

# Hacia la igualdad de género en la historia del sistema periódico

Ana Isabel Morales López

**Resumen:** Este estudio revisa los hitos más significativos en la historia del sistema periódico, poniendo especial énfasis en las aportaciones que realizaron las mujeres en la búsqueda y el estudio de nuevos elementos químicos. Además, propone utilizar la historia del único elemento con nombre de mujer real, el meitnerio, como una herramienta didáctica para integrar la perspectiva de género en los contenidos curriculares de Física y Química de ESO y Bachillerato.

**Palabras clave:** sistema periódico, ciencia y género, Lise Meitner, meitnerio, metodologías didácticas.

**Abstract:** This work reviews the most significant historical milestones of the periodic system, with an especial emphasis on female contributions to the quest and study of new chemical elements. Moreover, the story of meitnerium, the only element named after a real woman, is proposed as a novel educational tool to include the gender dimension in the subject of Physics and Chemistry in Secondary Education.

**Keywords:** periodic system, science and gender, Lise Meitner, meitnerium, teaching methodologies.

## INTRODUCCIÓN

Este año se cumplen 150 años desde que Dimitri Mendeléiev (1834-1907) publicó la tabla periódica que lleva su nombre.<sup>[1]</sup> Sin embargo, el mayor logro pedagógico y divulgativo de la Química, lejos de ser la obra puntual de una única persona, es fruto de la superposición de muchos trabajos científicos. Muchas personas predijeron y clasificaron elementos químicos antes y después de Mendeléiev, y otras tantas los buscaron o estudiaron, aportando nuevas técnicas, metodologías y propuestas clasificatorias. La mayoría han pasado inadvertidas en el relato del sistema periódico. Y, como suele pasar con la ciencia y su historia, esta mayoría incluye a mujeres investigadoras con aportaciones muy significativas en la búsqueda y el estudio de las propiedades de algunos elementos químicos. No es el caso de la dos veces ganadora del premio Nobel Marie Curie, famosa por descubrir el polonio y el radio y por estudiar el fenómeno de la radiactividad. Pero, lamentablemente, la historia de la ciencia ha ignorado de manera sistemática la labor crucial de otras grandes pioneras como Julia Lermontova, Harriet Brooks, Stefanie Horovitz, Ida Noddack, Marguerite Perey o Lise Meitner.<sup>[2]</sup> Todas ellas (véase Figura 1) se vieron obligadas a vencer barreras de tipo nor-

mativo, cultural, económico o social para poder alcanzar el sueño de ser científicas; la primera, la prohibición de acceso a universidades y otros organismos de investigación.

El acceso de las mujeres a todos los niveles educativos comenzó a garantizarse legislativamente hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Fue entonces cuando surgieron las primeras figuras femeninas vinculadas al estudio del átomo y del sistema periódico. Estas mujeres solían necesitar la recomendación de algún profesor o investigador de reconocido prestigio para conseguir la admisión en las instituciones científicas. Sin embargo, su presencia fuera del ámbito doméstico causaba estupor entre las grandes personalidades académicas. Un ejemplo fue el físico Max Planck, considerado el padre de la mecánica cuántica, quien llegó a afirmar:

La naturaleza en sí misma prescribe que la mujer tiene una función de madre y ama de casa, y las leyes de la naturaleza no pueden ser ignoradas en ninguna circunstancia sin producir un grave daño [...].<sup>[3]</sup>

A veces, para superar las limitaciones de género, estas mujeres se veían obligadas a cambiar de país y buscar mentores dispuestos a admitirlas en sus clases o laboratorios. Otras veces, se veían conminadas a estudiar o trabajar en estancias aisladas donde pasaban desapercibidas para sus compañeros. Una vez consolidadas como investigadoras, su credibilidad solía ser puesta en entredicho por la comunidad científica. Además, acostumbraban a tener serias dificultades para conseguir financiación, formar equipos de trabajo o desarrollar sus propias líneas de investigación, sin olvidar que les resultaba muy complicado acceder a un puesto permanente. En muchas ocasiones, ni tan siquiera percibían un estipendio por su trabajo. Esta situación las



A. I. Morales  
López

Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria  
Universitat de València  
Av. Alcalde Reig n. 8, 46006, Valencia  
Instituto de Física Corpuscular (CSIC-UV)  
C/Catedrático José Beltrán n. 2, 46980, Paterna  
C-e: [aimolo@alumni.uv.es](mailto:aimolo@alumni.uv.es)

Recibido: 25/02/2019. Aceptado: 15/04/2019.



**Figura 1.** Mujeres pioneras de la tabla periódica. De arriba a abajo y de izquierda a derecha: Julia Lermontova, Harriet Brooks, Stefanie Horowitz, Ida Noddack, Marguerite Perey y Lise Meitner

condicionaba a colaborar en los proyectos de sus colegas masculinos, por lo que a menudo eran consideradas meras ayudantes o asistentes suyas. Como resultado, su labor científica fue injustamente invisibilizada e incluso atribuida a sus compañeros varones de manera inmerecida. La normalización de este fenómeno llevó a la historiadora **Margaret W. Rossiter (1944)** a acuñarlo como el efecto Matilda<sup>[4]</sup> en alusión al efecto Mateo, un prejuicio que atribuye los logros de una persona a otra con mayor prestigio social. Si se aplica al caso de las pioneras de la tabla periódica, el efecto Matilda hace referencia a la desvalorización de sus contribuciones en una profesión eminentemente masculina. Casi todas ellas lo sufrieron, pero gracias a su extraordinario talento, obstinación y tenacidad pudieron abrir una brecha en la brecha de género de la investigación atómica y nuclear. Es la intención de este trabajo recuperar y revalorizar sus aportaciones para darles el justo crédito que la historia les ha negado durante años.

