



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA**

**HISTORIA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS DE
1860 A LA ACTUALIDAD**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICO DE ALIMENTOS**

**PRESENTA:
LUIS ALEJANDRO ORTIZ RAMOS**

ASESOR: DR PLINIO JESÚS SOSA FERNÁNDEZ



Ciudad Universitaria, CD. MX. 2021.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Índice

I. Introducción	4
II. La Tabla Periódica de los Elementos Químicos	5
III. Historia de los elementos químicos de 1860 a la actualidad.	13
1860: Cesio (Cs)	13
1861: Rubidio (Rb)	15
1861: Talio (Tl)	18
1863: Indio (In)	21
1868: Helio (He)	22
1875: Galio (Ga)	25
1878: Holmio (Ho)	27
1878: Iterbio (Yb)	28
1879: Escandio (Sc)	29
1879: Tulio (Tm)	31
1879: Samario (Sm)	32
1880: Gadolinio (Gd)	34
1885: Praseodimio (Pr)	35
1885: Neodimio (Nd)	37
1886: Germanio (Ge)	39
1886: Flúor (F)	41
1886: Disproso (Dy)	44
1894: Argón (Ar)	45
1898: Kriptón (Kr)	47
1898: Neón (Ne)	48
1898: Xenón (Xe)	50
1898: Polonio (Po)	52
1898: Radio (Ra)	54
1899: Actinio (Ac)	56
1900: Radón (Rn)	56
1890: Europio (Eu)	58
1907: Lutecio (Lu)	59
1917: Protactinio (Pa)	60
1923: Hafnio (Hf)	62
1925: Renio (Re)	64

1937: Tecnecio (Tc)	65
1939: Francio (Fr)	68
1940: Neptunio (Np)	69
1940: Astató (At)	70
1940: Plutonio (Pu)	71
1944: Curio (Cm)	76
1944: Americio (Am)	77
1944: Prometio (Pm)	78
1949: Berkelio (Bk)	80
1950: Californio (Cf)	80
1952: Einstenio (Es)	82
1952: Fermio (Fm)	83
1955: Mendelevio (Md)	83
1966: Nobelio (No)	83
1967: Laurencio (Lr)	85
1969: Rutherfordio (Rf)	85
1970: Dubnio. (Db)	86
1974: Seaborgio (Sg)	88
1981: Bohrio (Bh)	89
1982: Meitnerio (Mt)	91
1984: Hassio (Hs)	91
1994: Darmstatio (Ds)	92
1994: Roentgenio (Rg)	92
1996: Copernicio (Cn)	93
1998: Flerovio (Fl)	94
2000: Livermorio (Lv)	94
2002: Oganésón (Og)	95
2003: Moscovio (Mc)	96
2010: Teneso (Ts)	97
2015: Nihonio (Nh)	99
Conclusiones	100
Fuentes Consultadas	104

I. Introducción

El presente trabajo de investigación contiene una revisión bibliográfica sobre los elementos químicos que fueron descubiertos después de 1869, año en que Dimitri Mendeleev propuso su Tabla Periódica de los Elementos. Si bien, en principio puede parecer una propuesta poco original, la verdad es que, en el proceso de elección del tema de tesis, pude corroborar que la bibliografía que aborda el tema es poco didáctica para estudiantes que no tienen gran conocimiento sobre esta área, pese a que es de los primeros acercamientos a la Química.

Después de realizar una revisión bibliográfica, es notable observar que en los trabajos de investigación sobre la enseñanza de la Química en relación con los temas básicos, por lo menos con los que se relaciona el estudiante de educación media superior, no se tiene material que permita hacer más amigable el estudio de la Química en estos niveles formativos.

El tema por abordar será la Tabla Periódica; no sólo porque es de estudio obligatorio en el nivel de educación media superior, sino porque es el mejor ejemplo y conocimiento de cómo se convive con la Química a diario: por ejemplo, la manera en la que nos permite tener medios que curen enfermedades, o para que la tecnología siga desarrollándose como defensa a través de diversos dispositivos, como sería el caso de los rayos láser, entre muchas otras cosas con las que coexistimos día a día.

Hasta el día de hoy no se enseña la Tabla Periódica en la forma más didáctica, y por lo tanto, no resulta atrayente. En consecuencia, suele ser que se le conoce superficialmente para poder aprobar una o varias materias. Pero con el tiempo, es olvidada.

Ahora, ¿qué sucedería si, en general, se enseñase la Química de manera mucho más atrayente, más amable para el estudiante? Es posible que el resultado sería generar un interés genuino por la disciplina y no sólo la aprobación de la materia.

En este sentido, lo que este trabajo propone es un acercamiento a la Química de forma diferente a la “tradicional” de presentar los elementos químicos. Para ello se trabajó en una revisión monográfica, ya que no sólo se hace una actualización con la recopilación histórica (tratada a manera de una narración de eventos que han estado relacionados con el descubrimiento, utilización y resultados obtenidos de los elementos), que resulta ser mucho más atrayente que el sólo memorizar masas molares y el orden correspondiente de cada uno de los elementos dentro de la Tabla Periódica.

El orden que se sigue es cronológico, tal y cómo se fueron dando los descubrimientos de los distintos elementos. Como ejemplo, tenemos el caso de las Tierras Raras que se descubrieron en el mismo periodo y se encuentran presentes en el texto de manera secuencial, aunque pareciera que están ordenados sólo por ser parte del grupo de Tierras Raras.

II. La Tabla Periódica de los Elementos Químicos

A lo largo de los últimos siglos, principalmente los siglos XIX y XX, la historia de la Química Orgánica y la Inorgánica, se ha ido desarrollando de manera exponencial. Así, las primeras décadas del siglo pasado contemplaron una desesperante proliferación en el número de compuestos orgánicos, y también en el número de elementos.

El tercer cuarto del siglo XIX vio la puesta en orden del mundo de los compuestos orgánicos, gracias a las fórmulas estructurales de August Kekulé (1829–1896); también vio ordenado el mundo de los elementos, y al menos parte del mérito de ambos cambios se debió a una reunión internacional de químicos, celebrada en 1860.

La Tabla Periódica no siempre tuvo orden. En el siglo XVIII se descubrieron los metales cobalto, platino, níquel, manganeso, tungsteno, molibdeno, uranio, titanio y cromo. A la lista se añadieron, durante la primera década del siglo XIX, no menos

de catorce nuevos elementos, además de los nueve conocidos por los antiguos y los cuatro estudiados por los alquimistas medievales. Y aunque en las décadas sucesivas los descubrimientos no fueron tan numerosos, el número de elementos continuó en aumento.

Los elementos variaban extensamente en sus propiedades, y parecía existir poco orden entre ellos. ¿Por qué había tantos? Y ¿cuántos más quedaban por descubrir? La posibilidad iba de ningún otro más a un número infinito, por lo que resultaba atractivo buscar si existía algún orden en el conjunto de los elementos ya conocidos y de esta manera, tal vez encontrar alguna razón, patrón o fórmula que pudiera explicar su número, y con esto conocer la variación de las propiedades que poseían.

Los científicos pudieron observar, a través del modo en que los pesos atómicos* encajaban con las propiedades químicas entre los elementos. Aunque durante la primera mitad del siglo XIX, los pesos atómicos tendían a subestimarse, ya que si bien resultaban convenientes para hacer cálculos químicos, parecía no haber ninguna razón para usarlos en la confección de listas de elementos. De hecho, los pesos relativos que debían atribuirse a los diferentes átomos condujeron a desacuerdos sobre el número de átomos de cada elemento que había en una molécula dada. Por lo tanto, se propuso convocar a una conferencia de los más importantes químicos de Europa para discutir el asunto.

Así es que se celebró Primer Congreso Internacional de Química, que sería conocida como la primera reunión científica internacional de la historia. Se reunió en 1860, en la ciudad de Karlsruhe, en Alemania, donde asistieron ciento cuarenta delegados, y que tuvo como resultado, comprender la importancia de distinguir cuidadosamente el peso atómico del peso equivalente. A partir de entonces, se clarificó la cuestión del peso atómico y se apreció la importancia de la tabla de pesos atómicos de Jöns Jacob Berzelius (1779–1848), lo que dio como resultado que

*<https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/la-historia-la-tabla-periodica-17-febrero-1869/>

existiera un orden racional para acomodar los elementos según su peso atómico creciente, lo que llevó a los químicos tener que mirar de manera diferente la Tabla Periódica.

En 1863, el químico inglés John Alexander Reina Newlands (1837–1898) ordenó los elementos conocidos según sus pesos atómicos crecientes, y observó que este acomodo también colocaba las propiedades de los elementos en un orden, al menos parcial. De hecho, un año antes, el geólogo francés Alexandre Emile Béguyer de Chancourtois (1820–1886) también había ordenado los elementos según su peso atómico creciente y los había distribuido en una especie de gráfico cilíndrico. Los elementos semejantes tendían a coincidir en columnas verticales.

