



Reseña

Marie Skłodowska-Curie: apasionada por la investigación en radioactividad

Marie Skłodowska-Curie: passionate for research in radioactivity

Carmen Luisa Vásquez Stanescu^a, Marisabel Luna Cardozo^a, Leadina Sánchez Barboza^a

^aUniversidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela.

DOI: <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.22125.82400>

Recibido: 12-03-2020

Aceptado: 05-05-2020

Resumen

La radiactividad como fenómeno físico, ha traído beneficios y desaciertos al mundo científico y a la humanidad. Su descubrimiento atribuido principalmente a Antoine Henri Becquerel, Marie Skłodowska-Curie y a Pierre Curie, quienes a finales del siglo XIX observaron y clasificaron los elementos e isótopos radiactivos uranio, torio, polonio y radio. Estos elementos en su estado natural ionizan el aire que los circunda y son capaces de producir grandes cantidades de energía, de ahí su aplicación en centrales nucleares. En el año internacional de la tabla periódica, es propicio recordar la obra de Marie Skłodowska -Curie, quien dedicó su vida a los estudios sobre la radioactividad, incluso murió por estar expuesta a ella sin protección. El presente trabajo está dedicado a su memoria, una breve biografía y sus contribuciones científicas, los efectos cuestionados por el uso de isótopos radiactivos, algo de historia sobre la radiactividad y su relación con la tabla periódica de los elementos.

Palabras clave: Becquerel; isótopos radiactivos; Marie Curie; radioactividad; tabla periódica.

Código UNESCO: 2305.06 - Radioisótopos.

Abstract

Radioactivity as a physical phenomenon has brought benefits and mistakes to the scientific world and to humanity. Its discovery mainly attributed to Antoine Henri Becquerel, Marie Skłodowska-Curie and Pierre Curie, whom at the end of the 19th century observed and classified the elements and radioactive isotopes uranium, thorium, polonium and radio. These elements in their natural state ionize the air around them and are capable of producing enormous quantities of energy, hence their application in nuclear power plants. In the international year of the periodic table, it is appropriate to remember the work of Marie Skłodowska-Curie, who dedicated her life to studies on radioactivity; even she died because of exposure to it without protection. The present paper is dedicated to her memory, a brief biography and her scientific contributions, the effects questioned by the use of radioactive isotopes, some history about radioactivity, and its relationship with the periodic table of the elements.

Keywords: Becquerel; radioactive isotopes; Marie Curie; radioactivity; periodic table.

UNESCO Code: 2305.06 - Radioisotopes.

1. Introducción

La radioactividad es un fenómeno físico que estudia los procesos de desintegración espontánea de núcleos atómicos mediante la emisión de diferentes partículas subatómicas. Sus primeras observaciones son gracias al físico francés Antoine Henri Becquerel (1896) [1] por el uso de sales de uranio para develar fotografías, demostrando que este elemento emitía una radiación muy penetrante. Aunque este término fue acuñado por Marie Sklodowska-Curie a finales en 1903, la radioactividad ha estado siempre presente en la naturaleza. Actualmente se reconoce como una de las fuentes de energía más poderosa hasta ahora conocida.

En 1898, el matrimonio Marie y Pierre Curie identificó otros elementos radiactivos como el torio o Thorium (nombrado de esta forma gracias al Dios nórdico Thor, del relámpago y las tormentas), polonio (en nombre del país natal Polonia de Marie) y radio (del vocablo latín radius que significa rayo), lo que trajo contradicciones a la forma que hasta ese momento los científicos habían utilizado la clasificación de los elementos químicos en la tabla periódica [2].

En el año 2019 se cumplen 150 años de la publicación de la primera tabla periódica de los elementos, la cual representa una gran obra colectiva de varios científicos que colaboraron en su diseño. En este marco, vale la pena recordar la memoria de Marie Sklodowska-Curie, mejor conocida como Marie Curie, quien junto a otros investigadores, logró identificar cuatro (4) elementos radiactivos naturales. Adicionalmente, los compuestos de uranio: curita, sklodowskita y cuprosklodowskita, son nombrados en honor al matrimonio Curie [3].

Marie Curie hija, esposa y madre, apasionada por sus estudios y labor científica, estudia física y matemática de manera clandestina en una época en la que no les era permitido a las mujeres hacerlo, gracias al apoyo de su padre, graduándose con honores entre los de sus clases. Contrae matrimonio con Pierre Curie a sus 27 años de edad y, de esta unión nacen sus dos (2) hijas, Irène y Ève. Muere en 1934, producto de anemia aplásica, probablemente por su constante exposición sin protección a los materiales radiactivos. Han sido varias las películas dedicadas a su vida y obra, para el año 2020, se espera el estreno de la película *Radioactive*, inspirada en la novela de Lauren Redniss y dirigida por Marjane Satrapi [4].

El presente trabajo presenta una breve historia sobre la radioactividad, en el marco del año de la celebración de los 150 años de la tabla periódica de los elementos, desde los experimentos con sales de uranio de Becquerel, los aportes a la radioactividad de los esposos Curie, y su aplicaciones en armamentos y centrales nucleares. Se aborda la tabla periódica de los elementos y, finalmente, una breve biografía de Marie Curie y sus aportes a la ciencia. Las secciones de este material están organizadas para honrar la vida de esta ilustre mujer, cuyos aportes dan cimiento a la ciencia de la radioactividad, entre otros.

2. Desarrollo

2.1 Algo de historia sobre radioactividad

A finales del siglo XIX, la radioactividad puso de manifiesto que la materia y energía podían transformarse una en otra, gracias a una serie de descubrimientos científicos que desafiaban abiertamente las creencias de ese momento y sembraron las bases para el desarrollo de la ciencia que tuvo lugar en el siglo XX. En este sentido, los hallazgos que condujeron a la ciencia de la radioactividad fueron trascendentales. El Cuadro 1 muestra la cronología [2] de algunos de estos hallazgos.

