

Dimitri Ivánovich Mendeléiev

El profeta que ordenó los elementos químicos

Dimitri Ivánovich Mendeléiev (Tobolsk, Siberia, Rusia, 8 de febrero de 1834 – San Petersburgo, 2 de febrero de 1907, 72 años), químico ruso, padre de la tabla periódica, gran científico, pensador, inventor y patriota. Formuló la ley periódica de los elementos químicos basada en el orden creciente de sus pesos atómicos. Usó esta ley para corregir las propiedades de algunos elementos ya descubiertos y predecir las propiedades de hasta ocho nuevos elementos.^[1,2]

La idea de celebrar un Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos partió del profesor de la Universidad de Nottingham, sir Martyn Poliakoff, quien escribió una carta en julio de 2016 a la presidenta de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), Natalia Tarásova, recordándole que en 2019 se celebraría el 150 aniversario de la publicación de la primera versión de la tabla periódica moderna por el químico ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev. Sugería que la IUPAC podría realizar una solicitud para hacer que 2019 fuese el Año Internacional de la Tabla Periódica. La Academia de Ciencias Rusa se dirigió al Secretariado de la IUPAC liderando esta solicitud. A esta iniciativa se unieron otras instituciones científicas y más de 80 organizaciones nacionales adheridas a la IUPAC, academias de ciencias, sociedades químicas e institutos de investigación. El 20 de diciembre de 2017 la Asamblea General de la ONU declaró 2019 el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos (IYPT2019, en sus siglas en inglés) (Figura 1).^[3]

Dimitri Ivánovich Mendeléiev (Figura 2) nació el 8 de febrero de 1834 (el 27 de enero, según el calendario juliano) en la ciudad siberiana de Tobolsk. Fue el benjamín de la familia Mendeléiev compuesta por diecisiete hermanos (tres murieron en el parto), y fue el decimocuarto en recibir el bautismo. Sus padres fueron Iván Pávlovich Mendeléiev (1783-1847) y María Dímitrievna Kornilieva (1793-1850). Su padre se graduó en el Instituto Pedagógico de San Petersburgo y fue profesor de varias escuelas. Se casó en 1809 y en la década de 1820 regresó a Tobolsk como director del Instituto hasta 1834, año en el que perdió la vista. Se tuvo que retirar con una escasa pensión. Su esposa trató de sacar adelante a la familia regentando la fábrica de vidrio familiar sin mucho éxito. Dimitri ingresó en el Instituto de Tobolsk a los 7 años, un año antes de lo que estaba permitido. Se graduó a los 15 años, pero sus profesores certificaron que tenía 16 años para evitarle problemas administrativos. Su padre falleció cuando tenía 13 años.



United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



2019
IYPT
International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

Figura 1. Logotipo del IYPT2019^[3]

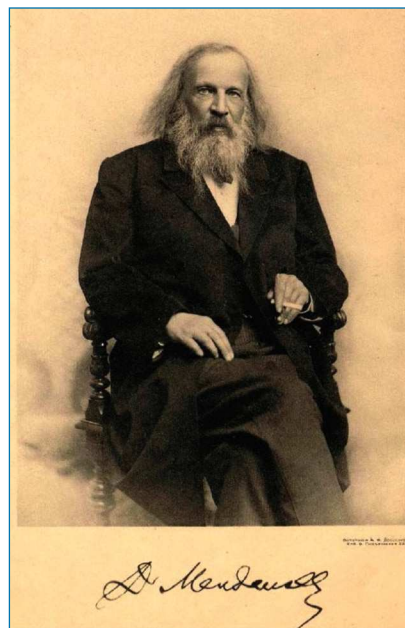
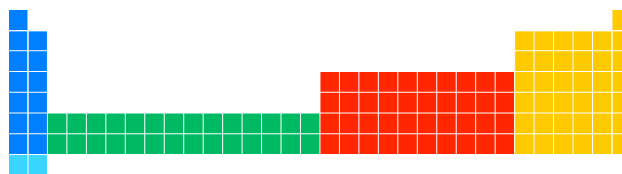