En 1864, Julius Lothar Meyer (1830–1895), al representar los volúmenes atómicos de los elementos en función de los pesos atómicos; se obtenían una serie de ondas que alcanzaban valores máximos en los metales alcalinos: sodio, potasio, rubidio y cesio. Cada descenso y subida a un máximo o mínimo correspondería a un período en la tabla de elementos. En cada período, también descendían y subían otras propiedades físicas, además del volumen atómico. Sin embargo, las dos ondas siguientes comprendían más de siete elementos, y no cumplía estrictamente con la Ley de las Octavas de Newlands que proponía siete elementos en cada fila horizontal, mientras que el trabajo de Lothar Meyer mostraba que los últimos períodos tenían que ser más largos que los primeros.

Este resultado llegó demasiado tarde puesto que Lothar Meyer publicó su trabajo en 1870. Un año antes, el químico ruso Dimitri Ivanovich Mendeléiev (1834–1907) había descubierto también el cambio en la longitud de los períodos de los elementos, pasando luego a demostrar las consecuencias de manera particularmente espectacular.

Ya que comenzó a estudiar la lista de elementos según su peso atómico creciente, atacó las cuestiones desde el punto de vista de la valencia y observó que los primeros elementos de la lista mostraban un cambio progresivo en sus valencias. Es decir, el

hidrógeno tenía una valencia de 1, el litio de 1, el berilio de 2, el boro de 3, el carbono de 4, el nitrógeno de 3, el azufre de 2, el flúor de 1, el sodio de 1, el magnesio de 2, el aluminio de 3, el silicio de 4, el fósforo de 3, el oxígeno de 2, el cloro de 1, y así sucesivamente. La valencia subía y bajaba estableciendo períodos: en primer lugar, el hidrógeno solo; después, dos períodos de siete elementos cada uno; a continuación, períodos que contenían más de siete elementos. Mendeléiev utilizó su información para construir no un gráfico, como Meyer sino una tabla.

Mendeléiev publicó su tabla en 1869, un año antes de que Meyer publicase su trabajo. Pero la razón de que se le haya atribuido a él la mayor parte del mérito en el descubrimiento de la tabla periódica y no a los demás contribuyentes, no es sólo una cuestión de prioridad, sino que reside en el uso espectacular que hizo de su tabla.

Con el fin de que los elementos cumplieren la condición de tener la misma valencia cuando estuviesen en una columna determinada, se vio obligado en uno o dos casos a colocar un elemento de peso atómico ligeramente superior delante de otro de peso atómico inferior; con esto descubrió que era necesario dejar huecos enteros en su tabla. En lugar de considerar estos huecos como imperfecciones de la tabla, Mendeléiev los tomó intrépidamente como representantes de elementos todavía no descubiertos.

Llegó incluso a dar nombres a los elementos desconocidos, que –insistió– correspondían a aquellos huecos: eka–boro, eka–aluminio, eka–silicio (“eka” es la palabra sánscrita que significa «uno»); también predijo varias propiedades de tales elementos, estimando que la predicción debía hacerse a partir de las propiedades de los elementos situados encima y debajo de los huecos de la tabla.

En la identificación de nuevos elementos, jugó un papel central un nuevo invento de la época: el espectroscopio. En 1814, un óptico alemán, Joseph Von Fraunhofer (1787–1826), estaba experimentando los excelentes prismas que él mismo fabricaba. Hacía que la luz pasase primero a través de una rendija, y a continuación a través

de sus prismas triangulares de vidrio. Halló que la luz formaba un espectro de colores, cruzado por una serie de líneas oscuras. Contó unas seiscientas de estas líneas, anotando cuidadosamente sus posiciones. Las líneas estaban destinadas a proporcionar una sorprendente información a finales de la década de 1850, gracias al físico alemán Gustav Robert Kirchhoff (1824– 1887), que trabajó en colaboración con el químico alemán Robert Wilhelm Bunsen (1811 –1899).

La fuente básica de luz que usaban era el mechero Bunsen, inventado por Bunsen y conocido desde entonces por cualquier estudiante que se inicia en el laboratorio químico. Este dispositivo quema una mezcla de gas y aire para producir una llama caliente y escasamente luminosa. Cuando Kirchhoff colocó cristales de diversos compuestos en la llama, ardieron con luz de diferentes colores. Al pasar esta luz a través del prisma, se separaba en líneas luminosas. Cada elemento, mostró Kirchhoff, produce un modelo característico de líneas luminosas cuando se calienta hasta la incandescencia, y es diferente a cualquier otro elemento. Kirchhoff había inventado así, un método de obtener la “huella dactilar” de cada elemento por la luz que producía al calentarlo.

Una vez que los elementos fueron identificados, pudo dar la vuelta a su razonamiento y deducir los elementos de un cristal desconocido a partir de las líneas brillantes del espectro producido por éste. El instrumento utilizado para analizar los elementos de esta manera se llamó espectroscopio.

Como sabemos en la actualidad, la luz se produce como resultado de ciertos fenómenos que ocurren dentro del átomo. En cada tipo de átomo, este fenómeno se da de un modo particular. De ahí que el espectroscopio resultó ideal para mostrar que el Sol (así como las estrellas y el material gaseoso interestelar) estaba formado por elementos idénticos a los de la Tierra. De igual manera, el espectroscopio ofrecía un nuevo y poderoso método para la detección de nuevos elementos.

Otros químicos empezaron a hacer uso de esta nueva herramienta. Uno de ellos fue el químico francés Paul Emile Lecoq de Boisbaudran (1838–1912), que pasó quince

años estudiando los minerales de su Pirineo natal por medio del espectroscopio. Pero esta no fue la única predicción de Mendeléiev corroborada. Dentro de los quince años siguientes, todos los elementos que hasta ese entonces habían sido descubiertos confirmaron que sus descripciones coincidían con asombrosa exactitud. Nadie podía dudar, después de esto, de la validez y utilidad de la tabla periódica*.

Los minerales de tierras raras se analizaron a mediados del siglo XIX y se averiguó que contenían todo un grupo de elementos: los llamados tierras raras. Cuando el químico francés Georges Urbain (1872–1938) descubrió la tierra rara lutecio (se habían descubierto ya un total de catorce de tales elementos), observó que las tierras raras poseían propiedades químicas muy similares, y todas tenían una valencia que cabría suponer que deberían entrar en una única columna de la tabla periódica.

Pero tal ordenamiento era imposible. Ninguna columna era suficientemente larga para contener catorce elementos. Además, las catorce tierras raras tenían pesos atómicos muy próximos. Sobre la base de los pesos atómicos, todas ellas debían colocarse en una sola fila horizontal, en un solo período. Podía hacerse sitio para ellas en el sexto período, que era más largo que el cuarto y el quinto, igual que éstos eran más largos que el segundo y el tercero. No obstante, la similitud en propiedades de las tierras raras permaneció sin explicar hasta 1920.

Había otro grupo de elementos cuya existencia era completamente inesperada en tiempo de Mendeléiev, y que no causaron tantos problemas. En realidad, encajaron perfectamente en la tabla periódica. El conocimiento relativo a ellos llegó con el trabajo del físico inglés John William Strutt, también conocido como lord Rayleigh (1842–1919), quien en 1880 medía con gran cuidado los pesos atómicos del oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. En el caso del nitrógeno halló que el peso atómico variaba con la fuente del gas. El nitrógeno del aire parecía tener un peso atómico ligeramente más alto que el nitrógeno de los compuestos del suelo.

* La propuesta de Mendeléiev tuvo limitaciones como: No estaban los gases nobles, grupo de los metales platino y lantanoides.

Un químico escocés, William Ramsay (1852–1916), se interesó en este problema y recordó que Henry Cavendish (1731–1810), en un experimento olvidado hacía mucho, había tratado de combinar el nitrógeno del aire con el oxígeno. Halló que al final se liberaban unas burbujas de un gas que no podía combinarse con el oxígeno en ninguna circunstancia. Esas burbujas finales podrían no haber sido nitrógeno. ¿Sería que el nitrógeno, tal como se extrae normalmente del aire, contiene otro gas levemente más denso a modo de impureza, y que fuese ese gas el que hacía que el nitrógeno del aire pareciese un poco más pesado de lo que cabría esperar? En 1894, Ramsay repitió el experimento de Cavendish y aplicó unos instrumentos analíticos que éste no poseía. Calentó las burbujas finales del gas que no podía reaccionar, y estudió las líneas luminosas de su espectro.

Las líneas más fuertes estaban en posiciones que coincidían con las de un elemento desconocido. Se trataba en consecuencia de un nuevo gas, más denso que el nitrógeno, que constituía alrededor del uno por ciento del volumen de la atmósfera. Era químicamente inerte y no se le podía hacer reaccionar con ningún otro elemento, así que fue denominado argón, de la palabra griega que significa “inerte”.