Cuadro 1. Cronología de los descubrimientos que dieron base a la ciencia de la radiactividad

Año	Autores	Descubrimiento
1895	Wilhem Röntgen	Rayos X
1896	Henri Becquerel	Rayos Becquerel, uranio
1898	Marie y Pierre Curie	Polonio y radio

Fuente: [2]

El ingeniero mecánico y físico alemán Röntgen había observado que en un tubo de rayos catódicos se producían los llamados rayos X, de naturaleza desconocida, que causaban fosforescencia. Al escuchar estas noticias, Becquerel decide investigar si los cuerpos fosforescentes también emiten rayos similares. Usando sales cristalinas de uranio, que se sabía poseían estas propiedades, experimentó sobre una hoja de papel. Puso en la parte superior de una placa la sustancia fosforescente (sales de uranio) y la expone al sol durante varias horas. Cuando se revela la placa fotográfica se reconoce que la silueta de la sustancia fosforescente aparece en negro y se concluye que esta sustancia emite radiaciones que atraviesan el papel opaco a la luz y reducen las sales de plata [2].

Becquerel continúa la investigación pero al no poder exponer las sales a la luz solar, guarda la placa fotográfica cubierta con una tela negra, con las sales de uranio encima. Al ser un día nublado, no había rayos solares que develaran la placa, sin embargo éste la revela esperando encontrar una imagen muy débil. Al contrario, observa que las siluetas aparecieron con gran intensidad. De inmediato realiza una nueva observación, de sólo cinco (5) horas de exposición de la placa a las sales en total oscuridad, con resultados similares. Había descubierto la radiactividad, pero en ese momento su explicación era incorrecta. Sigue experimentando y poco a poco fue descubriendo algunas propiedades de la emisión radiactiva (aún no llamada de esta manera) que la diferencian de la fosforescencia. La larga persistencia de la emisión radiactiva era un misterio sin explicación, así como la ausencia de efecto cuando la irradiación se hacía con otras sustancias fosforescentes como el sulfato de calcio [2][5].

En diciembre de 1897 una nueva serie de experimentos, que harían historia, comenzaron en una bodega de la Escuela Municipal de Física y Química Industriales en París [5]. Allí, el profesor Pierre Curie daba clases y ofrece el espacio a su esposa Marie Curie, quien había decidido iniciar su tesis doctoral en Física en La Sorbona (en francés *La Sorbonne*), término con el que se conocía a la Universidad de París, Francia [6]. Trabajando con sales de uranio, las observaciones de Marie rápidamente produjeron resultados. El 12 de abril de 1898 comunica a la Academia de Ciencias de Francia (en francés *Académie des Sciences*) [7] que todos los compuestos del uranio son activos y también los del torio, sin saber que éste último había sido reportado dos (2) meses antes por Gerhard Carl Schmidt, a la Sociedad Alemana [8]. La observación llevaba implícita la noción que esta actividad sería un fenómeno atómico, postura controversial en una época en que la estructura de la materia era un tema de discusión [2].

Como Marie no era miembro de la Academia de Ciencias de Francia, Becquerel presenta dentro del área de Físico-Química una nueva comunicación, firmada por el matrimonio Curie, con el título “*Sobre una nueva sustancia radio-activa, contenida en la Pechblenda*” [9]. En diciembre de 1898, los Curie reportaban la posible existencia de otros nuevos elementos, el polonio y el radio. En 1903, fue la primera vez que se le llama radiactividad al nuevo fenómeno natural [19]. En total, cuatro (4) elementos habían sido clasificados como radiactivos: uranio, torio, polonio y radio. En 1934, el matrimonio Irène Joliot-Curie y Frédéric Jolio, consiguen inducir radiactividad de manera artificial, siendo galardonados con el Premio Nobel de Química, un (1) año después [11]. En este marco, son varias las aplicaciones dadas a los materiales radiactivos, sin embargo históricamente han destacado dos (2): los armamentos nucleares o bombas atómicas y la energía nuclear.

En 1939 el físico alemán Albert Einstein alerta al presidente de ese momento de Estados Unidos, Franklin Roosevelt, en su célebre carta, de los avances de Alemania sobre la investigación atómica y

las armas nucleares, lo que motivó la creación del Proyecto Manhattan de científicos estadounidenses, liderados por J. Robert Oppenheimer. Entre 1941 a 1946, avanzaron las investigaciones en el desarrollo de estas armas [12]. De forma bélica, se detonaron tres (3) bombas nucleares [13]:

- El 16 de julio de 1945, Alamogordo (Estado de Nuevo México, Estados Unidos), prueba realizada con plutonio.
- El 6 de agosto de 1945, en Hiroshima (Japón) en base a uranio enriquecido.
- El 9 de agosto de 1945, en Nagasaki (Japón) de plutonio.

Las dos (2) últimas bombas ponen fin a la Segunda Guerra Mundial y dan inicio a la historia de los armamentos nucleares. Tratando de ponerle fin a esta carrera armamentista, en 1968 Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Soviética firman el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (TNP), entrando en vigencia el 5 de marzo de 1970. En ese instante el tratado fue firmado por 190 miembros, divididos en dos (2) grupos, los que poseían armas nucleares y los que no. Corea del Norte en 1985, y en 1992 Francia y China se unieron a la firma de este tratado, quedando fuera India, Israel, Pakistán y Sudán del Sur [14]. Éste posee tres (3) pilares fundamentales: el desarmamento, la no proliferación de más armamentos militares y el uso pacífico de la energía nuclear [15]. En el año 2019, se publica la noticia que el actual presidente de Estados Unidos, Donald Trump [16] retira formalmente a su país del tratado, a pesar que durante el gobierno de Barak Obama, bajo una tensa calma estratégica con Corea del Norte, entre 2009 y 2016, se mantuvo firme en el mismo [14].

En 1954 inicia su funcionamiento la primera central nuclear en Óbninsk, Rusia. La energía era producida por la fisión del núcleo de uranio, bombardeado por neutrones. Con una capacidad de 5.000 kWe, trayendo consigo un crecimiento exponencial del uso de la energía nuclear con fines pacíficos, finalizando su actividad en el año 2002 [17]. A la par de las construcciones de las centrales, quedan en evidencia una serie de accidentes, entre estos en *Windscale Pile* (Reino Unido, 1957), *Three Mile Island* (Estados Unidos, 1979), central nuclear de Chernóbil (Ucrania, 1986) y, finalmente, central nuclear de Fukushima (Japón, 2011). Este último producto de un terremoto de 8,9 grados en la escala de Richter y, posteriormente, un tsunami que azotó la costa noreste de Japón. Para finales del 2018, en el mundo están funcionando 450 centrales nucleares con una capacidad de potencia instalada neta total de 396 GWe y 55 unidades en construcción, con una capacidad total de 57 GWe. Para ese año, la energía nuclear representó aproximadamente el 10% de la producción total de electricidad del mundo.

