el jefe de la Escuela de Física y Química, y ya empezaba a ser reconocido por sus avances científicos en áreas como la cristalografía y el magnetismo, así como por sus enunciaciones sobre balanzas y el principio de simetría (**Figuras 4A-C**).

El amor por la ciencia y la investigación creó un vínculo profundo entre los dos, que más adelante los uniría en la propuesta de matrimonio por parte de Pierre: "¿Qué sería pasar la vida el uno junto al otro? Hipnotizados con nuestros sueños: tu sueño patriótico, nuestro sueño humanista y nuestro sueño científico" (6). Según algunas versiones de la historia, el fundamento de la relación no fue el romance, sino un gran compañerismo en la investigación. De hecho, Marie expresó algunas dudas para casarse, ya que tenía intención de volver a Varsovia, para apoyar la causa patriota y liberar a Polonia de la opresión. No obstante, el 26 de julio 1895, Marya Sklodowska cambió su nombre por Marie Curie, el cual será inmortalizado en los anales de la ciencia. La pareja tuvo dos hijas, y como se mencionó previamente, dedicaron su vida a la investigación científica (**Figura 5**).

Para continuar con su carrera en investigación, Marie decidió realizar el doctorado en física. Ninguna mujer había alcanzado el título de doctor en ciencias. Para poder realizar su investigación, Marie se interesó por dos recientes acontecimientos científicos: el descubrimiento por parte de Wilhem Roentgen de los Rayos X, y la observación de Henri Becquerel, en unos rayos de

naturaleza desconocida, que sin intervención de la luz que emitían los minerales que tenían uranio (4). Marie, se propuso investigar a profundidad aquellos rayos de los que hablaba Becquerel, y manifestó su deseo de descubrir de dónde provenía la energía que los compuestos de uranio emanaban en forma de radiaciones.

Para adelantar las investigaciones, Pierre le cedió un espacio para armar su laboratorio en la Escuela de Física y Química donde trabajaba. Allí, Marie descubrió que los minerales que contenían uranio, en efecto producían rayos, pero que la magnitud de éstos no se correlacionaba directamente con la presencia del uranio, por lo que probablemente estaban presentes otros elementos aún no determinados (4). Esto implicó la posibilidad del descubrimiento de elementos nuevos. En 1899, la científica presentó un informe para la Academia Francesa de Ciencias, en el que planteó que dos minerales de uranio son más efectivos que el mismo uranio, lo que hacía suponer, que estos compuestos pueden contener un elemento más activo que el uranio. Marie llamó a esta propiedad "radioactividad", y con base en esta observación. Pierre decidió acompañar a su esposa para comprobar la presencia de estos dos nuevos elementos con propiedades radioactivas. Según ella: "Las diversas razones que hemos enumerado nos llevan a creer que la nueva sustancia radioactiva contiene un nuevo elemento que proponemos dar el nombre de radio" (**Figura 6**).

De hecho, fueron dos elementos. Marie llamó al primer elemento descubierto Polonio, con una connotación política en forma de protesta por la ocupación de su país nativo. Este elemento químico ocupa el número atómico 84 en la tabla periódica y su símbolo es Po. Es un metal altamente radioactivo que comparte similitudes con el telurio y el bismuto, minerales presentes en el uranio. La presencia del polonio se encuentra, por ejemplo, en el humo por combustión del tabaco, evento que conlleva al menos en parte a la carcinogénesis relacionada con las neoplasias pulmonares y



Figura 4A. Pierre Curie en 1905 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP64,02). B. Matrimonio de Pierre y Marie Curie en 1895 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP68,01). C. Pierre y Marie Curie en 1895 en su jardín en Sceaux, al sur de París (Fotografía de Albert Harlingue, 1895. Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Albert Harlingue, Cote MCP69).