Figura 2. Dimitri I. Mendeléiev (foto del dominio público) [bit.ly/2VxApA5, visitada el 14/04/2019]

Dimitri era un estudiante aventajado en ciencias, historia y geografía; sin embargo, tuvo dificultades con las lenguas clásicas obligatorias -el latín y el griego- y la teología. Durante su formación, hubo algunas personas del entorno familiar que influyeron en él, como Timofei, el químico de la fábrica de vidrio de quien aprendió conceptos sobre la manufactura y el soplado del vidrio. Su cuñado Bessargin, esposo de su hermana mayor Olga, también ejerció una gran influencia sobre él. Había sido desterrado a Siberia por sus ideas políticas, por pertenecer al movimiento revolucionario de los decembristas. Su madre tuvo una influencia decisiva en Dimitri: era su hijo preferido, y desde hacía muchos años había empezado a ahorrar para que Dimitri fuera a la universidad. La fábrica de vidrio se incendió y un poco después murió su esposo.

En el verano de 1849, María tomó a sus hijos más pequeños Dimitri y Elisabeta (o Lisa) y se dirigió a Moscú, distante más de 2.000 kilómetros. Dimitri fue rechazado en la Universidad de Moscú por su origen siberiano. Al año siguiente se dirigieron a San Petersburgo para que Dimitri ingresara en su universidad, que también lo rechazó.^[1,2] Finalmente, gracias a los oficios de Plenov, director del Instituto Pedagógico de San Petersburgo y amigo de su padre, pudo ingresar en el verano de 1850. Obtuvo una beca, pero el 20 de septiembre murió su madre de agotamiento físico y tuberculosis. En 1852 falleció su hermana Lisa, y él mismo estuvo gravemente enfermo. Le diagnosticaron erróneamente tuberculosis. Tras unos comienzos con pobres calificaciones se graduó en 1855 con medalla de oro por sus excelentes notas. Su primer trabajo científico lo publicó en alemán en 1854 sobre el análisis de un mineral de Finlandia y fue supervisado, entre otros profesores, por el químico Alexander Voskresenski. Este fue discípulo del gran químico alemán Liebig, y es considerado como

el abuelo de la química rusa, y Mendeléiev el padre de la química rusa. Ejerció una gran influencia académica y científica en Mendeléiev. Más tarde jugó un importante papel en la vida de Dimitri.

Mendeléiev impresionó a los miembros del tribunal por su profundo conocimiento y los administradores del Instituto Pedagógico de San Petersburgo pensaron en que se quedara para preparar el Máster. Sin embargo, Mendeléiev, siguiendo los consejos del doctor Zdekauer, obtuvo una posición de profesor en Odesa, donde el clima era mejor para su salud. Por un error administrativo fue enviado a la ciudad de Simferopol, donde llegó el 25 de agosto de 1855. El lugar era muy peligroso por la guerra de Crimea, pero allí conoció al cirujano Nicolás Pigorov, que dirigía los servicios médicos de las tropas rusas, quien examinó a Dimitri y le comunicó que no tenía tuberculosis.^[1,2] Los vómitos procedían de una leve lesión cardiaca sin gravedad y no corría peligro. Esta noticia devolvió el ánimo a Mendeléiev quien, a los 21 años, decidió dedicarse a la ciencia para, de este modo, servir al pueblo ruso. De regreso a Odesa, enseñó durante seis meses matemáticas, física y ciencias naturales en su instituto mientras preparaba su trabajo de Máster sobre el isomorfismo y los volúmenes específicos que defendería en la Universidad de San Petersburgo. El 9 de septiembre de 1856 pasó los exámenes para llegar a ser maestro de física y química. Poco después completó un segundo Máster, necesario para obtener el puesto de docente, sobre la estructura de las combinaciones silíceas. Defendió su grado el 21 de octubre de 1856, y en enero de 1857, sin haber cumplido todavía los veintitrés años, era encargado de curso de la Universidad Imperial de San Petersburgo para impartir docencia de química orgánica. Pero como sus ingresos eran insuficientes se vio obligado a aceptar una plaza de profesor de química en el Instituto Pedagógico Central, y también a dar clases particulares.^[1]