En 1957 se crea el Organismo Internacional de Energía Atómica (IAEA, por sus siglas en inglés), conexas a la Organización de las Naciones Unidas (ONU), con el propósito de acelerar y aumentar la contribución de la energía nuclear para fines de paz, la salud y la prosperidad en todo el mundo. Su sede principal se encuentra en Viena, Austria y, actualmente, posee suscripto 171 países.

2.2 Radiactividad y la tabla periódica de los elementos

La Asamblea General de la ONU proclama el 2019 como el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos, por el cumplimiento de los 150 años de su primera edición. En 1869, el ruso Dmitri Ivánovich Mendeléyev [18] presenta por primera vez su sistema de ordenación de los elementos de la naturaleza, incluso los que estaban por descubrirse, en función de su peso atómico, relacionado con el peso molecular, sentando las bases de la Teoría Atómica. Esta tabla es una muestra importante de creación múltiple y colaborativa científica, en su primera versión Mendeléyev recoge 63 elementos químicos, como se muestra en la Figura 1, siendo un “salto cuántico con respecto a la sencilla tabla esbozada en el siglo XVIII por el químico francés Antoine Lavoisier”[8]. Es un ícono de la química y la teoría atómica, la cual explica con detalle el porqué de la periodicidad de las propiedades [19].

La tabla periódica de los elementos es una herramienta que permite a los científicos de diferentes áreas predecir la apariencia y las propiedades de la materia y se ha convertido en el ícono de las

el protio, el deuterio y el tritio. De éstos, el deuterio es un isótopo estable, a diferencia del tritio que es inestable y se desintegra emitiendo una radiación [11].

El Cuadro 2 muestra a manera de ejemplo, las características de estos isótopos. Hay elementos que tienen hasta 30 isótopos diferentes. Análoga a la tabla periódica existe la Carta Nuclear [12], Carta de Nucleídos o Diagrama de Segré [26], para los posibles isótopos, como se muestran en la Figura 3 [26]. La Figura 3b muestra el halo neutrónico en azul (1n) y amarillo (2n), halo protónico en verde y piel neutrónica en naranja, así como los núcleos resonantes en malva, cuya caracterización permite entender cómo se forma el halo de dos (2) neutrones. El Cuadro 3 muestra algunos de los isótopos uranio, torio, polonio y radio, elementos que estudia Marie Curie en sus investigaciones [27].

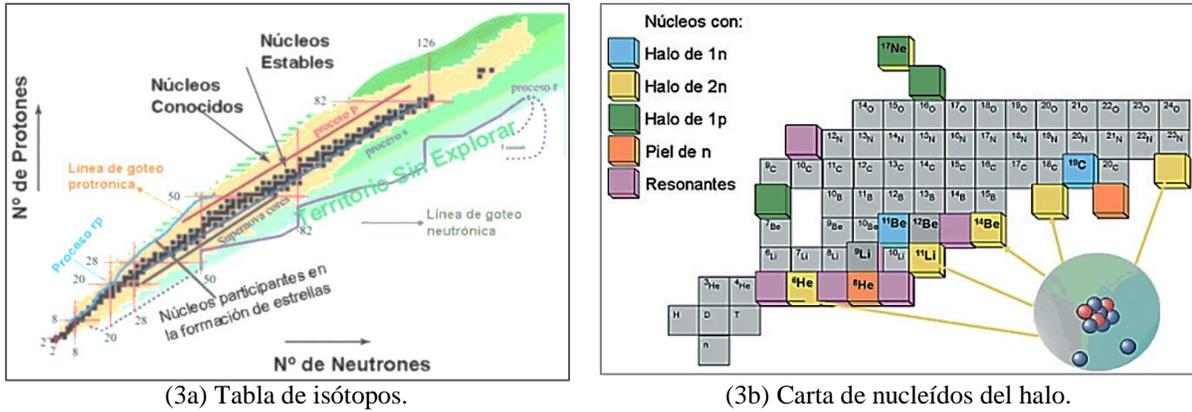


Figura 3. Representación de posibles isótopos. Fuente: [26].

Cuadro 2. Características de los isótopos del hidrógeno.

Elemento	Símbolo	Número de protones	Número de neutrones
Hidrógeno	H	1	0,1 o 2
Protio	^1_1H	1	0
Deuterio	^2_1H	1	1
Tritio	^3_1H	1	2

Fuente: [28].

Cuadro 3. Algunos isótopos del uranio, torio, polonio y radio.

Elemento	Símbolo
Uranio	^{235}U , ^{238}U
Torio	^{234}Th
Polonio	^{208}Po , ^{209}Po , ^{210}Po
Radio	^{226}Ra

Fuente: [28].

Entre los efectos de la radiactividad se encuentran: realizar placas radiográficas, ionizar los gases, atravesar cuerpos opacos frente a la luz normal y provocar fluorescencia. Ésta ionizará el medio que atraviesa, es decir, que se producen iones o átomos o moléculas cargadas eléctricamente, por tener un número de electrones distinto al de protones, denominado radiaciones ionizantes. En el Sistema Internacional de Medidas (SI), se encuentra la unidad becquerel (Bq), como la unidad de actividad

radiactiva, equivalente a la desintegración de un (1) núcleo radiactivo, de forma espontánea o provocada, por segundo [13] [29]. El curie (Ci) mide esta misma expresión de la radiactividad, pero para el sistema inglés [30]. Finalmente, un (1) Ci equivale a 37.000 millones de Bq [29]. Entre los beneficios de la radioactividad se tienen:

- a) *Uso para la generación de energía eléctrica sin emisiones de gases:* por no ser a base de combustibles fósiles, no depende de elementos naturales (como sucede con las renovables) [17].
- b) *Uso medicinal:* localización de diversos tipos de tumores, estudio de la sangre, diagnóstico de fractura, como agentes terapéuticos y otros [13].
- c) *Uso industrial:* para la regulación de espesor, medidas de densidades e indicador de nivel, selección de minerales, revisión de oleoductos, eliminación de la electrostática, prevención de gases peligrosos y otros [13].