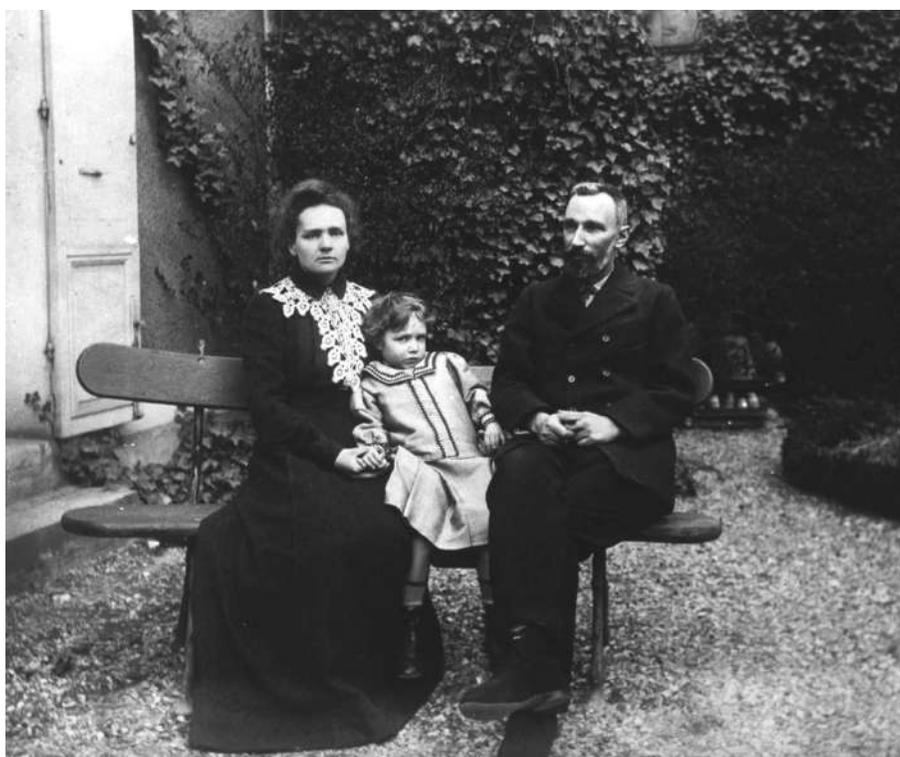


Figura 5. Pierre, Marie e Irene Curie en su jardín, en 108 Boulevard Kellermann, París, 1904 (Fotografía de Albert Harlingue. Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP105).