En enero de 1859, el Ministerio de Instrucción Pública convocó becas para que los jóvenes rusos se formaran en los países europeos más avanzados. Mendeléiev obtuvo una de estas becas por su excelente currículum. A partir del 14 de abril de 1859 permaneció 22 meses en el extranjero. Los dos primeros meses los dedicó a recorrer una docena de universidades europeas. En París conoció a Berthelot, Wurtz y Dumas; en Múnich se encontró con Liebig, pero finalmente decidió permanecer en la Universidad de Heidelberg al lado de los profesores Bunsen, Erlenmeyer y Kirchhoff, y también de la importante colonia de estudiantes rusos que se formaban en la ciudad de Heidelberg.^[2] En el laboratorio de Bunsen no se encontraba a gusto por su escaso equipamiento y decidió montar un laboratorio en su propio apartamento para continuar sus estudios sobre la capilaridad y la tensión superficial. Midió los volúmenes específicos de series de líquidos y determinó la temperatura absoluta de ebullición, hoy conocida como temperatura crítica, porque no dependía de la presión.

Del 3 al 5 septiembre de 1860, Mendeléiev participó en el Primer Congreso Internacional de Químicos que había sido organizado por Kekulé, Weltzien y Wurtz en la ciudad alemana de Karlsruhe, próxima a Heidelberg. Participaron 127 químicos de once países europeos y México. Entre ellos hay que destacar la presencia de tres jóvenes y entusiastas químicos: el inglés William Odling, el alemán Julius Lothar Meyer y el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev. Los tres contribuyeron al desarrollo de la tabla periódica de los elementos químicos de forma simultánea y competitiva.

El congreso no logró sus objetivos de poner de acuerdo a sus participantes sobre la definición de los conceptos de átomo, molécula, equivalente, atomicidad y basicidad, y de instituir una notación uniforme y una nomenclatura racional.^[4] El gran triunfador del Congreso de Karlsruhe fue el químico italiano Stanislao Cannizzaro, quien expuso con total claridad sus ideas sobre la teoría atómica y aclaró los conceptos de peso atómico y peso molecular. Estas ideas las había publicado dos años antes en un folleto dirigido a sus estudiantes titulado *Sunto di un corso di filosofia chimica*. Al final del congreso, Meyer y Mendeléiev se hicieron con una copia de tan valiosa publicación. Dimitri reconoció el gran influjo que tuvo en el desarrollo de su ley periódica las ideas expuestas por Cannizzaro. Meyer y Mendeléiev compitieron por ser los primeros en establecer la primera versión de la tabla periódica moderna.

El 14 de febrero de 1861, Mendeléiev regresó a San Petersburgo y se encontró con que había perdido su puesto en la universidad y el Instituto Pedagógico había cerrado. Se hallaba cargado de deudas y sin trabajo, por lo que impartió clases particulares para poder sobrevivir. En menos de cuatro meses después de su regreso, escribió el libro *Química Orgánica* con el que obtuvo el premio Demidov de 1862. La elevada cuantía del premio le permitió pagar la mayor parte de sus deudas. En esta época, también trabajó como traductor de textos de tecnología del alemán al ruso.

Influenciado por su hermana Olga y sin estar enamorado, se casó el 22 de abril de 1862 con Feozva Nikitichna Leshcheva, que era seis años mayor que él, y con quien tuvo tres hijos: María, Vladímir y Olga. Este matrimonio de conveniencia estaba condenado al fracaso. Desde 1871 estuvo prácticamente separado de su mujer, de la que se divorció en 1881. En 1877, cuando contaba con 43 años, Dimitri se enamoró de una joven estudiante de Bellas Artes de 17 años que era amiga de su sobrina Nadiejda. Tras años de zozobra y sufrimiento, al final se casó en 1882 con Ana Ivanova Popova. Tuvieron cuatro hijos: Liubov, Iván, Vasili y María.^[1,2]