El argón resultó tener un peso atómico justo por debajo de 40; esto significaba que debía encajar en alguna parte de la tabla periódica hacia la región de los siguientes elementos: azufre (peso atómico 32), cloro (peso atómico 35.5), potasio (peso atómico 39) y calcio (peso atómico justo por encima de 40). Si el peso atómico del argón fuese la sola condición para tener en cuenta, el nuevo elemento debería haber ido entre el potasio y el calcio.

Pero Mendeléiev había establecido el principio de que la valencia era más importante que el peso atómico, ya que el argón no se combinaba con ningún elemento. Podía decirse que tenía una valencia de 0. ¿Cómo encajar esto? La valencia del azufre es 2, la del cloro 1, la del potasio 1, y la del calcio 2. La progresión de la valencia en esa región de la tabla periódica es 2,1,1,2. Una valencia de 0 encajaría claramente entre los dos unos: 2,1,0,1,2. Por tanto, el argón no podía

existir solo. Tenía que haber una familia de gases inertes, cada uno de ellos con una valencia de 0. Tal familia encajaría limpiamente entre la columna que contiene los halógenos (cloro, bromo, etcétera), y la de los metales alcalinos (sodio, potasio, etc.), todos ellos con una valencia de 1.

Ramsay empezó a investigar, y en 1895 supo que en los Estados Unidos se habían obtenido muestras de un gas (que se había tomado por nitrógeno) a partir de un mineral de uranio. Ramsay repitió el trabajo y halló que el gas, examinado al espectroscopio, mostraba líneas que no pertenecían ni al nitrógeno ni al argón. Lo más sorprendente era que, en lugar de ellos, se trataba de las líneas que había observado en el espectro solar el astrónomo francés Pierre Jules César Janssen (1824–1907), durante un eclipse solar ocurrido en 1868. En aquel entonces, el astrónomo inglés Joseph Norman Lockyer (1836–1920), las había atribuido a un nuevo elemento que denominó helio, que en griego significa Sol.

En aquel tiempo, los químicos habían prestado poca atención al descubrimiento de un elemento desconocido en el Sol y basado en una prueba tan frágil como la espectroscopia. Pero el trabajo de Ramsay demostró que ese mismo elemento existía en la Tierra, y mantuvo el nombre dado por Lockyer. El helio es el más ligero de los gases nobles, y después del hidrógeno, el elemento de menor peso atómico; en 1898, Ramsay hirvió aire líquido buscando muestras de gases inertes, que él esperaba con la destilación fraccionada primero, y encontró tres, que llamó neón (“nuevo”), criptón (“oculto”) y xenón (“extranjero”).

Los gases inertes fueron considerados al principio como mera curiosidad, de interés solamente para químicos encerrados en su torre de marfil. Pero en investigaciones que comenzaron en 1910, el químico francés Georges Claude (1870– 1960) mostró que una corriente eléctrica, a través de ciertos gases como el neón, producía una luz suave y coloreada. Los tubos llenos con dicho gas podían moldearse formando las letras del alfabeto, palabras o dibujos. En la década de 1940, las bombillas de luz

incandescente de la celebrada Great White Way y otros centros de diversión semejantes de la ciudad de Nueva York, fueron reemplazadas por luces de neón.

III. Historia de los elementos químicos de 1860 a la actualidad.

1860: Cesio (Cs)

El origen del nombre viene de la palabra latina *caesius* que significa “cielo azul” o “azul cielo”, aludiendo a la línea espectroscópica de color azul que emite este elemento. Fue descubierto espectroscópicamente por Bunsen y Kirchhoff en 1860, en Alemania, en las muestras de agua mineral de Durkheim. Su identificación se basó en dos líneas brillantes de color azul que aparecían en el espectro. Las sales de cesio fueron aisladas por Bunsen precipitándolas del agua mineral, pero fue hasta 1862 cuando Setterberg lo aisló mediante electrólisis del cianuro de cesio fundido ¹.

Se puede utilizar para hacer un reloj de cesio, al calentar una placa de este metal y así se consiguen átomos de cesio en estado gaseoso. Los electrones tienen una propiedad, el espín, asociada con su movimiento angular intrínseco (probablemente parecido al movimiento de rotación de los cuerpos celestes). El espín electrónico solo puede darse en dos sentidos: en el de las manecillas del reloj o en el contrario a las manecillas del reloj. Como los electrones tienen carga eléctrica, al girar generan un campo magnético de una manera similar a como lo hacen las bobinas eléctricas. Es decir, los electrones son los imanes más pequeños de la naturaleza.

En el cesio, unos átomos tienen su último electrón con un espín y otros con el otro espín. Energéticamente, son absolutamente equivalentes. Sea un espín o sea el otro, ambos tienen la misma energía. Sin embargo, al aplicar un campo magnético externo, los electrones de todos los átomos se van a alinear con el campo magnético. Es decir, todos van a adquirir el mismo espín. Para voltearlos y hacer que adquieran el otro espín, el que está en contra del campo magnético externo, habría que proporcionar energía. Esto se puede hacer con radiación de microondas. Se escoge

una radiación cuyos fotones sean la cantidad exacta de energía para pasar de un espín al otro. Muchos electrones cambian de espín pero como están bajo el campo magnético externo se regresan inmediatamente al espín de más baja energía, liberando la misma cantidad de energía que habían absorbido. Estos fotones de microondas se pueden detectar con un sensor como el de una cámara fotográfica. Y cada “caída” de energía equivale a una oscilación² muy exacta que permite tener los relojes más precisos de la historia.

Por otra parte, existe el isótopo C-137 del cesio que no se halla en la naturaleza y debe ser “creado”. Es utilizado como parte de tratamientos médicos contra los tumores cancerosos, ya que es altamente radiactivo³. Por esta propiedad es utilizado en las industrias petrolera y militar, en diversos aparatos ópticos, en fabricación de vidrio y cerámica, y para construir los famosos relojes atómicos de precisión inaudita. De hecho, el átomo de cesio sirve, desde 1967, como patrón internacional para la medida del tiempo.

Cuando se refiere a alta radiactividad es posible pensar en algunas catástrofes nucleares, donde la radiactividad sigue presente al pasar de los años. Se mencionarán algunos de los accidentes más conocidos de esta clase, los cuales se produjeron por fisión nuclear.

El primero y más conocido es el accidente en Chernóbil (1986), donde –como en Fukushima (2011)– el cesio-137 sigue siendo uno de los isótopos perjudiciales con mayor presencia en ambas zonas, y el principal residuo radiactivo que queda después de más de 27 años.

En 1957, se desencadenó el accidente nuclear más grande en la historia del Reino Unido, denominado “Windscale Fire”, que ocurrió en las instalaciones de la Central Nuclear de Windscale. La central fue construida a partir del año 1947, con la finalidad de fabricar armas atómicas después de la Segunda Guerra Mundial. Hoy en día, estas instalaciones se encuentran en proceso de desmantelamiento, y forman parte de la nueva planta nuclear de Sellafield en Cumbria, Inglaterra.

El accidente fue producto de un incendio que se originó debido a que ciertas condiciones de diseño no fueron consideradas durante la operación del reactor, así como situaciones de interés que, antes del accidente, ya mostraban problemas durante la operación y que no fueron gestionadas adecuadamente, lo que finalmente se tradujo en un incendio, en cuyo comienzo, no hubo una respuesta oportuna y acertada por parte del personal de turno. Como resultado, se produjo la liberación de ciertos radioisótopos contaminantes en cantidades muy acotadas.

Comparando sus consecuencias con las de otros accidentes de gran connotación pública como Chernobyl y Fukushima, aquellas fueron muy limitadas y no provocaron inconvenientes mayores para la salud de las personas, pues ni siquiera hubo evacuación masiva de ciudadanos desde sus lugares de residencia. No se realizó ningún tipo de evaluación de las ciudades o poblados vecinos, y sólo se temió una contaminación de la leche, lo cual involucró la eliminación de ésta en un área de 500 km² alrededor de la planta. Sin embargo, con el paso del tiempo se han observado algunas pequeñas trazas radioactivas en el mar de Irlanda, frente al reactor, en donde destacan los isótopos Cesio-144, Cesio-141, Rutenio-130, Rutenio-106, Cesio-137, Zirconio-95 y Sodio-95⁴.

El “accidente de Goiânia”, sucedido en Brasil en 1987, donde dos hombres robaron una unidad de radioterapia (que contenía ¹³⁷Cs) de un centro médico privado en desuso, extrayendo la cápsula del isótopo de su carcasa de protección y dedicándose después a jugar con él con su familia, amigos y los clientes de la chatarrería en la que trabajaba. El resultado fue cuatro muertos y doscientos cuarenta y nueve heridos, además de tres médicos acusados de homicidio por negligencia⁵.