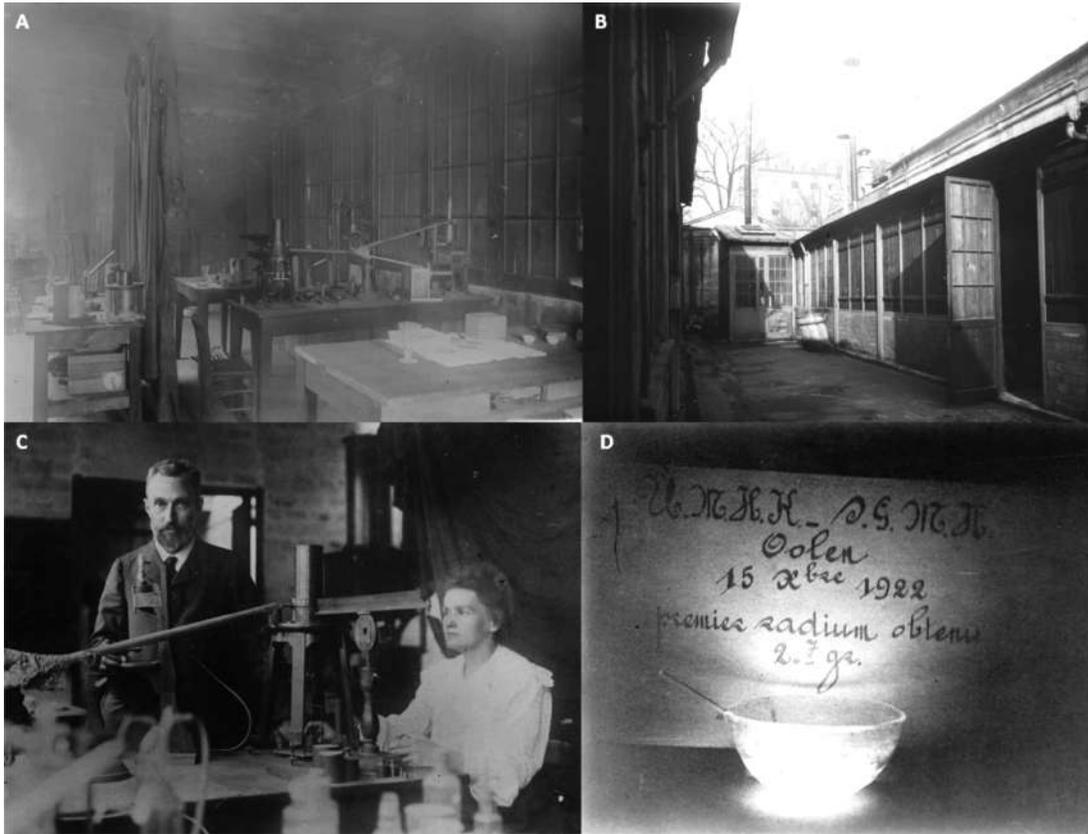


Figura 6A. Dentro del laboratorio de Pierre y Marie Curie en EMPCI, alrededor de 1898 (Fuente Musée Curie; coll. Institut du Radium / Cote MCP990). B. Exterior del laboratorio de Pierre y Marie Curie (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP991), con discreta estructura y formato de granero en madera. C. Los esposos Curie al interior del laboratorio EMPCI, implementando el uso de balanzas para definición de pesos elementales (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP80.02). D. Cuenco que contiene bromuro de radio (foto tomada en la oscuridad en 1922, Fuente Musée Curie; coll. Institut du Radium / Cote MCP4151).

mesoteliales. El segundo elemento fue el Radio, su símbolo es Ra y su número atómico es 88. El Radio es extremadamente radioactivo, un millón de veces más que el uranio. En 1902, lograron aislar un decigramo de radio puro, con el cual determinaron el peso atómico de la nueva sustancia (4,7).

En 1903, Marie recibió el título de doctora en Ciencias Físicas con *Magna Cum Laude*. Además de ese reconocimiento, los esposos Curie recibieron la Medalla Davy, el premio Osiris (que incluía un monto de

50.000 francos), y el 12 de noviembre la Academia de Ciencias de Estocolmo les otorgó el Premio Nobel de Física junto a Becquerel “en reconocimiento de los extraordinarios servicios que han prestado con sus investigaciones de la radioactividad, descubierta por el profesor Henri Becquerel” (8). Marie fue la primera mujer en recibir un Premio Nobel (**Figura 7**).

La pareja recibió 70.000 francos del Premio Nobel con los cuales se dedicaron a financiar la investigación, lo que desencadenó una pregunta de gran envergadura



Figura 7A. Retrato de Henri Becquerel hacia 1903 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP73). **B.** Portada del periódico “Le Petit Parisien” publicado el 10 de enero de 1904 (esbozo en tintas mixtas de Pierre y Marie Curie en su laboratorio en EMPCI. Fuente Musée Curie; coll. Imprimés / Cote MCP455); 1903 fue el año de consagración de Marie Curie. La pareja viajó a Londres por primera vez el 19 de junio para presentar su investigación a la Royal Institution. Pierre visitó la ciudad nuevamente unos meses más tarde para recibir la Medalla Davy, que la Royal Society le otorgó a él y a su esposa conjuntamente por sus descubrimientos. Ya conocidos en los círculos científicos, Pierre y Marie Curie se convirtieron en figuras públicas ampliamente conocidas el 12 de diciembre de 1903, cuando se anunció que serían galardonados, junto con Henri Becquerel, con el Premio Nobel de Física. De hecho, su trabajo científico había contribuido a establecer una nueva visión del mundo del átomo y las propiedades de la materia. **C.** Certificado del Premio Nobel de Física otorgado a Pierre y Marie Curie, 1903 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP86,02). El premio fue una recompensa por su investigación, pero también tuvo un efecto inquietante en la vida de los Curie. A pesar de la notoriedad que vino desde la entrega del Nobel, sus condiciones de trabajo eran inadecuadas y el proceso de aislamiento del radio siguió siendo largo y difícil. Como los Curie estaban tan agotados por su trabajo, tuvieron que esperar hasta 1905 antes de poder viajar a Estocolmo para recoger el premio. Continuaron su investigación, aunque algo perturbados por periodistas y otros espectadores curiosos.