Este estudio comienza revisando los hitos históricos más destacados en el descubrimiento de nuevos elementos químicos, así como su papel en el desarrollo del sistema periódico. Después, continúa con una breve reflexión sobre la labor femenina en el desarrollo del sistema periódico. Se presta especial atención a la figura de Lise Meitner, única mujer real que da nombre a un elemento químico, el meitnerio (cabe notar que el curio hace referencia a Marie y Pierre Curie). Se analiza la trayectoria académica de Meitner, poniendo especial énfasis en sus logros y en las barreras que invisibilizaron su labor. Posteriormente, se detalla el experimento que llevó al descubrimiento del meitnerio, de especial interés para integrar la perspectiva de género en las clases de ciencias. También se investigan otros potenciales usos didácticos de su historia, entre los que cabe destacar la integración de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente (CTSA), la motivación del alumnado, la aclaración de conceptos y la formación del profesorado. Se propone, además, usar la carta de núclidos –el equivalente nuclear de la tabla periódica– como

una nueva herramienta didáctica para introducir aspectos científicos, éticos y de género en el aula. Finalmente, se aportan las conclusiones de este estudio.

## EL DESARROLLO DEL SISTEMA PERIÓDICO

Algunos elementos químicos, como el plomo, el oro o el cobre, se conocen desde la Antigüedad. Otros, como el fósforo o el arsénico, fueron aislados por alquimistas en la Edad Media y el Renacimiento. La alquimia era una protociencia que perseguía conseguir la transmutación de metales comunes en oro o plata. Su práctica impulsó el desarrollo de herramientas y técnicas ampliamente usadas en química moderna, como la sublimación y la destilación.<sup>[5]</sup>

A comienzos del siglo XIX, mediante la aplicación de la electricidad al estudio de las reacciones químicas, tuvo lugar la primera gran oleada de hallazgos de elementos químicos. Entre 1807 y 1812, Humphry Davy (1778-1829) logró identificar ocho especies químicas nuevas aplicando técnicas de separación basadas en la recién descubierta electrólisis. Se trataba del magnesio, el bario, el estroncio, el calcio, el sodio, el potasio, el boro y el cloro.<sup>[6]</sup> Otra gran oleada de descubrimientos se produjo alrededor de 1860, con la llegada del análisis espectroscópico que permitió descubrir elementos como el talio, el cesio o el helio. Otros avances en las técnicas de análisis de minerales permitieron nuevos descubrimientos y, como resultado, a finales del siglo XIX se habían conseguido aislar más de una cuarentena de elementos más.

El gran auge de elementos y sustancias descubiertos durante este siglo alentó a los químicos de la época a idear nuevas formas de clasificarlos. Dichas clasificaciones no sólo procuraban una ordenación periódica con capacidades predictivas –de gran utilidad para buscar nuevos elementos–, sino que respondían a la necesidad de disponer de una herramienta didáctica para la enseñanza de la Química. De especial interés era también la difusión a otros públicos, como los médicos, los farmacéuticos y otros grupos de usuarios que requerían de una descripción clara y sencilla de los nuevos productos químicos.<sup>[7]</sup>

Como afirma Bertomeu Sánchez:

Las clasificaciones químicas fueron el resultado de la creatividad colectiva del profesorado de química del siglo XIX.<sup>[7]</sup>

Aun así, las aportaciones cruciales de algunos autores destacados han prevalecido en el imaginario colectivo. Éste es el caso de Dimitri Mendeléiev (1834-1907), conocido como el célebre descubridor del patrón subyacente sobre el que se cimenta la tabla periódica actual.<sup>[1]</sup> Cabe resaltar, sin embargo, que su trabajo se basó en obras anteriores, como el manual *Leçons de Chimie Générale Élémentaire* de Auguste Cahours,<sup>[8]</sup> los trabajos de Johann Döbereiner (1780-1849) sobre las tríadas de elementos químicos<sup>[9]</sup> o la hipótesis de William Prout (1785-1850) sobre el carácter fundamental del hidrógeno como componente básico de la materia.<sup>[10]</sup> Es también importante notar que la ordenación de Mende-

léiev, que se muestra en la Figura 2, coexistió con otras propuestas clasificatorias menos populares, aunque no menos significativas para el desarrollo del sistema periódico.<sup>[11]</sup> Entre ellas, destacan las contribuciones de Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois (1820-1886) y John Newlands (1837-1898). En 1862, Chancourtois ordenó por primera vez los elementos químicos en función de su masa atómica; Newlands formuló la ley de las octavas dos años después, en 1864. De igual relevancia fueron las ordenaciones de William Olding (1829-1921), Gustavus Hinrichs (1836-1923) y Julius Lothar Meyer (1830-1895). Este último propuso una clasificación muy parecida y casi simultánea a la de Mendeléiev,<sup>[12]</sup> aunque actualmente la tabla periódica sigue siendo presentada como la obra genuina del químico ruso.

Con el descubrimiento de la radiactividad<sup>[13]</sup> y el planteamiento del modelo atómico de Bohr,<sup>[14]</sup> los químicos del siglo xx consiguieron entender el orden del sistema periódico propuesto por Mendeléiev. El advenimiento de la física nuclear, además, trajo consigo nuevos avances en el desarrollo de la tabla periódica. Los primeros elementos radiactivos fueron sintetizados. Se crearon un total de 30 especies químicas nuevas, entre las que cabe destacar el tecnecio, predicho en 1871 por Mendeléiev y aislado por primera vez en 1937, casi 70 años después, en la Universidad de Palermo. Los descubridores fueron Carlo Perrier (1886-1948) y Emilio Segrè (1905-1989).<sup>[15]</sup>

Un hallazgo crucial fue el de los *isótopos*, término griego que significa “en el mismo sitio”. Este nombre fue propuesto por la doctora Margaret Todd (1859-1918) después de conocer las investigaciones de Frederic Soddy (1877-1956) sobre

las masas atómicas de algunos elementos radiactivos. Los isótopos son átomos con el mismo número *Z* de protones y electrones, pero distinto número *N* de neutrones. Como consecuencia, ocupan el mismo lugar en la tabla periódica y presentan las mismas propiedades químicas, pero distintas propiedades físicas. La química judía de origen polaco Stefanie Horovitz (1877-1942) aportó la primera prueba experimental concluyente de su existencia tras aislar un isótopo ligero del plomo en muestras de pechblenda enriquecidas con uranio.<sup>[16]</sup> Su descubrimiento contribuyó, junto a otros estudios realizados a comienzos del siglo xx,<sup>[14,17]</sup> a la reformulación del concepto de *elemento químico*, que pasó de definirse por la masa atómica relativa *A<sub>r</sub>* a hacerlo por el número atómico *Z*. Además, el trabajo de Horovitz destapó todo un abanico de combinaciones de la materia cuyos límites aún se desconocen. Como ya sucediera en el siglo xix con el sistema periódico, la necesidad de una ordenación científica y pedagógica de los isótopos llevó a la gestación de una nueva tabla: la carta de núclidos. De manera similar, varias propuestas<sup>[18]</sup> condujeron a la configuración actual de la carta, que se puede apreciar en la Figura 3.