1861: Rubidio (Rb)

Su nombre se debe a la palabra latina *rubidius* que significa “rojo oscuro”, debido a la línea roja que emite al verse el elemento espectroscópicamente. Este elemento es muy reactivo, de color blanco plateado y blando al tacto. Se encuentra pocas veces en la naturaleza y se obtiene de la producción de litio⁶. El rubidio fue descubierto

espectroscópicamente en 1861, en Alemania, por Robert Wilhem Bunsen (1811–1899) y Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887), como una impureza en el mineral lepidolita (una forma de mica). Bunsen aisló sales de rubidio mediante precipitación del agua mineral de Durkheim, junto con sales de otros elementos alcalinos, las cuales fueron separadas, obteniendo el carbonato y el cloruro de rubidio.

Es curioso señalar que, según la *New World Encyclopedia*, había muy poca necesidad o uso de rubidio hasta la década de 1920, cuando se usaba casi exclusivamente en la investigación, reacciones químicas y aplicaciones electrónicas⁷.

En 2013, Adam Ghotbi, Andreas Kjær y Philip Hasbak, científicos médicos daneses, publicaron un artículo en la Sociedad Escandinava de Fisiología Clínica y Medicina Nuclear, donde se compara el uso del rubidio-82 –un isótopo radioactivo, como trazador utilizado en la tecnología PET– con otros métodos y trazadores elementales, por lo que se ha convertido en uno de los elementos más utilizados en los trazadores para estudios y procedimientos miocárdicos. Con una vida media de 75 segundos, se inyecta en el cuerpo y es utilizado por el sistema de imagenología para detectar tejido dañado y enfermedades cardíacas, produciendo una imagen de excelente calidad.

Un estudio similar publicado en 2016, en el *Journal of Nuclear Medicine*, por Jennifer Renaud *et al.*, todos ellos investigadores médicos canadienses, llegaron a las mismas conclusiones: que su uso en las tomografías por emisión de positrones “era exacto y preciso, con un rendimiento consistente entre las diferentes unidades y centros de imagenología”. El uso del rubidio-82 con fines médicos se remonta a 1954, según un estudio realizado en 2015 por Jean-François Chatal *et al.*, y la aprobación por parte de la FDA para usar rubidio-82 en tratamientos miocárdicos se realizó en 1989⁸.

Según un estudio realizado en 2015, publicado en *Science Advances*, por Ruth H. Zadik, *et al.*, un grupo de físicos y químicos de toda Europa y Asia, el rubidio se

introdujo en las “bolas de Bucky” (moléculas de carbono 60), reorganizando los átomos en una nueva estructura cristalina. La nueva estructura mostró una combinación de propiedades que incluyen aislamiento, superconductividad, propiedades metálicas y magnéticas y se le conoce como metal Jahn–Teller, en donde éste puede transformarse de un aislante en un conductor, al aplicar presión⁹.

Por otra parte, en 1960–1965 se presentó un reloj de rubidio bombeado ópticamente. Aunque la mayoría de los laboratorios instalan los estándares de frecuencia del cesio, en 1974 el programa Timation prueba los relojes de rubidio y las técnicas de disseminación del tiempo. Esta técnica, en vez de utilizar imanes, hace uso de un fenómeno conocido como bombeo óptico para seleccionar los niveles de energía de los átomos encargados de registrar la hora, y emplea un haz de luz para conseguir que todos los átomos del haz alcancen el estado deseado. Alfred Kastler, de la École Normal Supérieure de París, obtuvo por este trabajo el premio Nobel. Hoy en día, existen muchos relojes atómicos que utilizan átomos de rubidio bombeados de forma óptima en lugar de cesio¹⁰.

En 1995, los investigadores Eric A. Cornell y Carl E. Wieman enfriaron vapores de ^{87}Rb a 170 nano–Kelvin, descubriendo un nuevo estado de la materia: el condensado de Bose–Einstein. Se trata de un estado que se da en ciertos materiales (bosones) a temperaturas cercanas al cero absoluto, en los que una cantidad macroscópica de los bosones pasan al estado fundamental, es decir, los átomos ultra enfriados que comparten un estado cuántico común. En este punto, fenómenos cuánticos microscópicos se hacen aparentes macroscópicamente; los condensados de Bose–Einstein son muy prometedores para realizar computación cuántica¹¹.

En 1993, el último de los 24 satélites del GPS (Satélites de Posicionamiento Global) fue colocado en órbita, completando una red de satélites capaces de suministrar datos de posicionamiento para localizar cualquier cosa sobre la Tierra, donde quiera que se encuentre, en un radio de 30 metros. Esto es posible gracias a que llevan hasta cuatro relojes de cesio y rubidio, que se actualizan periódicamente desde una

estación terrestre en Colorado, y transmiten señales de sincronización y datos de posición¹².

1861: Talio (Tl)

Rama verde o *Thallos* es como se le conoce, en griego, al elemento talio (Tl), aludiendo con esto a la línea verde que muestra el elemento al ser descubierto espectroscópicamente. Aparece a los ojos de los científicos en 1861, en Inglaterra, a través de la espectrometría y un año después, el metal fue aislado por William Crookes (1832–1919) y Claude–Auguste Lamy (1820–1878). Aunque ellos esperaban aislar telurio tras eliminar el selenio de los subproductos de un ácido sulfúrico comercial, terminaron por encontrarse con este nuevo elemento¹³.

El talio ha tenido varios usos, pues es una potente neurotoxina. Se cree que es responsable de muchas muertes, ya sea de manera intencional o accidental. De hecho, ha sido llamado en alguna ocasión el “Veneno de Estado”, ya que fue el veneno favorito de Sadam Husein (1937–2006) para eliminar a sus opositores políticos durante el tiempo en que gobernó en Irak, ya que por sus propiedades, hacen efecto varios días después de haber sido ingerido.

Su medio hermano, Barzan al–Tikriti (1951–2007), creó la Unidad Médica de Venenos en la Facultad de Medicina de la Universidad de Bagdad en 1978. A finales de los años ochenta, empezaron a sucumbir al arma secreta de Sadam Husein los opositores que vivían en el extranjero. Por ejemplo, en Londres, con el caso de Abdullah Alí, un iraquí disidente que residía en esta ciudad desde 1980 y que, en 1988, cayó enfermo tras comer en un restaurante de Notting Hill Gate, junto con unos compatriotas que habían venido de Bagdad. Alí murió, pero otros oficiales iraquíes de alto rango que lograron escapar de Bagdad, tras caer en desgracia en 1992, llegaron a Londres y fueron diagnosticados a tiempo para salvarles la vida por intoxicación con talio.

Pero la idea no sólo la tuvo el régimen de Sadam Husein; también la CIA, ya que uno de los efectos secundarios más llamativos de la intoxicación por talio es la pérdida de pelo. Y éste era el efecto buscado por los agentes estadounidenses, quienes planearon poner sales de talio en los zapatos de Fidel Castro para hacerle perder el pelo de su emblemática barba. Aunque se llegaron a hacer pruebas con animales, la incursión en la isla para llevar a cabo el atentado con talio fracasó.

Otro ejemplo fue el atentado que no llegó a materializarse contra Nelson Mandela, durante su encarcelamiento en Poorsmoor (Robben Island) durante los últimos días del apartheid, en 1990. Los detalles del plan fueron revelados en Sudáfrica, en 2002, durante el juicio contra el doctor Wouter Basson, quien fue responsable de preparar venenos para atentar contra activistas negros y líderes del Congreso Nacional Africano, dentro del Project Coast. De acuerdo con las declaraciones de los testigos del proceso, los guardias que lo custodiaban en la prisión habían sido instruidos para añadir una gran dosis de talio a su medicación el día previo a su puesta en libertad¹⁴.

Graham Frederick Young es uno de los asesinos en serie británicos más renombrado por su método, ya que envenenó a casi una veintena de personas a lo largo de su carrera criminal; entre ellas a su madrastra y a dos compañeros de trabajo. En 1961, Young, con 14 años, era un aficionado a la química y especialmente a los venenos, con los que comenzó a experimentar en miembros de su propia familia; incluso llegó a enfermarse él mismo varias veces, ya que en ocasiones no recordaba las comidas en donde había añadido los compuestos tóxicos. Young empleaba indistintamente en sus fechorías tartrato de antimonio y potasio, acetato de talio e incluso atropina, comprados en la farmacia de su barrio, siendo el talio uno de los más utilizados por no despertar sospechas. Finalmente, Young confesó sus crímenes y acabó recluido en Broadmoor Hospital, un conocido centro de internamiento psiquiátrico, fundado en 1863 y situado en Berkshire, Inglaterra¹⁵.