ética: ¿se debía patentar el descubrimiento? La patente aseguraba un futuro económico, pero limitaciones a otros científicos para continuar accediendo a las investigaciones, así que decidieron dejar libre la patente porque “iría en contra del espíritu científico” además de ser su más “sincero deseo que algunos de ustedes continúen con este trabajo científico y mantengan para su ambición la determinación de hacer una contribución permanente a la ciencia”. Los avances científicos siguieron. Pierre por su parte, investigó los efectos del radio sobre la piel, en la cual había quemaduras que rápidamente se transformaban en úlceras. Con base en estos avances, el Radio empezó a usarse como tratamiento para los tumores malignos, y así nació la radioterapia (7). La **Figura 8** ilustra a Pierre Curie disertando en el anfiteatro de la Sorbona (**A y B**), Marie

con sus dos hijas (Eva izquierda e Irene derecha) (**C**), y la procesión el día de la muerte accidental justo después de su nombramiento en la Academia Francesa de Ciencias (**D**).

Para 1906 la pareja tenía dos hijas: Eva e Irene. Ese mismo año Pierre muere accidentado por una carroza de caballos, cuando estaba de regreso a casa. Sin saberlo, el cuerpo de Pierre estaba debilitado por la exposición a la radiación, por lo cual su muerte fue inminente. Tras la muerte de su esposo, Marie tuvo que lidiar una fuerte depresión, más la responsabilidad de criar sola a dos niñas en una coyuntura histórica donde la mujer no gozaba de las libertades civiles. *Ad portas* de la Primera Guerra Mundial, además del machismo, el sentimiento antisemita se expandía por Europa, así



Figura 8A y B. Pierre Curie dando una conferencia en el anfiteatro de la Facultad de Ciencias de París, 12 rue Cuvier, en 1904 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP114). En 1905, Pierre fue elegido miembro de la Academia de Ciencias de Francia. Entre el laboratorio y su vida familiar, los Curie no tuvieron mucho tiempo para dedicar a su vida ante el ojo público. **C.** Marie Curie y sus hijas Irene y Eva, en el jardín de Sceaux, verano de 1908 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP118). **D.** La procesión fúnebre frente a la casa Curie para el funeral de Pierre Curie, 108 boulevard Kellerman, 1906 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP414). Pierre Curie se acercaba al final de su vida. El 19 de abril de 1906 fue atropellado y asesinado. Mientras caminaba hacia una sesión en la Academia de Ciencias, fue golpeado fatalmente por un carruaje tirado por caballos en la rue Dauphine cerca de Pont Neuf en París. La rueda trasera izquierda del carruaje le aplastó la cabeza y murió instantáneamente. En ese entonces, tenía solo 47 años.

que Marie, tuvo que volver a sufrir la exclusión social, de la que tanto huyó en Polonia.

El gobierno francés había financiado un laboratorio para los Curie, previo a la muerte de Pierre, por lo cual el científico nunca lo alcanzó a conocer. Marie se hizo cargo del laboratorio "El Instituto del Radio", de las

investigaciones e incluso tomó la cátedra que Pierre dictaba en la Universidad de la Sorbona, siendo Marie la primera mujer en dictar una cátedra universitaria. Además de las responsabilidades laborales, Marie tenía que responder por la educación y crianza de sus dos hijas, en un momento en el que las mujeres no se desarrollaban profesionalmente, y mucho menos eran

cabeza de familia. En reconocimiento de sus logros, la Academia Francesa de Medicina le otorgó un sillón, pero el machismo, la xenofobia y el antisemitismo, no le permitieron la entrada (7). A pesar del rechazo, su empeño le permitió recibir en 1911 el segundo Premio Nobel, pero esta vez en Química, por el descubrimiento del peso atómico del Radio (6) (**Figura 9**).