Defendió su tesis doctoral el 31 de enero de 1865 con el título "Sobre los compuestos de alcohol y agua". Ese mismo año se incorporó de nuevo a la universidad ocupando diversas posiciones. En junio de 1865, Mendeléiev compró una finca de 60 hectáreas en Boblovo, cerca de Moscú, donde construyó la casa familiar con un laboratorio, tierras de cultivo y una granja, y allí se dedicó a desarrollar sus ideas sobre agricultura y ganadería con excelentes resultados económicos. En octubre de 1867 sustituyó al profesor Voskresenski en la cátedra de Química Inorgánica hasta 1890, cuando dimitió de su cátedra por los compromisos adquiridos con los estudiantes.^[1,2]

En la década de 1860 contribuyó a la creación de la Sociedad Química Rusa, que fue aprobada en 1869. Para mejorar la enseñanza de su asignatura de Química Inorgánica, comenzó a escribir su gran obra *Principios de Química* (1868-1871), que apareció en fascículos entre 1868-69 (primera parte) y 1870-1871 (segunda parte). Esta obra y la titulada *Química Orgánica* fueron libros de texto durante muchos años. Se publicaron 13 ediciones de *Principios de Química* (8 en vida de Mendeléiev) y fue traducida al alemán, inglés y francés. Cada nueva edición era revisada, corregida y expandida por su autor. Este libro y sus posteriores mejoras fueron la principal razón del nacimiento y futuro desarrollo de la tabla periódica.^[2]

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ 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 = 197,4
	Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198.
Ni = 59	Co = 59	Pl = 106,6	Os = 199.
H = 1	Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112
B = 11	Al = 27,4	? = 68	Cr = 116
C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118
N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122
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
		? Yi = 60	Di = 95
		? In = 75,6	Th = 118?

Д. Менделѣевъ.

Figura 3. Primera versión de la tabla periódica moderna de los elementos químicos propuesta por Mendeléiev (1869)^[5]

El 1 de marzo de 1869 (según el calendario gregoriano), Mendeléiev publicó su ley periódica basada en el orden creciente de los pesos atómicos y la tabla periódica que recogía los 63 elementos químicos conocidos entonces (Figura 3).^[5] La ley periódica de Mendeléiev indicaba que era preciso introducir cambios en los pesos atómicos de ciertos elementos que señalaba con signos de interrogación, y lo que era más importante, debían existir nuevos elementos que todavía no habían sido descubiertos para los que propuso sus pesos atómicos y sus propiedades. El carácter predictivo de la ley periódica de Mendeléiev supuso un reto para los científicos de la época, que les animó a buscar dichos elementos.

En vida de Mendeléiev fueron descubiertos por químicos europeos tres de los elementos predichos por él. El carácter predictivo de sus tablas periódicas le condujeron a sus primeros grandes éxitos y reconocimientos. En 1875, con ayuda de las técnicas espectroscópicas, el químico francés Paul Émile Lecoq de Boisbaudran comunicó a la Academia de Ciencias de París el descubrimiento de un nuevo elemento que se hallaba en un mineral de esfalerita (sulfuro de zinc) procedente de una mina de Pierrefitte en los Pirineos franceses al que llamó galio para honrar a su país Francia (*Gallia*, en latín). Mendeléiev le había dado el nombre de eka-aluminio. En 1879, el químico sueco Lars Fredrick Nilson descubrió el escandio, un nuevo elemento que llamó así para honrar a su patria, Escandinavia. El químico sueco Per Teodor Cleve fue el primero en percatarse de que las propiedades de este elemento coincidían con las predichas por Mendeléiev para el eka-boro. En 1886, diecisiete años después de que Mendeléiev propusiera la

primera versión de su tabla periódica, el químico alemán Clemens Alexander Winkler halló un nuevo metal en una muestra del mineral argirodita (Ag_8GeS_6 , sulfuro de plata y germanio), que se había encontrado en una mina de plata cerca de Freiberg (Sajonia). Al nuevo elemento lo llamó germanio, para honrar a su país Alemania (Germania, en latín), que coincidía con el eka-silicio predicho por el químico ruso.^[6] Mendeléiev anunció la existencia de diecisiete nuevos elementos, acertó en ocho de ellos y falló en otros tantos.^[7]