Entre los efectos negativos de la radioactividad se encuentran:

- a) *Uso para aplicaciones bélicas o instrumentación militar:* como ejemplos, la bomba nuclear a base de uranio (^{235}U) lanzada el 6 de agosto de 1945 en Hiroshima, Japón. Además, el 9 de agosto del mismo año, una bomba de plutonio-239 arrasa con Nagasaki (Japón) dando fin a la Segunda Guerra Mundial. Cerca de 104.000 personas murieron entre ambas localidades (aproximadamente el 25% de la población en ese momento), ya sea por las radiaciones, quemaduras o trastornos. Los sobrevivientes presentaron leucemia, tumores sólidos malignos, cáncer, cataratas y enfermedades infecciosas, inflamatorias o inmunológicas. Finalmente, microcefalia, retraso mental, aberraciones cromosómicas y efectos genéticos en recién nacidos (in-utero al momento de las detonaciones), entre otros [29]. Estos efectos se han visto diferenciados en ambas zonas, por estar expuestas a dos (2) tipos de isótopos radiactivos diferentes.
- b) *Residuos nucleares provenientes de centrales nucleares y de aplicaciones en la medicina, industria e investigación:* en general, que dependiendo de su actividad deben ser gestionados y almacenados por largos períodos. La falta de infraestructuras para este fin ha frenado a los países a promover su uso abiertamente. La dificultad de este tratamiento ha llevado a algunos autores a recomendar la no proliferación del uso de la energía nuclear hasta tanto se encuentren soluciones reales para los efectos de la radiactividad [17].
- c) *Altos costos asociados a la construcción de centrales nucleares:* lo cual supera al de otras fuentes, debido a requisitos de seguridad y la poca mano de obra calificada [8], en comparación con los otros tipos de fuentes de energía. Adicionalmente, el costo del combustible (uranio, básicamente) y la desmantelación [24], hacen que la energía nuclear sea la más costosa.

2.3 Biografía de Marie Sklodowska Curie

“En la vida, no hay nada que temer, solo hay que comprender”
Marie Curie

Marie Curie nace en Varsovia el 7 de noviembre de 1867, en una Polonia dominada por los zares rusos, siendo la quinta hija del matrimonio Sklodowska. La Figura 4 muestra sus fotografías. Su madre, Bronislawa Boguska, hizo carrera de Magisterio, fue una mujer piadosa y diligente. Por otro lado, su padre Wladyslaw Sklodowska, fue profesor de matemática y física. Cuando Marie contaba diez (10) años de edad fallece su madre por tuberculosis, lo que resiente su fe católica, volviéndose agnóstica para el resto de sus días. Amante del campo y de la naturaleza, inteligente, con una memoria sorprendente, ambiciosa y desorientada por la diversidad de la época: ensayos rusos y poetas polacos, franceses y alemanes. En 1885 se coloca de institutriz en una familia para que su hermana

Bronia pudiese estudiar medicina en París y, una vez que ella finaliza, le ayuda a estudiar en esa misma ciudad [32].



(4a) Foto registrada en la Librería del Congreso de los Estados Unidos [33].



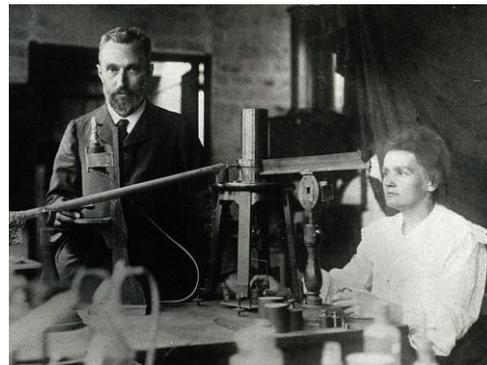
(4b) Al recibir el Premio Nobel en Física en 1903, foto publicada en el portal The Nobel Prize [34].

Figura 4. Fotografías de Marie Curie.

Marie obtiene la Licenciatura en Ciencias Físicas en 1893, siendo la primera de su promoción, y en Matemáticas en 1894, con el segundo lugar, en la Facultad de Ciencias Matemáticas y Naturales de la Universidad de La Soborna [31]. A principios de ese mismo año, la Sociedad de Fomento de la Industria Nacional de Francia le encarga un estudio sobre las propiedades magnéticas de diversos aceros, es así como el profesor de física Kowalski la pone en contacto con el físico profesor Pierre Curie, quien trabaja en un pequeño laboratorio de la Escuela Superior de Física y de Química Industriales de la ciudad de París (ESPCI, por sus siglas en francés) [10]. Sorprendido de aquella joven consagrada a la ciencia, la corteja y contrae con ella matrimonio el 26 de julio de 1895 [35]. La Figura 5 muestra las fotografías de Pierre con Marie. De esta unión nacen sus dos (2) hijas Irène, quien sigue los pasos de sus padres y fue galardonada por el Premio Nobel de Química en 1935 por el descubrimiento de la radioactividad artificial [36], y Ève Denise, escritora francesa y autora del libro *Madame Curie* publicada en 1937 convirtiéndose en un *best seller* y película de Hollywood en 1943 [37]. La Figura 6 muestra sus fotografías.



(5a) Pierre y Marie, 1903.



(5b) Pierre y Marie Curie, 1904.

Figura 5. Matrimonio Curie. Fuente [39].



(6a) Irène Joliot-Curie junto a su madre Marie en el Instituto del Radio (1921). Fuente: [4].



(6b) Ève Denise Curie, 1937. Fuente: [43].

Figura 6. Hijas del matrimonio Curie.

Continúa sus estudios de Doctorado y repasa con Pierre los trabajos más recientes de física en la búsqueda de un posible tema de tesis. Durante la segunda mitad del siglo XIX, la atención está puesta sobre las investigaciones de rayos catódicos. En 1895, el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubre una radiación desconocida que, falto de más profundos conocimientos, denomina Rayos X. Tratando de comprobarlo, el físico Becquerel creyó que las sales de uranio expuestas al sol debían tener la propiedad, al igual que estos rayos, de impresionar una placa fotográfica envuelta en un papel opaco. Comprueba por casualidad que el sol nada tenía que ver con ese fenómeno y el origen de las radiaciones continuaba siendo un enigma. Este era el tema: “Original, Virgen”, la única referencia se reducía a dos (2) comunicaciones de Becquerel en 1896 a la Academia de Ciencias Francesa [41].