La labor de Marie Curie se extendió del laboratorio para asistir los hospitales. Para ella, la investigación era en sí misma una vocación de servicio que debía tener una finalidad más allá de lo teórico. La ciencia tenía como fin servir a la comunidad, tanto para construir -o reconstruir si era necesario-, el tejido social, la sociedad. Por ejemplo, durante la Primera Guerra Mundial, Curie y su hija Irene organizaron equipos de rayos X portátiles para que los médicos pudieran atender a los soldados heridos. Lograron conformar más de 200 unidades estacionarias, más 20 autos equipados

con las máquinas correspondientes, los cuales fueron conocidos como los “Petit Curie” (**Figura 10A-C**) (5). En esta labor participaron por más de cuatro años.

Los últimos años de Marie fueron dedicados al Instituto del Radium. Después de 35 años de estar trabajando con radiación, su cuerpo se encontraba débil y enfermo. El exceso de manipulación del radio, las múltiples irradiaciones, y el permanente contacto con los rayos X, afectaron irremediamente la salud de Marie. La constante fatiga, los mareos, la fiebre fueron signos irremediables de una leucemia con anemia perniciosa severa, la cual fue diagnosticada (5). A sus 74 años, el 4 de julio de 1934, Marie Curie murió. Su enfermedad fue consecuencia directa de la radiación. Fue enterrada junto a Pierre en una ceremonia íntima, y el instituto, en honor a ella, y por supuesto a su esposo, pasó a llamarse Instituto Curie.



Figura 9A. El Pabellón Curie en el Radium Institute, en la década de 1920 (Fuente Musée Curie; coll. ACJC/Cote MCP1642B). **B.** Primera conferencia de Solvay realizada (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP2331) del 27 al 31 de octubre de 1911, consenso fundado por el fabricante químico belga Ernest Solvay (1838-1922), en Bruselas. Fue la única mujer en la primera conferencia y en muchos de los años posteriores, junto con diversos científicos prominentes, incluidos Ernest Rutherford, Max Planck, Paul Langevin, Niels Bohr, Albert Einstein y Jean Perrin. **C.** Marie Curie en Birmingham tras su nombramiento como primera profesora en la Sorbona (1913) y la recepción del segundo Nobel (Fuente Musée Curie; coll. ACJC / Cote MCP437). En noviembre de 1911, la relación entre Marie Curie y el físico Paul Langevin fue objeto de una campaña de desprestigio en la prensa de extrema derecha. El apoyo de la comunidad científica internacional la ayudó a superar esa terrible experiencia. El 10 de diciembre de 1911, y a pesar de la controversia en su vida privada, Curie recibió el Premio Nobel de Química de la Academia de Ciencias de Estocolmo “en reconocimiento a sus servicios al avance de la química mediante el descubrimiento de los elementos radio y polonio, por el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza y los compuestos de este notable elemento”.