Hacia mediados del siglo xx, el creciente desarrollo tecnológico nuclear dio lugar a la búsqueda de los elementos transuránicos o *superpesados*, caracterizados por tener un número atómico superior a *Z=92*, el número de protones del uranio. Las técnicas empleadas para sintetizar e identificar estos elementos se basaban, fundamentalmente, en el uso de reacciones de fusión nuclear en aceleradores de partículas.<sup>[20]</sup> Entre 1940 y 1970, la búsqueda de estos elementos fue liderada por un equipo de investigadores de la Universidad de California (Berkeley, Estados Unidos). El grupo fue responsable de la síntesis de catorce especies nucleares nuevas, desde el plutonio (*Z=94*) hasta el seaborgio (*Z=106*). Este último fue nombrado en honor al miembro más representativo del equipo, Glenn T. Seaborg, quien recibió el premio Nobel de Química en 1951 por sus descubrimientos en la química de los elementos transuránicos. Entre 1980 y 1990, el liderazgo pasó al Instituto de Investigación de Iones Pesados (Darmstadt, Alemania). El equipo investigador, dirigido por Peter Armbruster, Gottfried Münzenberg y Sigurd Hofmann, consiguió sintetizar por fusión fría seis elementos nuevos, desde el bohrio (*Z=107*) hasta el copernicio (*Z=112*).

**ОПЫТЪ СИСТЕМЪ ЭЛЕМЕНТОВЪ.**

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180.
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182.
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,1.
		Fe = 56	Rn = 104,4	Ir = 198.
		Ni = 59	Pi = 106,6	O = 199.
H = 1		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200.
	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112
	B = 11	Al = 27,1	? = 68	Ur = 116
				Am = 197?
	C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122
				Bi = 210?
	O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133
				Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137
				Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92	
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,5	Th = 118?	

**Д. Менделѣевъ**

Figura 2. Primera tabla periódica de Mendeléiev

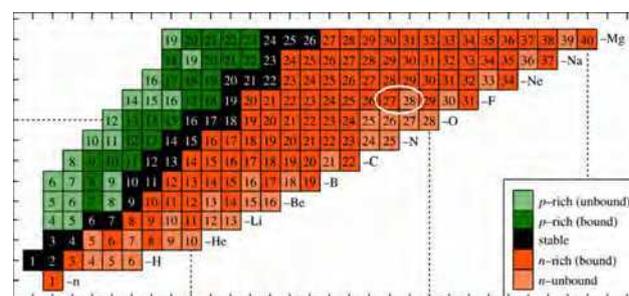


Figura 3. Carta de núclidos hasta *Z=12*.<sup>[19]</sup> En ella los núcleos se disponen en función de su número de neutrones *N* (eje X) y de protones *Z* (eje Y). El código de colores indica el modo de desintegración más probable

En 2016, la IUPAC confirmó el descubrimiento de cuatro especies químicas más: el nihonio ( $Z=113$ ), el moscovio ( $Z=115$ ), el teneso ( $Z=117$ ) y el oganesón ( $Z=118$ ). Con ellas, el séptimo período de la tabla periódica, en su representación habitual, quedaría completado. Sin embargo, los modelos nucleares más recientes predicen los límites de síntesis atómica para elementos con mayor número de protones. De acuerdo con estas teorías, la tabla periódica de Mendeléiev permanece inacabada, por lo que el descubrimiento de nuevas especies químicas es uno de los grandes retos de la ciencia del siglo XXI.<sup>[21]</sup> En los próximos años, los científicos esperan descubrir la octava fila de la tabla de Mendeléiev por primera vez en la historia. Para ello, intentarán producir el *ununennium* (nombre temporal del elemento 119) y el *unbilinium* (nombre temporal del elemento 120) en reacciones de fusión caliente, haciendo colisionar especies nucleares actínidas con núcleos mucho más ligeros, de número másico en torno a  $A=50$ . Su descubrimiento marcará el preludio de la exploración del bloque *g*. Con él, también se abrirá una nueva fila en una de las clasificaciones alternativas más conocidas, la tabla periódica de Charles Janet (1849-1932).<sup>[22]</sup> En este momento, los experimentos de interés se están preparando o llevando a cabo en instalaciones nucleares como RIKEN (Wako, Japón), JINR (Dubná, Rusia) y GANIL (Caen, Francia).

## LAS MUJERES Y EL SISTEMA PERIÓDICO

De los 118 elementos que en la actualidad conforman la tabla periódica, solamente unos cuantos se suelen atribuir a la labor de mujeres o equipos de investigación en los que participaban mujeres.<sup>[23]</sup> La más conocida es Marie Skłodowska Curie (1867-1934), codescubridora de los elementos polonio y radio junto a su marido Pierre Curie (1859-1906). En el año 1903, el matrimonio compartió el premio Nobel de Física con Henry Becquerel (1852-1908) por sus extraordinarias contribuciones al descubrimiento y estudio de la radiactividad. Marie Curie se convirtió así en la primera mujer en recibir un premio Nobel. Siete años después, en 1911, recibiría en exclusiva un segundo galardón –esta vez el premio Nobel de Química– por el aislamiento y estudio del radio. Sin embargo, Marie Curie no fue la primera mujer especializada en el aislamiento de elementos químicos. Veinte años antes, probablemente aconsejada por Mendeléiev, la química rusa Julia Lermontova (1846-1919) estudió nuevas técnicas de separación de los metales del grupo del platino.<sup>[23]</sup> Esta investigación fue esencial en la ordenación de los elementos rutenio, rodio, paladio, osmio, iridio y platino, tal y como sugieren los archivos de Mendeléiev y la correspondencia que mantuvieron ambos.