Aunque es probable que la novela de Agatha Christie, *El misterio de Pale Horse*, pudo haber contribuido a su popularización en los 50, el talio contaba ya con varias víctimas. No obstante, la información contenida en la novela fue indispensable para salvar la vida de una niña de diecinueve meses que, en 1977, llegó a Londres, procedente de los Emiratos Árabes, afectada por una enfermedad desconocida. Una de las enfermeras que la atendía había leído poco antes la famosa novela, por lo que reconoció los síntomas descritos en la obra y dedujo acertadamente que la niña podría sufrir una intoxicación por talio, mismo que había ingerido de forma accidental, en la cocina de su casa, en forma de sulfato de talio y que sus padres empleaban como mata cucarachas. Dado que el uso de las sales de talio como raticida e insecticida estaba prohibido en Inglaterra, no ocurrían accidentes de este tipo y el personal sanitario no estaba familiarizado con los síntomas.

Otro caso relacionado con la intoxicación por talio, se dio a principios de los años ochenta, en la Guyana, donde centenares (y según algunas fuentes incluso miles) de personas, resultaron envenenadas, y al menos cuarenta y cuatro murieron. Todo ocurrió cuando la compañía de Guyana Sugar Corporation importó 500 kilos de sulfato de talio para matar las ratas que infectaban sus campos de caña de azúcar. Al poco tiempo, se empezó a diagnosticar un número creciente de envenenamientos por talio de origen desconocido, que pronto llegó a afectar a familias enteras.

Tras investigar las posibles formas por las que el talio pudo llegar al consumo humano, se descubrió que provenía de la leche de vaca que la población consumía. Los rumiantes se habían envenenado tras ingerir las melazas envenenadas que los responsables de las plantaciones de azúcar habían puesto en sus límites territoriales para que el ganado no entrara. Pero aún enfermas, las personas continuaron consumiendo la leche que contenía grandes cantidades del elemento.

El hecho de que el talio haga caer el pelo, como ya se mencionó, permitió que a principios del siglo XX se usará como medicamento contra la tiña e, incluso, en aplicaciones cosméticas en forma de crema depilatoria. En el caso de la tiña, no

mataba el hongo, pero éste moría cuando no tenía cuero cabelludo en el cual fijarse; así, al concluir el tratamiento, el pelo volvía a crecer de forma normal. Las dosis prescritas eran relativamente altas: 8 miligramos por kilo de peso, que equivale a 500 miligramos para una persona de unos 65 kilos, cantidad muy próxima a la dosis considerada mortal (800 miligramos). Por lo consiguiente, era común que los pacientes sufrieran efectos secundarios, como entumecimiento de brazos, piernas y molestias en el estómago y, en algunos casos, las dosis resultaron fatales.

Por otro lado, una crema que contenía 7% de acetato de talio fue muy popular en los años treinta como depilatorio. Un bote de 10 gramos contenía 700 miligramos de acetato de talio, dosis mortal para muchos suicidas que la ingirieron. Por todo esto, dejaron de venderse como productos cosméticos y farmacológicos en los países occidentales en los años cincuenta del siglo pasado, y su venta se prohibió en los setenta¹⁶.

1863: Indio (In)

Este metal fue descubierto en Alemania durante la Guerra Civil estadounidense. El origen del nombre proviene de la línea de color azul “índigo”, característica de este elemento en un espectro. Se identificó el elemento como un componente minoritario de la blenda de zinc. Más tarde lo obtuvieron como sustancia elemental¹⁷.

En la tranquila ciudad de Freiberg, dos químicos alemanes Ferdinand Reich (1799–1882) y Hieronymous Theodor Richter (1824–1898) apenas eran conscientes de estas hostilidades. Analizaron una muestra que contenía trazas de talio y observaron una línea espectral de color índigo. Pronto se enteraron de que habían descubierto un nuevo elemento.

El uso comercial del indio se disparó durante la Segunda Guerra Mundial, pues se le utilizó como revestimiento para cojinetes de motores de avión de combate, por lo que era un metal estratégico muy valorado. Pero en los años ochenta despertó interés el uso de fosfuros de indio semiconductores y películas delgadas de óxidos

de indio y estaño para el desarrollo de pantallas, debido a que el uso del indio permitió la obtención del color azul en diodos LED, que se había resistido durante años¹⁸, lo que ha llevado a que, en la actualidad, 50 % de su producción se utilice en las pantallas, por lo que se encuentra en pantallas táctiles, LCD, iPhones, etcétera¹⁹.

En 2007, el Servicio Geológico de Estados Unidos calculó que los depósitos, principalmente en Canadá, Rusia y China, se agotarán en el transcurso de las próximas dos décadas. Aunque la industria del indio disputa estas cifras, es de suma importancia que se adopten mecanismos de reciclaje de indio a partir de los desechos tecnológicos²⁰.

1868: Helio (He)

El helio se descubrió en el espectro de la corona solar durante un eclipse. De ahí que el origen del nombre provenga del griego *helios* (sol), y aunque la mayoría de los científicos no lo aceptaron hasta que se aisló en la Tierra, es el segundo elemento más abundante del universo por detrás del hidrógeno.

Su obtención se dio en 1868, cuando un astrónomo francés en Inglaterra, Pierre Janssen (1824–1907), descubrió, espectroscópicamente, una nueva línea amarilla durante un eclipse solar en la India. Otro astrónomo inglés, Joseph Norman Lockyer (1836–1920), confirmó que esa línea no pertenecía a ningún elemento conocido en la Tierra. Fue en 1895 cuando fue descubierto y aislado en la Tierra por William Ramsay (1852–1916), tratando cleveita (un mineral de uranio) con un ácido mineral. Simultáneamente, fue descubierto en Suecia por Per Teodor Cleve (1840–1905) y Nils Langlet²¹ (1868–1936). Para 1907, Ernest Rutherford (1871–1937) y Thomas Royds (1884–1935) mostraron que las partículas alfa son núcleos de helio. Y, en 1908, el físico alemán Heike Kamerlingh Onnes (1853–1926) produjo helio líquido enfriando el gas hasta 0.9 K, lo que le hizo merecedor del Premio Nobel. Más adelante, en 1926, su discípulo Willem Hendrik Keesom (1876–1956) logró solidificarlo por vez primera²².

Durante los primeros cientos de millones de años, el universo estuvo sumido en una oscuridad impenetrable. Las primeras estrellas se formaron unos 400 millones de años después del Big Bang, a partir del gas primordial: hidrógeno y helio originados por la misma explosión. Muchas de esas estrellas murieron en grandes explosiones, llamadas supernovas, que esparcieron por el espacio interestelar las primeras cantidades de los elementos químicos más pesados, y la semilla fructificó y dio origen a la vida que conocemos hoy en la Tierra. El material expulsado al espacio interestelar se mezcló con el gas primordial y sirvió para formar las estrellas de la siguiente generación que cumplieron su ciclo vital, y así hasta nuestros días. El sol, de hecho, se cree que es una estrella de tercera generación²³.

Cuando a Onnes, en 1911, se le ocurrió enfriar el mercurio hasta 4 grados Kelvin, usando desde luego helio líquido, encontró que su resistencia eléctrica se hacía cero; fenómeno que fue llamado superconductividad y actualmente se conocen muchos elementos y materiales compuestos que poseen tal propiedad. Un ejemplo es el Gran Colisionador de Hadrones en la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés). Se utilizan 96 toneladas de helio líquido para bajar y mantener la temperatura a 1.9 K en los electroimanes superconductores de neobio–titanio que mantienen circulando protones a velocidades cercanas a la de la luz. También se utiliza para refrigerar los imanes superconductores en los aparatos de resonancia magnética, entre muchas aplicaciones más.

En este estado de superfluidez, la viscosidad se hace exactamente cero y el helio puede trepar paredes como si fuera una lagartija atómica o escaparse por nano agujeros en el recipiente en que uno lo contenga. Resumiendo, si a un cilindro con gas helio (como el que usan los globeros), le bajamos la temperatura hasta casi llegar al cero absoluto, primero conseguiremos hacerlo líquido y luego superfluido. Y justo a la temperatura de 2.7° Kelvin (-270.45°C), llamado punto lambda, existe una transición de fase entre el estado líquido (un fluido normal) y el estado superfluido²⁴.

Resulta importante señalar que Estados Unidos es actualmente el mayor proveedor mundial de helio, con la mayor parte de lo almacenado cerca de Amarillo, Texas, en la Reserva Nacional de Helio, la cual por sí sola representa el 35 % de la oferta actual del mundo. De hecho, en 1925, se estableció como reserva estratégica para suministrar gas a aeronaves de Estados Unidos, y después de la Segunda Guerra Mundial, proporcionó un refrigerante para misiles y cohetes del ejército y la Nasa. Pero desde mediados de la década de los 90, gracias a la creciente demanda civil de helio en la fabricación de semiconductores y de los escáneres de MRI (Imagen por Resonancia Magnética, por sus siglas en inglés), entre otras cosas, Estados Unidos ha recuperado el costo del almacenamiento del gas vendiéndolo poco a poco en el mercado abierto. Pero a pesar de ello, el precio del helio se duplicó en los últimos 10 años.