Marie desarrolla sus experimentos en un local rudimentario, lleno de trastos y vapores. Traza un plan de siete (7) pasos [41]:

1. *Primer paso:* mide la fuerza de aquellas radiaciones misteriosas señaladas por Becquerel. Registra la capacidad de ionización de las sales de uranio, es decir, su poder para convertir el aire en conductor de la electricidad y de descargar un electroscopio, usando el método descubierto por Pierre Curie y su cuñado Jacques Curie. La instalación se compone de una “cámara de ionización” [1] y un cuarzo piezoeléctrico [35]. Marie obtiene el primer resultado: la intensidad de esa radiación es proporcional a la cantidad de uranio y no está influenciada por las condiciones ambientales ni por el estado de su combinación química. Es decir, la radiación es una propiedad atómica.
2. *Segundo paso:* emprende el examen de todos los elementos químicos conocidos. Supone la existencia de otros elementos capaces de emitir una radiación semejante. El torio emite también rayos espontáneos y supera a Becquerel.
3. *Tercer paso:* se dedica a estudiar minerales compuestos de uranio o torio y revela que su radiactividad es mucho mayor que la correspondiente a la cantidad que contienen. Este elemento también fue descubierto de manera independiente por el físico alemán Gerhard Schmidt y presentado a la Sociedad Alemana dos (2) meses antes [8].
4. *Cuarto paso:* responde la pregunta ¿de dónde procede esa radiactividad excesiva? Repite el experimento y sólo cabe una explicación: esos minerales tan radiactivos ocultan un elemento químico desconocido.

5. *Quinto paso:* Pierre decide unir sus esfuerzos a los de Marie para buscar esa “sustancia muy activa” en la pechblenda (minerales con alta proporción de uranio [8], del alemán *pech*, forma de alquitrán, y *blenden* lucir, brillar o cegar [19]). Este mineral, junto a la chalcólita, en estado bruto se ha revelado cuatro (4) veces más radiactivo que el uranio más puro que se pueda extraer. Para eso emplean un método de investigación química de su invención, de “rastreo” de la radiactividad. Separan por procedimientos ordinarios de análisis todos los cuerpos que conforman la pechblenda, miden la radiactividad de cada uno de ellos, hasta localizar los de mayor valor. Reducen el campo de indagación hasta demostrar que la radiactividad se concentra principalmente en dos (2) fracciones químicas de la pechblenda. No es uno (1), sino dos (2) los elementos nuevos. En julio de 1898 han dado con otro de ellos. Publican esta nota en comunicaciones de la Academia de Ciencias de Francia “*creemos que la sustancia que hemos sacado...contiene un metal no conocido aún, vecino del bismuto por sus propiedades analíticas. Si la existencia de este metal se confirma, nos proponemos denominarle polonio, por el nombre del país de origen de uno de nosotros*” [19] (p 201-202).
6. *Sexto paso:* con el químico francés Gustave Bémont [23] como colaborador, redactan y publican una comunicación el 26 de diciembre de 1898 a la Academia de Ciencias de Francia y anuncian la existencia de un cuarto elemento químico al cual le colocan por nombre radio, este presenta mayor radiactividad que los conocidos [19].
7. *Séptimo paso:* obtienen los elementos polonio y radio en su forma pura, bajo las siguientes circunstancias: procurarse una cantidad suficiente de pechblenda, un lugar apto para realizar el trabajo y apoyo económico. Logran que el gobierno austriaco les regalase toneladas de residuos de uranio, con la condición de que ellos pagaran el transporte. Las temperaturas eran extremas en un cobertizo de la Escuela de Física. Marie removía la pechblenda con barras de hierro mientras Pierre estudiaba las características. En 1900 el joven químico André-Louis Debierne colaboró un tiempo con ellos en el estudio de la radiactividad, quien descubre otro elemento, el actinio. En 1902 ya habían obtenido resultados: dos (2) compuestos de muy alta radiactividad de los que ya tenían el peso atómico. Marie anotó: “ $Ra = 225,93$ ” [42] y lo sitúa en el puesto 88 de la tabla periódica de Mendeléyev [38]. Marie propone el nombre de “radiactividad” y los cuerpos poseedores de esa “radiación” les denomina radioelementos.

En junio de 1903 Marie defiende su tesis doctoral original en La Sorbona, Universidad de París, Francia, titulada «Investigaciones sobre elementos radiactivos», obteniendo la mención *cum laude* ante un tribunal presidido por el físico Gabriel Lippmann [44]. Al realizar la concentración de sales de plomo, Marie estudia sustancias que eran invisibles. No había otro sistema para ver si los resultados eran los deseados que realizando medidas electrométricas. En 1903 empezó a recibir honores, primero la medalla de la *Royal Society* [45] de Londres y, en ese mismo año, el Premio Nobel de Física. Era el primero que se concedía a una mujer, aunque en este caso era conjuntamente con su esposo. El Nobel fue compartido además con Henri Becquerel, por el descubrimiento y el trabajo pionero en el campo de la radiactividad espontánea y los fenómenos de irradiación [34].

El 19 de abril de 1906 ocurrió una tragedia, Pierre fue atropellado por un carruaje y muere. Su matrimonio duró escasamente 11 años. Posteriormente, Marie acepta la cátedra de física que su marido había obtenido en La Soborna, Universidad de París, Francia. Era la primera mujer que ingresaba como profesora ordinaria a esta universidad [37]. En 1911 Marie recibe el Premio Nobel de Química en reconocimiento a sus servicios al avance de esta ciencia con el descubrimiento de los elementos radio y polonio y por demostrar que la radiactividad es una propiedad atómica de los elementos químicos. Además, por el aislamiento del radio y el estudio de la naturaleza de los compuestos de este elemento. Sus estudios han contribuido a las actuales teorías de la radiactividad, según las cuales podemos predecir con certeza la existencia de alrededor de 30 nuevos elementos que, por lo general, no pueden aislarse o caracterizarse por métodos químicos [46]. Con una actitud

desinteresada no patentó el proceso de aislamiento del radio, dejándolo abierto a la investigación de toda la comunidad científica [35].