La identificación de nuevos elementos requería de mucha destreza, empeño y talento. Éste era el caso de Harriet Brooks (1876-1933), primera física nuclear de origen canadiense. Como estudiante de posgrado de Rutherford, Brooks investigó junto a él la naturaleza de las emisiones radiactivas del torio. Llegaron a demostrar que estas “emanaciones” se esparcían como un gas –al que más tarde se llamó radón–, proporcionando la primera prueba experi-

mental de la transmutación de elementos radiactivos.<sup>[24]</sup> Su estudio fue crucial para el desarrollo de la teoría de la desintegración radiactiva, por la que años más tarde Rutherford recibió el premio Nobel de Química. Raras veces se reconoce su contribución. Algo similar le sucedió a la química y física Ida Noddack (1896-1978), codescubridora del renio junto a su marido Walter Noddack (1893-1960) y Otto Berg (1873-1939).<sup>[25]</sup> Ida fue la primera científica en sugerir que el núcleo de uranio podía romperse en fragmentos más pequeños al bombardearlo con neutrones.<sup>[26]</sup> Pero la falta de una base teórica que explicara esta hipótesis y su escasa credibilidad tras fracasar en el hallazgo del elemento  $Z=43$  hicieron que la comunidad científica ignorara su propuesta. Años después, Lise Meitner (1878-1968), Otto Hahn (1879-1968) y Fritz Strassmann (1902-1980) confirmaron la hipótesis de Ida tras hallar bario entre los productos de la reacción.<sup>[27]</sup> Más tarde, Lise y su sobrino Otto Frisch (1904-1979) proporcionaron la primera explicación científica para el fenómeno, al que nombraron  *fisión nuclear*.<sup>[28]</sup> Lise Meitner, además, es considerada la codescubridora del protactinio junto a Otto Hahn. Para aislarlo, descompusieron pechblenda con ácido caliente.<sup>[29]</sup> Pese a recibir 29 nominaciones al premio Nobel de Física y otras 19 al premio Nobel de Química a lo largo de su carrera, Meitner fue una de las grandes olvidadas por el comité de los Nobel.<sup>[30]</sup> Éste es probablemente el motivo por el que su labor investigadora aparece raramente citada en los libros de ciencias, los mismos que atribuyen únicamente a Hahn los logros que consiguieron ambos durante los años que trabajaron juntos.

Una excepción a la larga lista de colaboradoras y asistentes de compañeros varones es Marguerite Perey (1909-1975), considerada la descubridora en solitario del francio. En el año 1939, Perey aisló el nuevo elemento en una muestra de lantano con trazas de actinio.<sup>[31]</sup> Por aquella época trabajaba como ayudante de laboratorio de Irène Joliot-Curie y André Debierne. La suerte quiso que ninguno de los dos conviniera en quién dirigía su investigación en aquel momento y, como resultado, Perey fue la única autora del artículo que anunciaba el hallazgo. En el año 1962, se convirtió en la primera mujer miembro de la Academia de Ciencias de Francia, rompiendo así el veto extraoficial que se había impuesto a las mujeres durante casi tres siglos.

El francio fue el último elemento aislado químicamente. Desde entonces, los nuevos elementos –los superpesados– se sintetizan y aíslan en aceleradores de partículas. Para poder realizar estos experimentos es necesario disponer de grandes presupuestos y equipos de investigación punteros. Mujeres pioneras como Darleane Hoffman (1926) y Dawn Shaughnessy han sido las primeras en liderar investigaciones de este tipo en los laboratorios nacionales Los Álamos y Lawrence Livermore, en Estados Unidos. Con ellas, se ha roto definitivamente el “techo de cristal” de las mujeres de la tabla periódica.

Si bien Shaughnessy tuvo el privilegio de nombrar un elemento químico –el livermorio–, Lise Meitner es la única mujer real que da nombre a uno –el meitnerio–. En los últimos años, muchos científicos e historiadores han reclamado un lugar justo para Meitner en la historia de la

ciencia. Algunos autores, como Ruth Lewin Sime, lo han hecho a través de su biografía,<sup>[32]</sup> revelando a una mujer muy avanzada para su época. Pero, sobre todo, se descubre un referente excepcional en la investigación atómica y nuclear. Lise Meitner fue, ante todo, una mujer apasionada por la ciencia. Tanto que, como veremos a continuación, arriesgó su vida por ella.

### LISE MEITNER, UNA VIDA CONSAGRADA A LA CIENCIA

Lise Meitner nació en Viena en 1878 en el seno de una familia de origen judío que profesaba el protestantismo. Desde muy niña demostró un talento innato para la ciencia. Fue la segunda mujer en doctorarse en ciencias físicas en la Universidad de Viena. Tras un intento fallido de trabajar junto a Marie Curie en la Sorbona, en 1907 marchó a Berlín atraída por el genio de Max Planck (1858-1947). Como ya se había mencionado, Planck se oponía a la educación universitaria para las mujeres. Pero la determinación de Lise por profundizar en su formación le impresionó tanto que acabó admitiéndola en sus clases. Ese mismo año, Lise conoció al químico alemán Otto Hahn, quien sería su íntimo amigo y más estrecho colaborador durante las próximas tres décadas (véase Figura 4).