El helio es tan importante que una escasez podría traer consecuencias severas. Por ejemplo, los fabricantes de semiconductores estadounidenses sabían que, bajo los términos de una ley de 1996, la reserva de helio de Estados Unidos estaba legalmente obligada a cerrar el grifo. Ante la posibilidad de que se suspendiera el suministro, fue tal el pánico en la industria de la informática y otras, que para evitar una crisis la nueva legislación fue incluida entre un puñado de propuestas aprobadas, a toda prisa, por el Congreso estadounidense, en la víspera del reciente cierre del gobierno de Estados Unidos²⁵.

Casi un tercio del helio utilizado en Estados Unidos, en 2011, fue empleado en criogenia, el estudio de las temperaturas muy bajas y sus efectos. Con este gas se enfrían objetos a una temperatura de hasta $-267\text{ }^{\circ}\text{C}$, una temperatura que no puede ser alcanzada por ningún otro elemento. El helio líquido se utiliza para refrigerar los equipos superconductores del Gran Colisionador de Hadrones (LHC). Este tipo de máquina puede ocupar muchos kilómetros y una gran cantidad del gas se utiliza para mantenerla operando. Afortunadamente, el colisionador es capaz de recobrar la mayor parte del helio y, de esta forma, los científicos necesitan reponer sólo una pequeña cantidad, que añaden anualmente²⁶.

1875: Galio (Ga)

Su nombre proviene de la palabra latina *Gallia*, que significa “Francia”, o quizás en honor al apellido de su descubridor, pues Lecoq significa “gallo” y la palabra latina correspondiente es “gallus”. El galio fue el primero de los elementos cuya existencia había predicho con anterioridad Mendeléiev, quien en 1871 dijo que este desconocido elemento debería ser similar al aluminio en sus propiedades y, por tanto, sugirió el nombre de “eka–aluminio”. Sus predicciones resultaron ser muy cercanas a la realidad. Fue descubierto espectroscópicamente por Lecoq de Boisbaudran (1838–1912), en 1875. En ese mismo año también lo obtuvo mediante electrólisis de una disolución de hidróxido de galio en potasa²⁷. En un artículo publicado en 1877, en *Annales de Chimie*, confesó que su búsqueda había comenzado 15 años antes, pero el material del que disponía no era el adecuado.

Al alearlo con otros metales en una pequeña proporción, el galio hace que la aleación disminuya su punto de fusión, y para eso se empleó durante décadas. Sin embargo, todo cambió en los 60, cuando se descubrieron las magníficas propiedades de un compuesto del galio como semiconductor. Así, el arseniuro de galio (GaAs), un material cerámico formado por una red de átomos de arsénico y de galio unidos covalentemente, resultó tener propiedades parecidas a las del silicio. Esta unión se debe a la estructura tipo diamante de los átomos del galio y arsénico, debido a que cada átomo de galio está enlazado con cuatro átomos de arsénico y cada átomo de arsénico está enlazado con cuatro átomos de galio.

El arseniuro de galio proporciona mayor movilidad a los electrones y resiste mejor los cambios de temperatura, lo que ayudó a que se empleara más y más como semiconductor en microondas, computadoras, satélites y teléfonos móviles. En la actualidad, alrededor del 98 % de la producción mundial de galio está destinada a este uso y tan sólo el 2 % restante se emplea en aleaciones para disminuir la temperatura de fusión de otros metales²⁸.

También en los 60 del siglo pasado, Nick Holonyak (1928–) inventó el primer LED que emitía luz visible. Los primeros dispositivos comerciales emitían radiación de colores rojo, amarillo y verde, así como radiación infrarroja. A lo largo de las cuatro décadas siguientes, estos dispositivos se utilizaron casi exclusivamente en aplicaciones domésticas, como calculadoras de bolsillo, teléfonos, relojes de pulsera y mandos a distancia de electrodomésticos.

Ya desde los 70, se intentó obtener LEDs que emitieran luz azul; utilizados junto con los emisores de luz verde y roja, permitirían obtener todo el abanico de colores, así como luz blanca. Esto se lograría a comienzos de los 90 del siglo pasado. La empresa Nichia Corporation los desarrolló y comercializó por primera vez, gracias al talento de Shuji Nakamura (1954–). Con ello, muy poco tiempo después se hizo realidad la obtención de luz blanca con LEDs, ahora conocidas como bombillas LED²⁹.

En el 2014, científicos del MIT en Melbourne, Australia, desarrollaron la primera bomba de metal líquido en el mundo: un nuevo microdispositivo sin partes mecánicas, energéticamente eficiente y fácil de reemplazar. El diseño único abre la posibilidad de explorar aplicaciones en tecnologías de microfluidos y de laboratorios-en-un-chip, con impactos en biomedicina (biosensores, análisis de sangre, etc.), así como en la producción de combustibles.

El diseño utiliza gotas de “galinstan” (una aleación líquida no tóxica de galio, indio y estaño), como el núcleo de un sistema de bombeo para inducir los flujos de líquido en los canales de bucle. Cuando la aleación se activa mediante la aplicación de un voltaje, la distribución de carga a lo largo de la superficie se altera; esto impulsa el líquido circundante sin mover la gota de galinstan a través del bucle. La bomba es altamente controlable, con el caudal ajustado simplemente mediante la alteración de la frecuencia, magnitud y forma de onda de la señal aplicada³⁰.

Debido a su demostrada toxicidad, los termómetros de mercurio fueron prohibidos en la Unión Europea en 2009. Desde entonces, los nuevos termómetros de galio han

ganado adeptos en el campo que dejó vacío la ausencia de termómetros de mercurio, ya que hay muchas personas que no se fían de la certeza de los termómetros digitales. Así, estos termómetros son hechos con una mezcla de galio, indio y estaño, que son totalmente ecológicos y amigables con el ambiente. Si se llegan a romper, sólo se debe recoger el contenido con un paño y desecharlo en la basura sin riesgos para la salud ni el medio ambiente³¹.

1878: *Holmio (Ho)*

El elemento toma su nombre de la ciudad originaria de sus descubridores, es decir, de la palabra latina *Holmia* que significa “Estocolmo”. En 1878, los químicos suizos Jacques-Louis. Soret (1827–1890) y Marc DelaFontaine (1837–1911) lo encontraron. Casi al mismo tiempo, Per Teodor Cleve (1840–1905) lo descubrió mientras estaba trabajando con óxido de erbio. El óxido de holmio (holmia) estaba presente como impureza del óxido de erbio. El holmia es un óxido de color amarillo. Cleve usó el mismo método que Carl Gustaf Mosander (1797–1858) aplicó para descubrir el lantano, el erbio y el terbio; buscó impurezas en los óxidos de otros metales de tierras raras. Empezó con erbia, el óxido de erbio (Er_2O_3), y eliminó todos los contaminantes conocidos.

Después de un mayor procesamiento, obtuvo dos nuevos materiales, uno marrón y otro rojo. Cleve llamó al material marrón *holmia* y al verde *thulia*. Holmia es el óxido del elemento holmio y thulia es el óxido del elemento tulio. Actualmente el holmio se obtiene principalmente a través de un proceso de intercambio iónico con la arena monacita, un mineral rico en metales de tierras raras que puede contener hasta un 0,05 % de holmio³².

Este elemento se encuentra en un láser llamado Láser Holmium. La emisión estimulada, proceso en que se basa el láser, fue descrita por Albert Einstein en 1917, pero no es hasta los 60 cuando se observó el primer proceso láser en un cristal de rubí. Según el medio que emplean, los láseres suelen denominarse de estado sólido, de gas, semiconductores o líquidos. Los posibles usos del láser son casi ilimitados,

convirtiéndose en una herramienta muy valiosa dentro de las ciencias biomédicas, gracias a los diversos efectos (fotovaporización, fotodisrupción, fotocoagulación o fotoestimulación) que provoca al interactuar con los tejidos.

El Holmium Yttrium Aluminum Garnet (Ho:YAG) es un láser sólido compuesto por holmio, dispuesto en el interior de un cristal YAG (granate de ytrio y aluminio), capaz de emitir un haz de luz con una longitud de onda de 2,150 nm. Se utiliza de forma pulsada y su mecanismo de acción es fototérmico. Es usado principalmente en urología para la patología benigna de próstata (incisión, ablación, resección y enucleación de la glándula prostática), así como para la litofragmentación intracorpórea, donde constituye el “gold standard” de la litotricia láser (al presentar un escaso efecto fotoacústico), por generar ondas de presión de baja amplitud, lo que reduce el daño mecánico sobre el uréter y el riñón. Es importante señalar que, aunque su producción por parte de la naturaleza sea estable, el proceso para extraerlo es muy arduo, por lo que de momento no resulta útil en otros aspectos de la industria³³.