Antes de la Primera Guerra Mundial, el Instituto del Radio de París ya estaba construido, fundado por la misma Marie en 1920, actualmente es conocido como el Instituto Curie [47]. Al estallar la guerra, Marie entregó casi todo el dinero de los Premios Nobel como préstamo al Estado Francés. Además, organizó una unidad móvil de rayos X para atender a los soldados heridos. Aprendió anatomía médica y manejaba la unidad en el frente. Ella misma se encargó de preparar al personal sanitario y también de poner a salvo el gramo de radio que era su gran capital para la investigación. Protegido por 20 kg de plomo, lo depositó en un banco en Burdeos [42].

“*El radium no debe enriquecer a nadie. Es un elemento. Pertenecer a todo el mundo*”, son palabras que dice Marie a la periodista estadounidense Mary Mattingly Meloney [41]. La figura sencilla, elemental, indefensa de Marie, motivan a la periodista a organizar una suscripción popular entre sus paisanos para regalarle un (1) gramo de radio para continuar sus investigaciones [42]. En América se tenía alrededor de 50gr, en mayo de 1921 el presidente de Estados Unidos, Warren Harding, se lo entrega como regalo de su país. Ella lo aceptó con la condición que el gramo no lo heredasen sus hijas, sino el laboratorio. En 1929 vuelve a los Estados Unidos a recibir otro gramo de radio para el Instituto del Radio en Varsovia.

Desde 1932 delegó en su hija Iréne el trabajo de laboratorio y la dirección del Instituto del Radio de París [47], donde había atendido a más de 8.000 enfermos y se dedicó más a asuntos de política científica, en la Comisión Internacional de Colaboración Intelectual de la Sociedad de Naciones [42]. En 1934 su hija Irène y su esposo Jean Frédéric Joliot, producen por primera vez radiactividad artificial, por lo que reciben el Premio Nobel de Química un (1) año después. Entre los tutorados doctorales de Marie destacó Marguerite Catherine Perey, quien en 1939 descubrió el elemento francio (Fr, número atómico 87) [11]. Marie Curie fallece en Francia, a sus 66 años de edad, a causa de anemia aplásica, probablemente por su constante exposición a los materiales radiactivos sin protección alguna [24]. Su cuerpo, junto al de su esposo Pierre Curie, están sepultados en el Panteón de París [48], en ataúdes recubiertos con una (1) pulgada de plomo [26].

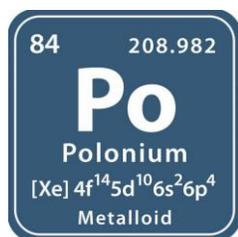
2.4 Aportes científicos de Marie Sklodowska-Curie

Marie Curie sienta las bases de la radiactividad y demuestra que es una propiedad natural intrínseca al núcleo, a la par desarrolla un procedimiento para identificar llamado “método de rastreo” y, de esta manera, aislar elementos radiactivos naturales. Trabajó con el uranio y el torio y se le atribuyen el polonio y el radio como sus descubrimientos. Patenta el proceso de aislamiento del radio, dejándolo abierto a la investigación de toda la comunidad científica [44]. En 1913, aceptó la dirección del Instituto del Radio de Varsovia [8]. En 1920 funda el Instituto del Radio en París, hoy día conocido como Instituto Curie [47], cuna de investigaciones en química, física, biología y medicina. Luchó por la ciencia y para que los investigadores tuvieran un lugar digno en la sociedad. En 1921 contribuyó en la creación de la Fundación Curie para Radioterapia y se dedicó al estudio de la aplicación del radio en la cura del cáncer [8]. Publicó 31 trabajos científicos propios entre 1919 y 1934, adicionalmente sugirió y supervisó otros 483 trabajos que fueron publicados [42]. La Figuras 7 y 8 muestran la ubicación en la tabla periódica de los elementos del polonio y el radio y sus nomenclaturas.

Hoy, a casi 80 años de su muerte, sus materiales y cuadernos de apuntes son tan radiactivos que no se pueden manejar sin el apoyo de un equipo especial para ello [28], la Figura 9 muestra su cuaderno de apuntes. Éste junto a otros manuscritos se encuentran resguardados en el sótano de la Biblioteca Nacional de Francia en París [49] en cofres de plomo [29]. Por sus méritos, Marie Curie fue la primera persona en recibir dos (2) premios Nobel, en Física y en Química, en los años 1903 y 1911 respectivamente [7].

H																	He
Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba		Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Ff	Ra		Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Nh	Fl	Mc	Lv	Ts	Og
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Tb	Lu
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Figura 7. Tabla periódica de los elementos, destacados en amarillo los elementos Polonio y Radio descubiertos por Marie Curie en 1898. Fuente: [50].



(8a) Símbolo del Polonio.



(8b) Símbolo del Radio.

Figura 8. Nomenclatura química del Polonio y del Radio.

Fuente: [50].

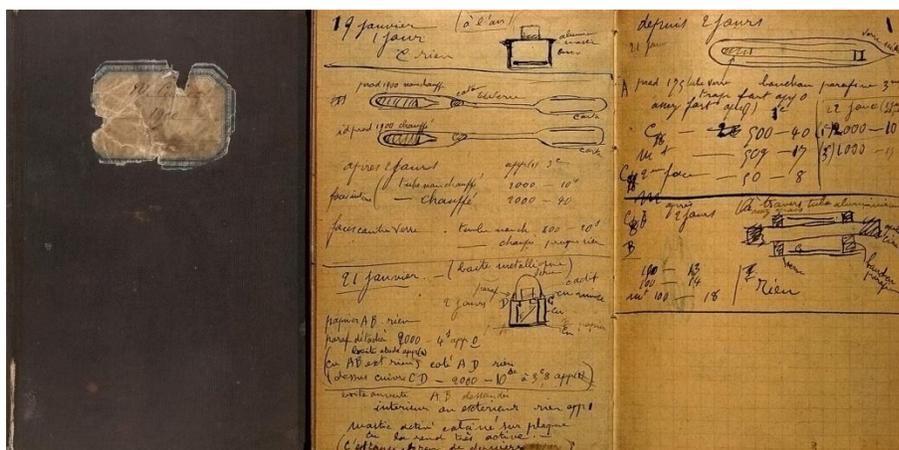


Figura 9. Cuaderno de apuntes de Marie Curie [40].