Los comienzos fueron duros. El director del Instituto de Química donde trabajaba Hahn, Emil Fisher, no admitía a mujeres en el laboratorio. Por suerte para ella, había una pequeña estancia en el sótano del edificio que contaba con una entrada independiente. Pese a no estar acondicionada para realizar experimentos, Fisher le dio permiso para usarla como laboratorio. Lise se instaló allí y, a pesar de las dificultades, entre 1907 y 1909 consiguió publicar varios artículos relevantes en colaboración con Hahn. No recibió ninguna compensación económica por su trabajo hasta 1912, cuando Max Planck le consiguió un contrato como asistente. Se convirtió así en la primera mujer que percibía un estipendio en una universidad alemana. Cinco años después, en 1917, fue nombrada directora del recién estrenado Departamento de Física del Instituto Kaiser Guillermo de Química. En 1922, ascendió a profesora titular de la Universidad de Berlín –la primera de Prusia y la segunda de toda Alemania–. Su clase inaugural versó sobre “*el significado de la radiactividad en los procesos cósmi-*



Figura 4. Lise Meitner y Otto Hahn trabajando juntos en el año 1912

cos”, que un medio académico publicó como “*el significado de la radiactividad en los procesos cosméticos*”.<sup>[32]</sup> Finalmente, en 1926, se convirtió en la primera catedrática de física de Alemania. Había conseguido alcanzar la cima de la carrera académica.

En 1933, con la llegada de Adolf Hitler al poder, comenzó la persecución a los judíos. A Lise se le retiró el título de catedrática y con él el privilegio de enseñar en la universidad. Pero gracias a su pasaporte austríaco pudo evitar el repudio y mantuvo su cargo de directora en el Departamento de Física del Instituto Kaiser Guillermo. Algunos amigos, como Niels Bohr, le ofrecieron refugio fuera de Alemania, pero Lise había trabajado demasiado duro en su laboratorio como para abandonarlo, y decidió permanecer allí hasta que la situación se hizo insostenible.

En 1938, con la anexión de Austria por parte de la Alemania nazi, Lise se vio obligada a abandonar ilegalmente el país. Fueron muchos los colegas que la ayudaron en su huida, entre otros Otto Hahn, Niels Bohr, Dirk Coster y Paul Debye. De la noche a la mañana, se vio despojada de todas sus pertenencias. Consiguió huir a Holanda con 10 marcos y un anillo de diamantes que Hahn le había dado para sobornar a los guardias en la frontera. De allí viajó a Dinamarca y luego a Suecia. En Estocolmo, retomó su trabajo en el Instituto de Manne Siegbahn (1886-1978), no sin serios problemas por los prejuicios de este contra las mujeres y, en general, contra todo aquél que pudiera suponer una amenaza a su liderazgo. Con 60 años y una carrera intachable a sus espaldas, tuvo que resignarse a percibir un humilde sueldo de asistente. Tampoco le permitieron impartir clases ni tener estudiantes a su cargo.

En noviembre de 1938, Lise se reunió de manera clandestina con Hahn en Copenhague. Juntos planificaron los experimentos que condujeron al descubrimiento de la fisión nuclear.<sup>[27]</sup> Fueron ella y su sobrino Otto Frisch quienes, en las navidades de 1938, dedujeron que el núcleo de uranio se volvía inestable ante el bombardeo de neutrones, desatando una energía millones de veces mayor que la liberada en la combustión de un átomo de carbono. Acuñaron el fenómeno con el nombre de *fisión nuclear*.<sup>[28]</sup>

En el invierno de 1944, Hahn fue galardonado con el premio Nobel de Química por el descubrimiento de la fisión nuclear. Nunca reconoció el papel crucial de Meitner en la empresa. Lise, discreta, jamás reclamó el mérito que le correspondía. Tuvieron que pasar cincuenta años para que entrara en un club aún mucho más selecto, el de los pocos privilegiados distinguidos con el nombre de un elemento químico, el meitnerio.<sup>[33]</sup> Todavía hoy, 150 años después de la publicación de la tabla periódica de Mendeléiev, Lise Meitner es la única mujer real que ostenta ese honor.

Le propusieron participar en el proyecto Manhattan, pero siempre se opuso al uso bélico de su descubrimiento.<sup>[30]</sup> Estaba especialmente preocupada por la situación de la mujer en la ciencia y por la dimensión axiológica del desarrollo científico. Pasó los años de postguerra impartiendo conferencias sobre estos temas. En 1947, fue nombrada profesora de investigación en el Real Instituto de Tecnología de Estocolmo, lo que mejoró notablemente sus

condiciones laborales y económicas. En 1960, se trasladó a Reino Unido para estar más cerca de su hermano Walter y su sobrino Otto. Murió en Cambridge el 27 de octubre de 1968. Otto mandó escribir en su epitafio: “Lise Meitner, una física que nunca perdió su humanidad”.

## EL MEITNERIO

El meitnerio es un elemento superpesado con número atómico  $Z=109$ . Es un metal de transición sólido perteneciente al bloque *d*. Se encuentra en el grupo 9, período 7 de la tabla periódica. No tiene usos conocidos más allá de la investigación experimental. Fue sintetizado por primera vez en 1982 por el grupo de investigación que, en aquel momento, lideraban Peter Armbruster y Gottfried Münzenberg en el Instituto de Investigación de Iones Pesados (GSI).<sup>[34]</sup> El dispositivo experimental que utilizaron se muestra en la Figura 5.