1878: Iterbio (Yb)

El origen del nombre es en honor de la aldea de Ytterby en Suecia. Se obtuvo en el año de 1878 en Suiza. Resulta que Jean de Marignac (1817–1894) descubrió un nuevo compuesto, que denominó Iterbia, en la tierra llamada erbia (en aquel momento). En 1907 y 1908, George Urbain (1872–1938) y el químico austríaco Carl Auer Von Welsbach (1858–1929) separaron la Iterbia en dos componentes que denominaron neoiterbia y lutecia, ó aldebariano y casiopeo, respectivamente. Ahora se pueden identificar los elementos de esas dos tierras raras como el Iterbio y el Lutecio. El elemento (todavía con impurezas) fue preparado por Karl Klemm (1896–1985) y Bonner en 1937, mediante reducción de tricloruro de iterbio con potasio. Daane, Dennison y Spedding obtuvieron la sustancia elemental en 1953³⁴.

En 1909, la Comisión de la Masa Atómica, responsable en la atribución de nombres a los nuevos elementos químicos descubiertos, denominó al elemento 70 como

Iterbio y al elemento 71 como Lutecio. Tras reconocer los nombres puestos por Urbain, el neoiterbio fue denominado iterbio y hasta la década de 1950, en círculos científicos alemanes seguían denominando casiopeo al elemento lutecio, pese a que desde 1949 había oficialmente aceptado en el resto del mundo³⁵.

Las fibras de vidrio activadas con iones de tierras raras, comienza en los 60 con la invención de la fibra láser, es decir, una fibra óptica que puede implementarse para que tenga el funcionamiento de un láser. A partir de 1985, resurge el interés por el tema, al lograrse la fabricación de fibras láser que cumplen la función de un amplificador. Esto fue impulsado en gran medida por el perfeccionamiento en la elaboración de fibras de vidrio y la disponibilidad de láseres tipo diodo de alta potencia y confiabilidad que se utilizan como fuente de bombeo.

Los láseres de fibra activadas con iones de tierras raras (por ejemplo, el iterbio Yb), así como otros dispositivos basados en estas fibras, han tenido mucho éxito debido a su alta estabilidad, su tamaño compacto, pequeño volumen y peso, eficiente disipación de calor (por la relación existente entre el área de su superficie y el volumen) y excelente calidad del haz emitido, permitiendo con ello una variedad de usos. Estos láseres presentan ventajas superiores sobre los de tipo “bulk”, porque su gran longitud de medio activo absorbe, de manera más eficiente, el bombeo y presentan una longitud de ganancia más grande; lo que permite una superposición total de los haces (bombeo señal láser), atributos que los hacen altamente eficientes³⁶.

1879: Escandio (Sc)

El origen del nombre proviene de la palabra latina *Scandia*, que significa “Escandinavia”, en honor al lugar donde fue encontrado el elemento³⁷. Fue descubierto por Lars Fredrick Nilson (1840–1899), en 1879, en el pueblo sueco Uppsala. Nilson se encontraba haciendo una serie de estudios de los elementos de tierras raras. Parte del método de Nilson requería la preparación de óxido de erbio a partir de los minerales, que luego hacía reaccionar para formar nitrato de erbio.

En el procedimiento aplicó calor al nitrato y descubrió que su muestra contenía pequeñas cantidades de un elemento desconocido, con un peso atómico bastante bajo, demostrando así la existencia de un nuevo elemento que se encuentra en los minerales raros que hay en ese lugar.

Mendeléiev, inventor de la tabla periódica, predijo su existencia al igual que con otros elementos, así como sus propiedades, al que llamó originalmente “ekaboron” y mencionó que su composición sería similar a la del boro. Nilson sugirió que el nuevo elemento descubierto era el mismo que el elemento que había sido propuesto y descrito por el famoso inventor³⁸.

En 1937, se aisló por vez primera como sustancia elemental por electrólisis de una solución eutéctica de potasio, litio y cloruros de escandio a 700–800 °C, empleando como electrodos: un filamento de wolframio y un baño de cinc líquido en un crisol de grafito. La primera libra de escandio del 99 % de pureza se fabricó en 1960³⁹. De los elementos raros, el escandio es el octavo más abundante. Se muestra como un metal plateado blanquecino que se extrae de la corteza terrestre; es un potente refinador de grano que, al añadirse a aleaciones de aluminio, aumenta la resistencia y durabilidad del metal en un 50 %. Estas propiedades se obtienen “enderezando” los granos de la aleación, consiguiendo que el metal sea menos susceptible al fracaso.

Durante la Guerra Fría, los rusos fueron los primeros en utilizar este elemento en la construcción de aletas de dirección para misiles, ya que las aleaciones de escandio resistían a fuerzas increíbles sin sufrir daño alguno; incluso, cuando lanzaban los misiles a través del casquete glaciar polar, estas aleaciones se convirtieron en un punto fuerte de los aviones de construcción, puesto que les proporcionaban increíble peso, manejabilidad y ventajas de alcance⁴⁰.

En 2008, se alcanzaba a leer entre las aplicaciones del escandio, que éstas eran escasas y se limitaban a la gran dureza que se consigue al preparar aleaciones escandio–aluminio o a su uso en lámparas. Pero desde 2012, la diversidad en sus aplicaciones va en aumento y va creciendo la necesidad de contar con estrategias

para obtener escandio de manera más eficiente. Los estudios actuales se enfocan en mejorar las técnicas para su recuperación de las minas, en donde se obtiene como derivado de la extracción de otros metales de las tierras raras.

Aunque el escandio no forma parte de la bioquímica de los sistemas biológicos, hay evidencia de que interactúa con algunas biomoléculas como el ADN y proteínas como la ferritina, por lo que puede presentar cierta toxicidad. A la fecha, no se ha descrito un efecto tóxico in vivo. A nivel de ingeniería de tejidos, se habla de su posible uso para el diseño de matrices biocompatibles que permitan el crecimiento de células en la regeneración de tejidos⁴¹.

1879: Tulio (Tm)

Su nombre procede de *Thule*, antiguo nombre latino para Escandinavia, lugar de su descubrimiento⁴². Fue encontrado por el químico sueco Per Teodor Cleve en 1879 mientras buscaba impurezas en los óxidos de otros elementos de tierras raras (este es el mismo método que Carl Gustaf Mosander usó anteriormente para descubrir otros elementos de tierras raras). Cleve empezó eliminando todos los contaminantes conocidos de la erbia (Er_2O_3). Por procesamiento adicional obtuvo dos sustancias nuevas; una marrón y otra verde. La sustancia marrón resultó ser el óxido del elemento holmio y fue llamado holmia por Cleve. La sustancia verde era el óxido de un elemento desconocido. El científico llamó al óxido tulia y a su elemento tulio en honor a Thule, el antiguo nombre romano de un mítico país en el lejano norte, quizás Escandinavia⁴³.

En cualquier caso, no fue sino hasta 1950 que se obtuvo por vez primera como sustancia elemental, pues durante la II Guerra Mundial se avanzó en las aplicaciones de estos minerales. Desde entonces, la utilización de las tierras raras —denominadas así porque en un principio los minerales que las contenían eran muy escasos y, además, todos ellos había que buscarlos* en Escandinavia—, se ha

* Actualmente se pueden encontrar en fuentes naturales de minerales como monacita y gadolinita.

multiplicado exponencialmente, principalmente en medicina y todo tipo de procesos industriales y desarrollos tecnológicos.

Por ejemplo, el cerio aún se usa en cremas para el tratamiento de quemaduras y como catalizadores; mientras que el escandio forma parte de aleaciones empleadas para fabricar componentes de la industria aeroespacial. Uno de los elementos menos abundantes es el tulio, demandado como fuente de radiación en equipos de rayos X portátiles y láseres de estado sólido; el neodimio, el holmio y el disprosio son necesarios en algunos tipos de cristales de láser. Igualmente han sido exitosos los antiinflamatorios basados en compuestos con samario y, en general, son varias las tierras raras utilizadas en la fabricación de teléfonos móviles, computadoras, baterías, imanes y electrodomésticos⁴⁴.

El láser tulio es un nuevo láser quirúrgico que fue utilizado por primera vez en la práctica clínica en 2005, en operaciones de próstata, con opción de modalidad de onda continua o de pulsos, variando en su longitud de onda de 1.75 a 2.22 μm , lo que ofrece algunas ventajas sobre el láser holmio, incluyendo una mejor calidad del haz, una incisión más precisa y la opción de operar en modo de onda continua o en pulsos, logrando una mejor coagulación y vaporización del tejido prostático, permitiendo remover casi completamente el adenoma prostático. Se trata de una técnica eficaz y segura para el manejo quirúrgico de próstatas con grandes volúmenes, con menores comorbilidades y riesgo de sangrado que la prostatectomía abierta⁴⁵.