Mendeléiev y Lothar Meyer fueron reconocidos por la *Royal Society* de Londres en 1882 con la Medalla Davy "por sus descubrimientos de las relaciones periódicas de los pesos atómicos". En 1889, Mendeléiev fue nombrado socio extranjero de la *Royal Society* y recibió la Medalla Faraday de la *Chemical Society* de Gran Bretaña. En 1905 fue distinguido con la Medalla Copley de la *Royal Society* de Londres. Sin embargo, Mendeléiev no recibió el premio Nobel de Química en 1906. Aquel año lo consiguió el químico francés Henry Moissan, y Mendeléiev fue propuesto para el premio Nobel de Química de 1907. La fecha límite era el 31 de enero, pero fue demasiado tarde, porque Mendeléiev murió de gripe el 2 de febrero de aquel año, unos días antes de cumplir los 73 años.^[1,2] Mendeléiev fue enterrado en el cementerio de Vólkovo en San Petersburgo. Sobre su lápida de granito rojo solo aparece la inscripción en cirílico con su nombre "Dimitri Ivánovich Mendeléiev" (Figura 4). A su muerte se conocían 86 elementos químicos.

Aunque Mendeléiev revisó su tabla periódica hasta su muerte, los problemas comenzaron a aparecer a finales del siglo XIX. El químico checo Bohuslav Brauner le ayudó a ubicar las tierras raras al pie de la tabla periódica en la serie octava. En la década de 1890 se descubrió una serie de nuevos elementos que no tenían cabida en la tabla periódica: los gases nobles. Fue William Ramsay quien descubrió la mayoría de los gases nobles, y el que propuso introducir el grupo 0 para alojar a los gases inertes.

Por otro lado, se hallaron tres parejas de elementos en las que el primer elemento tenía un peso atómico inferior al segundo; estas eran: argón-potasio, cobalto-níquel y telurio-yodo. Mendeléiev creía que era preciso realizar esta inversión en el orden creciente de sus pesos atómicos para acomodar correctamente los elementos químicos en el grupo que mejor les correspondía con el fin de enfatizar sus propiedades físicas y químicas, aunque siguió insistiendo en que había que revisar los pesos atómicos de estos elementos.^[6]



Figura 4. Tumba de Mendeléiev en el cementerio de Vólkovo en San Petersburgo (fotografía propiedad del autor)

A partir de 1895 comenzaron a aparecer serios problemas a la ley periódica de Mendeléiev con el advenimiento de nuevos descubrimientos científicos y teorías sobre la estructura interna del átomo. Entre ellos destacan: el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen en la Universidad de Wurzburg (1895); el hallazgo accidental de la radiactividad natural por el físico francés Antoine Henri Becquerel (1896); el descubrimiento de los dos primeros elementos radiactivos por los esposos Curie (1898): el polonio (en junio) y el radio (en diciembre); el hallazgo e identificación del electrón por sir Joseph John Thomson (1897). El descubrimiento de esta nueva partícula causó una nueva decepción a Mendeléiev, ya que los átomos podían dividirse en partículas más pequeñas en contra del criterio del químico ruso;^[6] así como la formulación de los primeros modelos para justificar la estructura atómica por Thomson, Rutherford y Bohr. Entre 1896 y 1913 se removieron los cimientos de la física con la aparición de los nuevos conceptos asociados con las revoluciones cuántica y relativista. Mendeléiev creía que estos descubrimientos representaban una grave amenaza para su ley periódica. Su reacción desesperada le condujo a clasificar los inexistentes elementos éter y coronio, que le valió el descrédito de la comunidad científica.^[1]