Los expertos produjeron el meitnerio haciendo incidir un haz de  $^{58}\text{Fe}$  sobre un blanco delgado de  $^{209}\text{Bi}$ . Utilizaron un filtro de velocidad para separar los residuos formados por fusión fría del resto de contaminantes,<sup>[35]</sup> así como un sistema de detección de tiempo de vuelo para medir con precisión la velocidad de los productos seleccionados. Posteriormente, implantaron los núcleos en una matriz de siete detectores de silicio para medir su posición, tiempo y energía. Usaron esa misma matriz para detectar la posición, el tiempo y la energía de la radiación emitida por los núcleos implantados. El sistema electrónico que utilizaron era analógico y tenía una resolución temporal de  $1\ \mu\text{s}$ . Las señales se guardaron una a una en cinta magnética. El análisis de datos se realizó con el sistema IBM 3081 y con el paquete de análisis SATAN de GSI.<sup>[36]</sup>

La observación inequívoca de un residuo de evaporación con masa superior a 250 u, seguido de dos emisiones alfa y una fisión espontánea –el único evento de fisión observado en todo el experimento–, proporcionó al equipo una prueba irrefutable de la producción de un elemento superpesado. Tras un concienzudo análisis probabilístico, demostraron que la cadena radiactiva detectada provenía de un evento real. De entre los doce posibles núcleos superpesados que se podían haber formado en la reacción, concluyeron que el observado era  $^{266}109$ . El nombre “meitnerio” fue acuñado por la IUPAC doce años después, tras

aceptar la propuesta del equipo descubridor (véase Figura 6). Alegaron hacerlo en reconocimiento a *la labor decisiva de Lise Meitner en el descubrimiento de la fisión nuclear*.<sup>[33]</sup> Sin embargo, este reconocimiento iba mucho más allá. Con el nombramiento del meitnerio se conseguía, por primera vez en la historia, visibilizar la contribución de las mujeres en el desarrollo de la tabla periódica. Se contrarrestaba así el arraigado desdén hacia la ciencia femenina, legando para la posteridad la excelente labor de una mujer que, por ser de origen judío, se vio en el dilema de arriesgar la vida por su pasión, la ciencia.

## LA HISTORIA DEL MEITNERIO EN LAS AULAS

Existen numerosos estudios sobre la importancia de la Historia de la Ciencia (HC) en la enseñanza de la Física y la Química (FQ).<sup>[37]</sup> Una de las mayores fortalezas de la HC es su capacidad de reforzar el vínculo entre los contenidos científicos a impartir y las relaciones CTSA que exige el currículum de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y Bachillerato y que, hoy en día, es prácticamente inexistente en muchas aulas de ciencias. Es de especial interés que el alumnado adquiera nociones fundamentales sobre la transformación del pensamiento científico a lo largo del tiempo y sobre cómo el contexto social, político, cultural y moral en el que se desarrollaron las teorías científicas influyó en su evolución. Este tipo de planteamiento de la enseñanza de las ciencias incluye la reflexión como pilar fundamental en las clases, lo que contribuye notablemente al desarrollo del espíritu crítico requerido para alcanzar el objetivo educativo de alfabetizar científicamente al alumnado. Además, la HC ayuda a empatizar con los conflictos morales a los que se enfrentaron los científicos en el curso de la historia. Este aspecto “humaniza” la ciencia y hace que los procesos de enseñanza y aprendizaje sean más estimulantes para los profesores, que enriquecen su conocimiento ontológico y epistemológico de la materia, y para los alumnos, que aprenden a tomar decisiones fundamentadas sobre cuestiones científicas de interés común.

Dentro de este contexto, la historia del meitnerio nos brinda una oportunidad única para incluir una perspectiva ética y de género en el desarrollo de la tabla periódica. La dimensión de género es una cuestión fundamental en el camino hacia la igualdad social y, como tal, ha de visibilizarse en las aulas de ciencias. Este propósito es más viable cuanto mejor sea la integración de la HC en el currículum oficial de las asignaturas de ciencias. Las razones son muy diversas. En primer lugar, la HC pone de manifiesto las barreras legales, culturales y sociales con las que se han encontrado las mujeres científicas a lo largo de la historia. En segundo lugar, demuestra que sus aportaciones han sido invisibilizadas de manera sistemática y consciente por parte de la comunidad científica. En tercer lugar, recupera sus biografías para mantener su legado científico, revalorizar sus logros y, así, dar el justo crédito a su labor. En cuarto lugar, ayuda a corregir los prejuicios del alumnado redefiniendo los referentes de la ciencia con nuevas figuras femeninas. Y, finalmente, invita a reflexionar sobre las

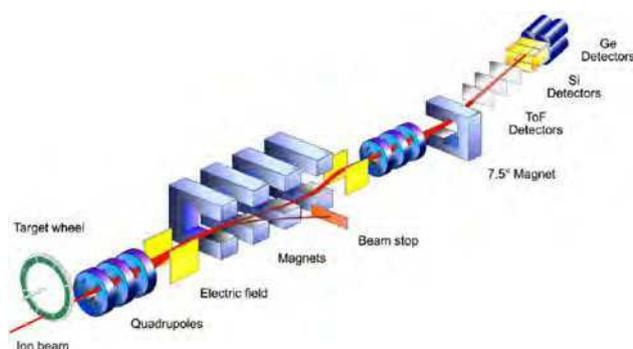


Figura 5. Dispositivo experimental utilizado en el descubrimiento del meitnerio



**Figura 6.** Equipo descubridor del meitnerio. Gottfried Münzenberg y Peter Armbruster son el segundo y tercer hombre comenzando por la izquierda, respectivamente

dificultades a las que deben enfrentarse en la actualidad las mujeres que quieren hacer ciencia.

Esta historia, además, permite integrar la investigación atómica en un contexto político, cultural, social y tecnológico tan complejo como el que dio lugar a los dos peores conflictos bélicos de la historia de la Humanidad y al desarrollo de las primeras armas de destrucción masiva. Por otro lado, deja entrever el lado más humano de la ciencia a través de la biografía de una mujer de origen judío, víctima del racismo nazi, que luchó por su gran pasión, la ciencia. Una científica pionera que no se rindió ante la adversidad y que tras muchos años logró su merecido reconocimiento. Desde un punto de vista docente, este relato puede ser utilizado para despertar la curiosidad del alumnado y estimular su interés personal por la ciencia, ya que infunde esperanza y deseos de cambio social profundo. Además, permite estudiar algunas de las cuestiones CTSA más importantes del siglo xx, como el holocausto nazi, el desarrollo de la bomba atómica que concluyó con los desastres de Hiroshima y Nagasaki, la carrera nuclear que propició la guerra fría, la explotación de la energía nuclear o la invisibilidad de la mujer en ciencia. Así, el alumnado no sólo aprende a contextualizar los experimentos que condujeron al descubrimiento de la fisión nuclear, sino que también debe reflexionar sobre las consecuencias de su posterior explotación bélica y civil. Sirve, por tanto, para fomentar el espíritu crítico ante un mal uso de las aplicaciones científicas y tecnológicas. Teniendo en cuenta el desmesurado ritmo de los avances científicos en la actualidad,<sup>[38]</sup> ésta es una competencia clave en el desarrollo personal del alumnado.