La vida de Marie Curie ha servido de fuente de inspiración a científicos y a muchos a hombres y mujeres. Su vida la dedica a su pasión por identificar nuevos elementos químicos y sus propiedades y, de esta manera, contribuir con el conocimiento que se tiene hasta ese momento sobre la naturaleza. Sus ojos no vieron las aplicaciones a los armamentos nucleares, que dieron fin a la Segunda Guerra Mundial, o los accidentes que han dejado secuelas en el mundo. Tampoco presenció el desarrollo de las grandes centrales nucleares que han generado electricidad para la industria y miles de hogares en

el mundo, así como otras aplicaciones de la radiactividad en la salud, agroindustria y la vida en general. Su vida fue apasionada e interesante, como lo han sido sus aportes y labor científica. Aún no se observa el fin de su valioso legado.

Referencias

- [1] J. Guillermo. *Los isótopos radiactivos y nuestro pasado.* Mundo científico, Repositorio de la Universidad de Salamanca, España. 1994. Disponible: <https://gredos.usal.es/handle/10366/55620>
- [2] A. Argüelles. *Una visión científica de la radiactividad desde su descubrimiento hasta nuestros días.* Instituto de Investigación y Desarrollo de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires, 2007. Disponible: <https://www.ciencias.org.ar/user/DOCUMENTOS/Radioactividad-ANCSA.pdf>
- [3] IAEA, International Nuclear Information System (INIS). XIX- *Yacimientos de minerales de uranio*, pp:569-601. Disponible: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/17/064/17064779.pdf>
- [4] Ruiza, M., Fernández, T. y Tamaro, E. (2004). *Pierre y Marie Curie. Biografía.* En Biografías y Vidas. La enciclopedia biográfica en línea. Barcelona (España). Disponible: <https://www.biografiasyvidas.com/monografia/curie/>
- [5] M. Binda. Marie Curie, una mujer pionera en su tiempo (Primera parte). *Revista Argentina de Radiología*, 73(3):265-270, 2009. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382538477003>
- [6] EcuRed. *Universidad de París (Francia).* Disponible: [https://www.ecured.cu/Universidad_de_Paris%ADs_\(Francia\)](https://www.ecured.cu/Universidad_de_Paris%ADs_(Francia))
- [7] EcuRed. *Academia de Ciencias de Francia.* Disponible: https://www.ecured.cu/Academia_de_Ciencias_de_Francia
- [8] R. Marlon y E. González. *Historia y didáctica de la química a través de sellos postales: un ejemplo con Marie Curie.* Educación Química, 24(1):71-78, 2013.
- [9] M. Brandan. *A cien años de las observaciones de Becquerel: los descubrimientos de la radiactividad.* Sociedad Mexicana de Física. México, 1996. Disponible: <http://www.smf.mx/boletin/Oct-95/cien.html>
- [10] École Supérieure de Physique et de Chimie Industrielles de la Ville de Paris (ESPCI). *ESPCI Paris - PSL.* 2020. Disponible: <https://www.espci.psl.eu/en/>
- [11] E. Gómez, H. Segura y V. Trejo. Visibilizar a las mujeres en la tabla periódica de los elementos químicos. *Boletín de la Sociedad Química de México*, 13(1):22-25. Disponible: <http://bsqm.org.mx/pdf-boletines/V13/V13N1/BSQM191301%20MujeresTablaPer.pdf>
- [12] O. Planas. *Albert Einstein.* Energía Nuclear, 2019, Disponible: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/historia/albert-einstein>
- [13] C. Teixidó. ¿Cómo se mide la radiactividad y cuáles son sus efectos?, *Investigación y Ciencia*, 2011. Disponible: <https://www.investigacionyciencia.es>
- [14] A. Couso Losada. *Lo que oculta la guerra nuclear,* en Justicia para todos, Estudios sobre derechos humanos, Omnia Mutantur S. L.:Valladolid, España, 2018, pp. 11-28.
- [15] Organismo Internacional de Energía Atómica IAEA. *Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares TNP,* 2019. Disponible: <https://www.iaea.org/es/temas/tratado-sobre-la-no-proliferacion>
- [16] V. Stracqualursi, N. Gaouette, B. Starr y K. Atwood. *Estados Unidos se retira formalmente del tratado nuclear con Rusia y se prepara para probar un nuevo misil.* Cable News Network CNN, 2 agosto 2019. Disponible: <https://cnnespanol.cnn.com>
- [17] J. Palacios. *Los retos de las energías limpias en el mediano y largo plazo.* Energía Nuclear. Colegio de Ingenieros Cíviles de México. 9 septiembre 2019. Disponible: http://cicm.org.mx/wp-content/files_mf/energ%C3%ADAnuclearretosamedianoylargoplazos.pdf