Figura 10A. Marie Curie y su hija Irene en el Hospital Hoogstade en Bélgica, 1915. Instalación de un equipo radiográfico portátil y portafolio de accesorios (Fuente Association Curie Joliot-Curie Photographer, autor desconocido). **B.** Marie Curie y su hija Irene en el laboratorio del Radium Institute de París, Francia, 1921 (diseño del equipo estacionario móvil para toma de rayos X) (Fuente Association Curie Joliot-Curie Photographer, autor desconocido). **C.** Marie Curie upo que el español Mónico Sánchez Moreno (inventor del primer aparato portátil de rayos X y corrientes de alta frecuencia, en 1909) había tratado de comercializar en Europa su equipo inventado de Rayos X portátil, sobre todo tras fundar la Electrical Sánchez Company, y presentarse en 1910 en el V Congreso Nacional de Electrología y Radiología de Barcelona. El estallido de la Primera Guerra Mundial, 1914, y con la insistencia de la inventora polaca, provocó que Curie importase desde España 60 portátiles de Mónico Sánchez para equipar a 20 'furgonetas' Renault convirtiéndolas en ambulancias de campaña con equipos de Rayos X portátiles, cuyas primeras unidades se llamaban "Petit Curie" (Técnicos Radiólogos y naciente radiología en la I Guerra Mundial). El portátil de rayos X 'Sánchez' era fácilmente transportable, por lo que sus aplicaciones podían realizarse a la cabecera del enfermo. El aparato se transportaba en una caja, a modo de pequeña maleta de mano, cuyas dimensiones eran 22x22x46 cm, con un peso aproximado de 8 kg. El dispositivo podía conectarse a la red eléctrica o también usar una batería. Por eso el portátil de Rayos X 'Sánchez' supuso una auténtica revolución dentro de las aplicaciones de la electricidad en medicina, porque el equipo se montaba y ponía en funcionamiento en menos de 5 minutos con una máquina electrostática o una bobina de inducción que daba corriente de alto potencial. En la actualidad, la conexión entre equipos de investigación es un hecho tangible. Pero, si al manchego Mónico Sánchez Moreno, se le considera pionero de la radiología y electroterapia, y Marie Curie una firme impulsora de la evidencia radiodiagnóstica, cuesta pensar que en algún momento no tuvieran una comunicación más fluida, sobre todo porque Sánchez Moreno fue nombrado ingeniero jefe de la empresa 'Collins Wireless Telephone Company de Newar' (New Jersey) que después se incorporó a la poderosa 'Continental WireaLess Telephone & Telegarfiph Company', por la fusión de las compañías: Pacific, Clark, Collins y Massic. En esa empresa fue uno de sus ingenieros directores y desarrolló varios modelos de comunicación por teléfono.

El legado de Marie Curie tiene dos grandes vertientes que parte de la misma fuente: el amor, la pasión y la disciplina por la ciencia. Por un lado, en el aspecto científico, sus avances desembocaron en la creación de una nueva disciplina científica: la Física Anatómica, la cual ha tenido una extraordinaria variedad de

aplicaciones como técnicas para determinar la edad de los objetos (el carbono 14), tratamientos de cáncer como la radioterapia, la radiología, y otros usos en biología nuclear y genética, así como otros que impactaron negativamente la humanidad como la bomba atómica.

Contribución de la gran “C” a la oncología moderna

Los descubrimientos de la “gran C” desencadenaron una revolución en la ciencia y atrajeron la atención de científicos de todo el mundo, quienes a su vez comenzaron a estudiar el fenómeno. Pero los elementos eran una entelequia, unos espectros de los que se tenía noticias sólo por los rayos que emitían. Marie se embarcó en la ingente tarea de aislarlos puros. Sin sueldo, sin financiación para comprar materiales o aparatos, trabajando en un cobertizo anexo a la escuela en la que trabajaba Pierre, Marie comenzó el tratamiento de la *pechblenda*, el mineral de uranio que contenía ambos elementos, en unas condiciones extraordinariamente difíciles. El problema principal era que la concentración del polonio y el radio en la *pechblenda* era minúscula, por lo que Marie tuvo que tratar toneladas del mineral para obtener cantidades medibles de ambos. Además, trabajaba a oscuras, dado que no conocía las propiedades químicas de los elementos desconocidos, y uno de ellos parecía escapársele entre las manos. Mucho después se descubriría que el polonio se desintegraba a gran velocidad. La única pista fiable de su existencia era la capacidad de emitir radiación de forma espontánea, la misteriosa propiedad descubierta por Becquerel, cuyo origen era una incógnita, que había sido bautizada por Marie como radioactividad (9).

El Manual médico de Kassabian publicado en 1907 en Filadelfia ofrecía una lista de tumores tratados con radioterapia. Muchos aún se tratan con este método, siguiendo indicaciones más precisas y equipamiento sofisticado. También se debe considerar que para las primeras décadas del siglo XX se recomendaba el uso de la telecuriterapia para patologías no oncológicas, incluyendo el control de varices refractarias, epilepsia, acné, tiña capitis, artropatía luética y artritis reumatoidea. En paralelo con la gestión terapéutica del radium se reconocieron sus efectos adversos, siendo estos esporádicos en la naciente literatura médica. En 1896,

se mencionó por primera vez la alopecia inducida por radiación, y hacia 1906 los primeros indicios de la radiodermatitis atribuible a la acumulación de dosis (10).