La biografía de Lise Meitner también permite aclarar algunos conceptos fundamentales de FQ contemplados en los currículos de ESO y Bachillerato. Sus trabajos científicos ayudan a comprender mejor cómo evolucionó la investigación de los procesos radiactivos a principios del siglo xx, aspecto que facilita el aprendizaje de los contenidos curriculares relativos a la estructura atómica y la energía nuclear, así como la comprensión del lenguaje utilizado en física subatómica. Un aprendizaje significativo de estos contenidos es fundamental para corregir los errores conceptuales más comunes sobre el modelo cuántico del átomo.<sup>[39]</sup> No menos

importante es la presentación de discontinuidades y debates en la práctica científica: el relato de los experimentos que llevaron al descubrimiento de la fisión nuclear muestra el carácter imperfecto e irregular de la ciencia, con ideas erróneas, incertidumbres, limitaciones y discusiones en torno a los experimentos realizados y su interpretación. Este aspecto es especialmente relevante para corregir una de las visiones deformadas más extendidas de la ciencia, la visión rígida del desarrollo científico. Así, la HC logra desmontar la imagen de perfección que suele imponerse en las aulas de ciencias y ayuda a que el alumnado se forme una imagen más real de la actividad científica.

Por último, la historia del meitnerio es de gran interés para mejorar la formación de los profesores de ciencias, pues ayuda a corregir los errores de enseñanza más comunes en torno al átomo y enriquece el conocimiento ontológico y epistemológico de la materia.<sup>[39]</sup> Además, el profesorado puede implementar nuevas propuestas didácticas a partir de esta historia. Un ejemplo es la introducción de la carta de núclidos en las clases de ciencias.<sup>[40]</sup> En la carta, los núcleos se disponen en función del número de protones (eje Y) y de neutrones (eje X), o lo que es lo mismo, los elementos químicos se ordenan en el eje vertical y los isótopos de un mismo elemento en el eje horizontal, tal y como muestra la Figura 3. Al aumentar el número de protones o neutrones (i.e., al desplazarnos hacia arriba o hacia la derecha en la carta de núclidos), las distintas capas nucleares se van llenando hasta alcanzar combinaciones particularmente estables; son los llamados números mágicos: 2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126. Debido a la estructura de capas, la carta de núclidos ofrece una ordenación periódica de las propiedades nucleares, tal y como sucede con los elementos en la tabla periódica. Por tanto, resulta de gran utilidad para enseñar algunos contenidos básicos sobre el átomo, como, por ejemplo, los tipos de desintegración radiactiva o las reacciones de fisión y fusión nuclear. Pero la mayor ventaja de su introducción en el aula es la ampliación a otros contenidos no contemplados dentro del currículo oficial de ESO y Bachillerato,<sup>[40]</sup> como los procesos de nucleosíntesis estelar que dan lugar a la formación de elementos en las estrellas, la investigación de los elementos superpesados o la dimensión de género de la investigación atómica.

## CONCLUSIONES

El desarrollo de la tabla periódica –de la que este año celebramos su 150<sup>o</sup> aniversario– y su extensión en la carta de núclidos es la historia de una pregunta sin respuesta, de cómo se organiza la materia que nos rodea. Mientras la comunidad científica busca nueva información en los límites de síntesis atómica, la tabla periódica proporciona un lenguaje universal que representa uno de los mayores logros divulgativos de la ciencia de todos los tiempos. Lamentablemente, nuestra sociedad, con la comunidad científica a la cabeza, ha invisibilizado de manera sistemática la contribución femenina al desarrollo de la tabla periódica. Así, las investigaciones llevadas a cabo por mujeres han sido tradicionalmente infravaloradas o atribuidas injustamente a sus compañeros varones.

Como consecuencia de este prejuicio –conocido como efecto Matilda–, la mayoría de las mujeres de la tabla periódica han pasado inadvertidas para la historia de la ciencia.

Este trabajo pretende subsanar la postergación sufrida por las pioneras de la tabla periódica recuperando su labor en la búsqueda de nuevos elementos químicos y en el estudio de sus propiedades. En particular, se ha propuesto integrar la historia de Lise Meitner y del elemento químico que lleva su nombre, el meitnerio, dentro del currículum de FQ de ESO y Bachillerato. La finalidad principal es revalorizar sus logros académicos y científicos, aportar un nuevo referente femenino a las clases de ciencias y visibilizar los impedimentos de las mujeres científicas. Además, se han discutido los potenciales usos didácticos de esta historia. Entre ellos, cabe destacar la reflexión axiológica sobre los descubrimientos científicos y sus aplicaciones, la aclaración de conceptos, la motivación del alumnado hacia la ciencia, el enriquecimiento ontológico y epistemológico del profesorado y la introducción de nuevas propuestas educativas, como la carta de núclidos. Sin embargo, el aspecto pedagógico más interesante es la incorporación de la perspectiva de género a los contenidos curriculares de FQ. Esta historia reconsidera los estereotipos de la actividad científica, requisito ineludible para formar a una ciudadanía responsable, informada, participativa y crítica con la igualdad de género y las demás cuestiones CTSA. En definitiva, contribuye a lograr uno de los principales objetivos de la enseñanza, la alfabetización científica del alumnado.