- [18] P. Polo. Dimitri Ivánovich Mendeléiev, el profeta que ordenó los elementos químicos. *Anales de Química*, 115(2):56-59, 2019.
- [19] M. Arriola y M. Guarino. *Las radiaciones ionizantes y la salud humana: Aportes de la química en el área del diagnóstico y del tratamiento.* Capítulo del Libro *Aportes de la química al mejoramiento de la calidad de vida.* Montevideo: Unesco. pp. 194-235. Repositorio Institucional de la Facultad de Química (RIQUIM). Universidad de la República de Uruguay, 2012. Disponible: <http://riquim.fq.edu.uy/items/show/403>
- [20] M. Bocarando, P. Hernández y K. Carral. Mendeleiev desmitificado. *Saberes y Ciencias*, Nro.85, p. 4, 2019. Disponible: <https://saberesyciencias.com.mx>
- [21] International Union of Pure and Applied Chemistry. *Who are we, Our history.* IUPAC Secretariat, 2020. Disponible: <https://iupac.org/who-we-are/our-history/>
- [22] International Union of Pure and Applied Chemistry. *Interdivisional committee on terminology, nomenclature and symbols*, IUPAC Secretariat, 2020. Disponible: <https://iupac.org/nomenclature-and-terminology/>
- [23] J. Bertolini, P. Goya y P. Roman. *Que sabemos de la tabla periódica de los elementos químicos*, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, España, 2019. Disponible: <https://www.csic.es/es/>
- [24] Foro de la Industria Nuclear Española. *Cuestiones de la Energía. Ciclo del combustible nuclear.* Foro Nuclear, Madrid, España. pp. 210-389. Disponible: <http://www.foronuclear.org>
- [25] International Union of Pure and Applied Chemistry(IUPAC). *Periodic table of elements*, 2020. Disponible: <https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements>
- [26] M. Borge y A. Povos. Estructura nuclear: a la búsqueda de los límites. *Revista Española de Física*, 22(1):4-13, 2008.
- [27] A. Muñoz. Marie Skłodowska Curie y la radiactividad. *Educación Química*, 24(2):224-228, 2013.
- [28] Lenntech BV. *Propiedades químicas del Hidrógeno-Efectos del Hidrógeno sobre la salud - Efectos ambientales del Hidrógeno*, Lenntech, 2020. Disponible: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/h.htm>
- [29] R. Pérez. Sistema Internacional de Unidades. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*, 75(1), 49-74, 2015. Disponible: <http://ve.scielo.org/pdf/og/v75n1/art07.pdf>
- [30] Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. *Términos y unidades de la radiación*, USA Gov en Español. Disponible: <https://espanol.epa.gov/>
- [31] Sorbonne Université. *Nous connaître.* Paris, 2020. Disponible: <http://www.sorbonne-universite.fr/>
- [32] G. Pilar y M. Jimeno. Marie Curie y su tiempo, un recorrido por la vida personal y científica de una mujer extraordinaria. *Métode*, 74:32-37, 2012. Disponible: <https://metode.es/revistas-metode/article-revistas/marie-curie-y-su-tiempo.html>
- [33] The Library of Congress of USA. *Marie Skłodowska Curie, half-length portrait, seated, facing right.* Disponible: <http://loc.gov/pictures/resource/cph.3b37568/>
- [34] The Nobel Prize. *The Nobel Prize in Physics 1903. Marie Curie Biographical* . NobelPrize.org. Disponible: <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/marie-curie/biographical/>
- [35] J. Gavaldà. Marie Curie, la madre de la física moderna. 6 Marzo 2020. National Geographic, Disponible: https://historia.nationalgeographic.com.es/a/marie-curie-madre-fisica-moderna_14453
- [36] A. Muñoz y A. Garritz. Mujeres y química, parte IV, siglos XX y XXI. *Educación Química*, 24(3):326-334, 2013. Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0187893X13724820>
- [37] M. Rodríguez. *Las otras Curie: las apasionantes vidas de las hijas de Marie Curie y cómo cada una hizo historia a su manera.* BBC News Mundo. 28 Abril 2019. Disponible: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47788210>

- [38] S. Boudia. Marie Curie et son laboratoire: Sciences et industrie de la radioactivité en France. Paris: Éditions des Archives Contemporaines, Fr 139, 234 pp, 2001. Disponible: <https://www.journals.uchicago.edu/doi/full/10.1086/374103>
- [39] Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Gobierno de España. *Breve Historia de la Radiactividad, Pierre Curie y Marie Sklodowska*. Museo Virtual. Disponible: <http://museovirtual.csic.es/coleccion/amaniel/radiactividad/radio5.htm>
- [40] Editores de Personajes Historicos. *Marie Curie: Biografía, Inventos, Nobel, Aportes y más*. 2020. Disponible en: <https://personajeshistoricos.com/c-cientificos/marie-curie>
- [41] J. Alonso. *Marie Curie Sklodowska. Los Revolucionarios del siglo XX*. Club Internacional del Libro, Promoción y Ediciones Londres, Madrid, 1978.
- [42] M. Casado. *Las damas del laboratorio. Mujeres científicas en la historia*. Debate. Barcelona, Libros Maravillosos, 286 pp, 2007. Disponible: <http://www.librosmaravillosos.com/>
- [43] Wikipedia. Ève Curie. Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%88ve_Curie
- [44] Universia España. *Marie Curie, física y química polaca*, Universia, 7 Noviembre 2019. Disponible: <https://noticias.universia.es/ciencia-nn-tt/noticia/2008/07/04/664138/marie-curie-fisica-quimica-polaca.html>
- [45] The Royal Society. *Awards*, 2019. Disponible: <https://royalsociety.org/grants-schemes-awards/awards/>
- [46] M. González Moreno. El radio y nuevos conceptos en química. *Mujeres con Ciencia*, 2014. Disponible: <https://mujeresconciencia.com/2014/08/04/el-radio-y-nuevos-conceptos-en-quimica/>
- [47] The Institut Curie. *Who we are*, 2020, Disponible: <https://institut-curie.org>
- [48] Civitatis Paris. *El Panteón de Paris*, Civitatis, 2020, Disponible: <https://www.paris.es/panteon>
- [49] Bibliothèque Nationale de France (BnF). *Gallica*. Disponible: <https://gallica.bnf.fr>
- [50] Chemistry Learner. *The Periodic Table*. 2020. Disponible: <https://www.chemistrylearner.com/the-periodic-table>.

Sobre las autoras

Carmen Luisa Vásquez Stanescu

Ingeniero Electricista. Magister Scientiarum en Ingeniería Eléctrica. Doctora en Ciencias Técnicas. Profesora Investigadora en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Barquisimeto, Venezuela.
Correo: cvasquez@unexpo.edu.ve
[ORCID](#)

Marisabel Luna Cardozo

Ingeniero Industrial, Magister Scientiarum en Ingeniería Industrial, Doctora Ingeniera Industrial. Profesora Investigadora en la Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre (UNEXPO), Barquisimeto, Venezuela.
Correo: mluna@unexpo.edu.ve
[ORCID](#)

Leadina Sánchez Barboza

Licenciada en Química, Magister Scientiarum en Ingeniería Química, Doctora en Ciencias de la Ingeniería mención Productividad. Correo: lesanchez@unexpo.edu.ve
[ORCID](#)