El descubrimiento del radio y el polonio provocó la rápida instauración de la telecuriterapia, inicialmente, sin mayor control alrededor de la toxicidad. La ausencia de métodos dosimétricos adecuados y de las medidas de seguridad mínimas resultó en complicaciones que a menudo fueron fatales; Marie Curie lo experimentó ella misma, como se describió previamente. No obstante, la adquisición de conocimiento en los efectos secundarios resultó en la elaboración de los principios modernos de la radioterapia. Durante los primeros 50 años, la radiación de haz externo se basó en el uso del radio y de los rayos X. Ahora utilizamos aceleradores lineales, protones, radiocirugía y braquiterapia; esta última denominación provino del término griego “brachy” que significa “cerca”; intervención donde la fuente radioactiva se encuentra en contacto directo con el tumor. El primer informe relacionado con el uso de la braquiterapia lo hizo Goldberg en 1904. Poco tiempo después, Cleaves publicó un diagrama que mostraba el efecto de un campo magnético sobre los márgenes terapéuticos del radio. Desde su mención, “los rayos beta están fuertemente doblados hacia la derecha, los rayos gamma, al igual que los X, no están doblados en absoluto, y los rayos alfa se inclinan muy poco hacia la izquierda” (11).

Anteriormente, Pierre Curie demostró que las sustancias radiactivas emitían al menos dos tipos diferentes de rayos. El radio, descubierto por Marie Curie, se utilizó por primera vez en braquiterapia. Al principio se colocó directamente sobre la superficie del tumor o intracavitario (en el cáncer de vagina o de útero). Muy pronto, ya en la década de 1910, los médicos comenzaron a introducir la fuente radiactiva de forma intersticial, es decir, en la profundidad del tumor. Los cánceres de mama, próstata, esófago y cerebro estuvieron entre los primeros tratados con este método.

Debido a la inevitabilidad del contacto directo con el material radiactivo, el método era muy peligroso para los médicos que lo usaban. El proceso se mejoró sustancialmente mediante el uso de isótopos con el método de poscarga. El cesio y el iridio fueron parte del armamentario de nueva inclusión. En adición, los programas informáticos modernos permitieron la elaboración muy precisa de dosis efectivas y, al mismo tiempo, seguras; esto fue particularmente importante con la introducción de dosis altas (HDR, tasa de dosis alta) en la braquiterapia y en la terapia externa.

Una técnica relativamente nueva basada en los descubrimientos de Marie Curie es la medicina nuclear, que utiliza sustancias marcadas con radioisótopos introducidos en el cuerpo del paciente para obtener imágenes dinámicas y funcionales de diversas neoplasias sólidas y hematológicas. El progreso en la medicina nuclear fue posible después de la Segunda Guerra Mundial cuando, tras los descubrimientos de Frederic e Irene Joliot-Curie en la década de 1930, fue posible producir radioisótopos artificiales en cantidades adecuadas para su uso en medicina (**Figura 11**) (12). Los isótopos

radiactivos de elementos como el yodo, el indio o el tecnecio con semividas relativamente cortas se pueden utilizar tanto en el diagnóstico como en la terapia. Se introducen en combinación con otras sustancias que se unen selectivamente a varios tejidos o fluidos tisulares. La lectura de la distribución de la radiactividad mediante el uso de cámaras gamma, que sustituyeron a los populares contadores Geiger, permite la localización del tejido tumoral o la detección de la dirección del flujo linfático. Esto suele ser útil para el oncólogo a la hora de elegir las estrategias adecuadas para el tratamiento.