El abogado, matemático economista y físico aficionado holandés Antonius van den Broek fue quien definió el concepto de número atómico en un artículo que publicó en 1911 en la revista *Nature* de Londres. Cada elemento de la tabla periódica tendría una carga nuclear igual a una unidad más que la del elemento anterior. Aunque van den Broek avanzó el concepto de número atómico, no pudo demostrarlo. Es al joven físico británico Henry Gwyn Jeffreys Moseley a quien se le atribuye el honor de haber descubierto el número atómico con sus originales experimentos llevados a cabo con la difracción de los rayos X sobre los metales en 1913 y 1914. En el artículo de 1914 confirmó la ley que lleva su nombre (o de los números atómicos), en la que relacionaba la raíz cuadrada de la frecuencia de las líneas espectrales de rayos X de los elementos químicos con el número atómico, $\nu = A(N - b)^2$, donde ν es la frecuencia de las líneas espectrales de los rayos X, N es el número atómico (actualmente se representa por Z), y A y b son dos constantes de las líneas espectrales.^[8] Aunque su estudio abarcó los elementos metálicos del aluminio al oro, su ley permite predecir la existencia de nuevos elementos con gran precisión, por los huecos que se generan en su gráfica ($N = 43, 61$ y 75) en la que representa los elementos químicos por su símbolo y número atómico frente a la raíz cuadrada de la frecuencia de sus líneas espectrales de rayos X (Figura 5).^[8] La ley periódica de Moseley desplazó a la ley periódica de Mendeléiev y sigue resistiendo el paso del tiempo después de más de 105 años.

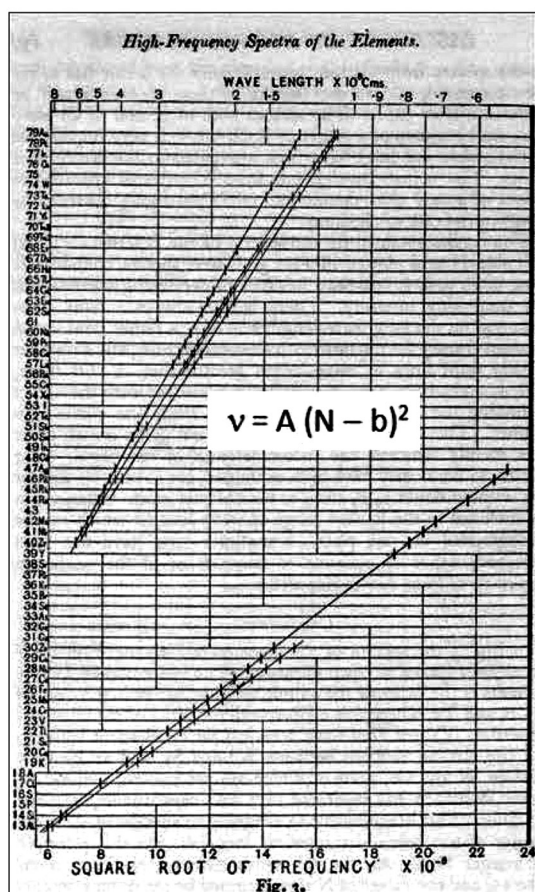


Figura 5. La ley periódica de Moseley ordenada por el número atómico creciente (Moseley, 1914)^[8]

BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Román Polo, *Mendeléiev: el profeta del orden químico*, 2.ª edición, Nivola libros y ediciones S. L., Tres Cantos, Madrid, 2008.
- [2] E. V. Babaev, D. Mendeleev: A short CV, and a story of life, bit.ly/2TBhp1V, visitada el 26/03/2019.
- [3] N. Tarasova, A good beginning makes a good ending, *Chem. Int.*, **2018**, 40(2), 2-4.
- [4] P. Román Polo, El sesquicentenario del Primer Congreso Internacional de Químicos, *An. Quím.*, **2010**, 106(3), 231-239.
- [5] D. Mendeleev, Sobre la relación de las propiedades de los elementos con sus pesos atómicos (en ruso), *Zhurnal*, **1869**, 1(2-3), 60-67.
- [6] J. Elguero Bertolini, P. Goya Laza, P. Román Polo, *La tabla periódica de los elementos químicos*, Los Libros de la Catarata, CSIC, Madrid, 2019.
- [7] E. R. Scerri, *The periodic table. A very short introduction*, Oxford University Press, Oxford, 2011.
- [8] H. G. W. Moseley, LXXX, The high-frequency spectra of the elements, Part II, *Philos. Mag.*, **1914**, 27(160), 703-713.

PASCUAL ROMÁN POLO
Sección Territorial del País Vasco de la RSEQ
Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea
Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País
pascual.roman@ehu.es