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer al profesor José Ramón Bertomeu por las enriquecedoras discusiones sobre el manuscrito.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. I. Mendeleev, *Osnovy khimii (Principles of Chemistry)*, St Petersburg, 1869-1871.
- [2] Brigitte van Tiggelen, Annette Lykknes. *Nature* **2019**, *565*, 559-561.
- [3] J. Castelo Torras, *Lise Meitner... y la energía del uranio*, Sociedad Nuclear Española, 2015.
- [4] M. W. Rossiter. *Soc. Stud. Sci.* **1993**, *23* (2), 325-341.
- [5] William R. Newman, *Promethean ambitions: alchemy and the quest to perfect nature*. University of Chicago Press, Chicago, 2005.
- [6] a) H. Davy. *Philos. Trans. R. Soc.* **1808**, *98*, 333-370. b) H. Davy. *Philos. Trans. R. Soc.* **1811**, *101*, 1-35.
- [7] J. R. Bertomeu Sánchez, *Química, Historia, Filosofía y Educación*, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, 2011, 25-41.
- [8] A. Cahours, *Leçons de chimie générale élémentaire: professées à l'école centrale des arts et manufactures*. Mallet-Bachelier, Paris, 1856.
- [9] J. W. Döbereiner. *Ann. Phys. Chem.* **1829**, *15*, 301-307.
- [10] W. Prout. *Ann. Philos.* **1815**, *6*, 321-330.
- [11] a) E. R. Scerri, *The periodic table: its story and its significance*. Oxford University Press, Oxford, 2007. b) E. R. Scerri, *Mendeleev's legacy: the periodic system*. Imperial College Press, London, 2009, 112-117.
- [12] L. Meyer, *Die modernen Theorien der Chemie und ihre Bedeutung für die chemische Statik*. Maruschke & Berendt, Breslau, 1872.
- [13] P. Radvanyi, J. Villain. *C. R. Phys.* **2017**, *18* (9), 544-550.
- [14] N. Bohr. *Philos. Mag.* **1913**, *26* (151), 1-25.
- [15] C. Perrier, E. J. Segrè. *Chem. Phys.* **1937**, *5* (9), 712-716.
- [16] M. Rayner-Canham, G. Rayner-Canham. *Bull. Hist. Chem.* **2000**, *25* (2), 103-108.
- [17] a) A. Van den Broek. *Nature*. **1911**, *87*, 78. b) H. G. J. Moseley. *M. A. Philos. Mag.* **1913**, *26* (156), 1024-1034. c) J. Chadwick. *Proceedings of the Royal Society A.* **1932**, *136* (830), 692-708.
- [18] a) K. Guggenheimer. *J. Phys. Radium.* **1934**, *5* (6), 253-256. b) G. Fea. *Il Nuovo Cimento.* **1935**, *2*, 368-406.
- [19] G. Christian. PhD thesis. Michigan State University, East Lansing, 2011.
- [20] D. Ackermann, C. Theisen. *Phys. Scr.* **2017**, *92* (8), 083002.
- [21] E. R. Scerri, G. Restrepo (Eds.), *Mendeleev to Oganesson: A Multidisciplinary Perspective on the Periodic Table*. Oxford University Press, Oxford, 2018.
- [22] C. Janet, *Considérations sur la structure du noyau de l'atome*. Imprimerie Départementale de l'Oise, Beauvais, 1929.
- [23] M. Creese. *Bull. Hist. Chem.* **1998**, *21*, 19-24.
- [24] M. Rayner-Canham, G. Rayner-Canham, *Harriet Brooks: Pioneer Nuclear Scientist*. McGill-Queen's University Press, Montreal, 1992.
- [25] W. Noddack, I. Tacke, O. Berg. *Naturwiss.* **1925**, *13* (26), 567-574.
- [26] I. Noddack. *Angew. Chem.* **1934**, *47* (37), 653-655.
- [27] O. Hahn, F. Strassmann. *Naturwiss.* **1939**, *27*, 11-15.
- [28] L. Meitner, O. R. Frisch. *Nature.* **1939**, *143*, 239-240.
- [29] L. Meitner, O. Hahn. *Phys. Z.* **1918**, *19*, 208-218.
- [30] L. Morrón. *Revista Española de Física.* **2018**, *32* (3), 55-64.
- [31] M. Perey. *C. R. Acad. Sci.* **1939**, *208*, 97.
- [32] R. L. Sime, *Lise Meitner: a life in physics*, Berkeley: University of California Press, Berkeley, 1996.
- [33] IUPAC Recommendations. *Pure & Appl. Chem.* **1994**, *66* (12), 2419-2421.
- [34] a) G. Münzenberg, P. Armbruster, F. Hessberger, S. Hofmann, K. Poppensieker, W. Reisdorf, J. Schneider, W. Schneider, K.-H. Schmidt, C. Sahm, D. Vermeulen. *Z. Phys. A: At. Nucl.* **1982**, *309*, 89-90. b) G. Münzenberg, W. Reisdorf, S. Hofmann, Y. K. Agarwal, F. Hessberger, K. Poppensieker, J. Schneider, W. Schneider, K.-H. Schmidt, H. J. Schött, P. Armbruster, C. Sahm, D. Vermeulen. *Z. Phys. A: At. Nucl.* **1984**, *315*, 145-158.
- [35] G. Münzenberg, W. Faust, S. Hofmann, P. Armbruster, K. Güttnner, H. Ewald. *Nucl. Instrum. Methods* **1979**, *161* (1), 65-82.
- [36] R. Chestnut, B. Grasmick, R. Hadshell. W. Lebershausen, J. Lowski, W. Plappert, M. Richter, H. Rother, O. Siart, M. Steitz, K. Winkelmann, *EDAS (GOLDA+STAN) User's Guide*, GSI Darmstadt, 1981.
- [37] M. R. Matthews. *Ensen. Cien.* **1994**, *12* (2), 255-277.
- [38] J. Solbes. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* **2013**, *10*, 171-181.
- [39] J. Solbes. *Alambique.* **2018**, *93*, 26-33.
- [40] a) H. Koura. *Phys. Educ.* **2014**, *49* (2), 215-220. b) C. A. Diget, A. Pastore, K. Leech, T. Haylett, S. Lock, T. Sanders, M. Shelley, H. V. Willet, J. Keegans, L. Sinclair, E. C. Simpson. *Phys. Educ.* **2017**, *52* (2), 024001.