En los últimos años se ha avanzado enormemente en la construcción de dispositivos que ofrecen una visión más precisa de los órganos investigados, por ejemplo, el SPECT (tomografía computarizada por emisión de fotón único) o, mejor aún, el PET (tomografía por emisión de positrones). Otro dispositivo con mayores posibilidades para el cirujano es el detector intraoperatorio de radiación gamma. La sonda permite una localización más precisa del tejido tumoral previamente marcado con un isótopo y posibilita la ejecución de



Figura 11. La física y radioquímica Irene Joliot-Curie, hija mayor de Pierre y Marie Curie. Trabajando con su esposo, Frederic Joliot, Irene demostró cómo es posible crear artificialmente isótopos radioactivos de elementos que no son naturalmente radioactivos. Este descubrimiento, por el que ganó el Premio Nobel (siguiendo así los pasos de sus padres), abrió un nuevo campo de investigación crucial para una gran cantidad de aplicaciones en química, biología y medicina. La radiactividad artificial ha permitido avances cruciales en la terapia del cáncer, pero el descubrimiento de la radioactividad artificial también fue un paso importante hacia el descubrimiento de la fisión nuclear, realizado en 1938, y el desarrollo de la bomba atómica, completada en 1944.

procedimientos más radicales o, por otro lado, facilita la evaluación de la operabilidad del tumor. Una nueva posibilidad para la extirpación quirúrgica de tumores es el RIGS o cirugía radioinmunoguiada.

Conclusión

El cáncer sigue siendo muy a menudo una enfermedad mortal y, si se cura, los pacientes viven regularmente las dificultades relacionadas con el tratamiento y sus desenlaces. Sin embargo, el progreso en oncología es visible, y con los métodos mejorados de diagnóstico temprano y mejores métodos terapéuticos, el número de pacientes curados sigue aumentando, en el momento números nunca imaginados.

Los descubrimientos hechos hace más de 100 años siguen siendo la base de investigaciones muy importantes que dan esperanza y la posibilidad de salvar una gran cantidad de vidas. Marie Skłodowska-Curie no era médica, pero reconoció el valor de sus descubrimientos para la medicina. El Instituto Curie de París y el Radium Institute de Varsovia (ahora Marie Skłodowska-Curie Memorial Cancer Center) se fundaron sobre la base de su inspiración.

Referencias

1. Tuñón, J. Las mujeres y su historia. Balance, problemas y perspectivas. En Urrutia E.ed.por., Estudios sobre las mujeres y las relaciones de género en México. Aporte desde diversas disciplinas. 1ra ed. México, Colmex;1990.
2. DUBY G, Perrott M. Historia de las Mujeres.Barcelona: Editorial Taurus;2003.
3. de Beauvoir S. El Segundo Sexo (1949).
4. Marie Curie, pionera del premio Nobel, en el Panteón de los hombres ilustres [Internet]. France Diplomatie – Ministère de l'Europe et des Affaires étrangères. 2020 [consultado 10 noviembre 2020]. Disponible en: www.diplomatie.gouv.fr
5. García C, García D. "Marie Curie, una gran científica, una gran mujer". Rev Chil Radiol. 2006;12(3):139-145.
6. Woodrow Wilson Fellowship Foundation [Internet]. Woodrow.org. 2020 [consultado 10 noviembre 2020] Disponible en: www.woodrow.org
7. Álvarez, M E. Las mujeres más famosas de la historia. Editorial América, Madrid, 1990.
8. The official website of the Nobel Prize - NobelPrize.org [Internet].Pierre Curie: biography,2020 [consultado 10 noviembre 2020] Disponible en: www.nobelprize.org
9. Casado MJ. Las damas del laboratorio. Barcelona: Debate; 2006.
10. Kulakowski A. The contribution of Marie Skłodowska-Curie to the development of modern oncology. Anal Bioanal Chem. 2011;400(6):1583-1586.
11. Muñoz-Páez A. Marie Skłodowska-Curie y la radioactividad. Educ Quím. 2013;24(2):54-63.
12. Reed R. Out from the Shadows: The Story of Irene Joliot-Curie and Frederic Joliot-Curie [Internet]. Pbsinternational.org. 2020 [consultado 10 noviembre 2020]. Disponible en: <https://pbsinternational.org/programs/out-from-the-shadows-the-story-of-irene-joliot-curie-and-frederic-joliot-curie/>

Recibido: Diciembre 10, 2020

Aceptado: Diciembre 16, 2020

Correspondencia:

María M. López
mariamlopezf@outlook.com