1879: Samario (Sm)

El nombre de este mineral se debe al oficial de minas ruso, coronel Vasili Samarski–Bykhovets (1803–1870). Éste fue el primer elemento químico, cuyo nombre se originó en honor al apellido de una persona, y al mineral donde se le encontró se le llamó *Samarskita*. El samario fue descubierto espectroscópicamente en Francia, en 1853, por Jean Charles Galissard de Marignac (1817–1894). Debido a sus intensas líneas de absorción, fue localizado en una “tierra” llamada: didimia. El elemento fue

aislado del mineral samarskita en 1879 por Lecoq de Boisbaudran⁴⁶, quien facilitó las primeras porciones de este mineral en el siglo XIX, extraídas de los Montes Urales⁴⁷.

Los trabajos de simplificación de este sistema finalizaron cuando en 1901 Eugene Demarçay (1852–1904) logró la identificación definitiva de un nuevo elemento, presente en las muestras de samario, y al que llamó europio. Para ello, realizó una serie de experiencias de cristalización fraccionada, utilizando el nitrato doble de magnesio y samario. Demarçay fue uno de los más expertos espectroscopistas franceses, cuya fama se extendió por todo el continente europeo, y quien ya había colaborado en forma eficiente y valiosa con los esposos Curie durante sus estudios con el radio y el polonio.

En 1902, el químico Bohuslav Brauner (1855–1935) sugirió que, entre los elementos neodimio y samario podría haber otro elemento todavía no identificado; suposición que fue confirmada en 1914 por Henry Moseley (1887–1915), quien, habiendo determinado los números atómicos de todos los elementos entonces conocidos, encontró que no había ningún elemento de $Z=61$.

Esto impulsó la búsqueda del elemento faltante en la naturaleza. Así, varios grupos de investigadores se dedicaron a realizar trabajos de purificación de los lantánidos. Entre éstos, un grupo italiano creyó haber encontrado el elemento faltante y lo denominó florencio. Poco después, ocurrió lo mismo con un grupo estadounidense, quien denominó al nuevo elemento illinio⁴⁸.

Estos son imanes del grupo de las tierras raras que, al igual que los imanes de neodimio, fueron los primeros del grupo en ser utilizados por la industria. Ya en los 70 eran fabricados por sinterizado y formados por la aleación de samario y cobalto. Según el número de átomos de cada elemento, tenemos dos grandes grupos: SmCo_5 y $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$, que nos darán diferentes características magnéticas y rangos de temperatura que van desde los 200 °C a los 350 °C.

Son imanes que tienen un muy buen comportamiento frente a la corrosión, así como una curva magnética muy estable gracias a su elevada temperatura de Curie (T_c); tienen valores coercitivos muy buenos (H_c), con lo que resultan muy resistentes a la desmagnetización. Suelen usarse, al igual que los imanes de neodimio, en muchas aplicaciones. Su gran ventaja radica en sus altos valores en el producto de energía (BH) y su capacidad para soportar altas temperaturas. Así pues, se usan en sensores de hornos o detectores en calderas, motores eléctricos y sobre todo en aplicaciones donde se requiera una curva magnética estable frente a las variaciones de temperatura⁴⁹.

1880: Gadolinio (Gd)

Su nombre es en honor al químico finlandés Johan Gadolin (1760–1852), y proviene del mineral del que se obtiene la gadolinita. Fue observado espectroscópicamente por Marignac, en 1880, en unas muestras de didimia y gadolinita. La gadolinia, óxido de gadolinio, fue separada por Lecoq de Biosbaudran en 1886, pero la sustancia elemental se obtuvo apenas hace poco tiempo. Se encuentra en otros minerales como la monacita y la bastnäsita, que son las dos fuentes comerciales importantes⁵⁰.

La evidencia espectroscópica de la existencia del gadolinio fue observada por primera vez, en los minerales didimio y gadolinita en 1880, por el químico suizo Jean Charles Galissard de Marignac. Actualmente, el gadolinio es principalmente obtenido de los minerales monacita y bastnasita.

En 1919, se hizo el primer uso del contraste endovenoso y, diez años después, alcanzó su gran desarrollo, introduciéndose con los contrastes yodados, a los que se les aumentó su hidrosolubilidad en 1968. Los medios de contraste con base en el gadolinio (Gd) fueron aprobados para su administración parenteral desde 1988 en Estados Unidos, con una eficacia similar para todos los compuestos; son muy bien tolerados por la gran mayoría de los pacientes a los que se les administra, siendo las reacciones adversas excepcionales.

Muchos son los compuestos con base en el gadolinio. Recientemente, la FDA aprobó el Dotarem (gadoterato de meglumina), hasta el momento el primer y único medio de contraste macrocíclico e iónico basado en gadolinio de los Estados Unidos y que se comercializa ampliamente en todo el mundo desde 1989, con más de 37 millones de dosis administradas a similares dosis y seguridad. El preparado más utilizado y con buenos resultados es el gadopentetato de dimeglumina [Gd-DTPA], una dosis aprobada de 0.2 mL (0.1 mol)/kg de peso corporal. En casos especiales, como en lesiones con escasa vascularización o poco espacio extracelular, puede ser necesario administrar 0.4 mL (0.2 mmol)/kg de peso corporal para obtener un contraste adecuado⁵¹.

1885: Praseodimio (Pr)

El origen del nombre del elemento proviene del griego antiguo *prasinus* (πράσινος), que tiene como significado verde, y *didímeos* (δίδυμος), que significa “gemelo verde”. Esto se debe a que el praseodimio y el neodimio se encontraron juntos y, por eso, se les llamó gemelos. A éste se le llamó verde por la coloración que adquiere en contacto con el aire, ya que forma una capa de óxido de color verde⁵².

En 1841, Carl Mosander (1797–1858) descubrió y anunció al mundo que había logrado encontrar un nuevo elemento conocido como didimio. Durante muchos años, fue aceptado como un nuevo elemento, pero a medida que pasaba el tiempo, algunos químicos creían que no era una sola sustancia o un solo elemento, pero no había forma alguna de probar sus teorías. Sin embargo, en 1885, un químico austriaco llamado Carl Auer Von Welsbach (1858–1929) cuestionó el descubrimiento de Mosander, pues encontró un método que le permitió dividir el didimio en dos elementos; también participó en este descubrimiento el mismo científico de origen sueco Carl Gustaf Mosander, quien logró extraer algunos residuos en 1841⁵³.

El praseodimio proviene del trabajo en las tierras raras que contienen elementos con propiedades tan similares que son extremadamente difíciles de separar entre sí. A partir de una muestra de nitrato de cerio crudo, Welsbach aisló un óxido que

llamó “lantana”, que era óxido de lantano, una fracción rosa a la que llamaba didimio⁵⁴.

Durante la Primera Guerra Mundial, se utilizó la mezcla de praseodimio y neodimio (es decir, el didimio) para enviar código Morse a las tropas en el campo de batalla, ya que el didimio no produce suficiente luz para que el enemigo pudiera ver, a menos que utilizara binoculares; esto permitía mantener a los soldados un poco más seguros que con otras formas de comunicación⁵⁵.

Durante la historia, se ha desarrollado toda una serie de pigmentos amarillos: pigmento de vanadio–circonio, de vanadio–estaño, amarillos de Cd, de antimonio de Pb, etc. Aquí, el pigmento de praseodimio–circón surge a partir de la necesidad de obtener un color amarillo limpio y brillante, características de las que carecían los pigmentos anteriormente mencionados, por lo que su desarrollo fue gracias al progreso y avance en la química de tierras raras. Mejorado entre 1950 y 1960, fue posible la obtención de óxido de praseodimio con niveles de rentabilidad aceptable.

Estos colores fueron descubiertos por Seabright. De los estudios realizados se desprendía la necesidad de utilizar mineralizadores para producir un color más intenso, aunque de manera limitada: más de un 5 % de óxido de praseodimio ya no producía un aumento⁵⁶.

Por otra parte, el didimio es un filtro que absorbe la luz de color amarillo brillante. Así las lentes hechas con este elemento protegen los ojos de un poco de luz visible y los rayos UV, como es el caso de los sopladores de vidrio que producen equipos de laboratorio, quienes suelen utilizar gafas de seguridad. También se usa en las gafas para proteger a los usuarios de una condición conocida como ojo de arco o resplandor del soldador.

1885: Neodimio (Nd)

El nombre del elemento tiene su origen en las palabras griegas *neos didymos*, que significan "nuevo gemelo". Esto se debe a que el praseodimio y el neodimio se encontraron juntos y por eso se les llamó gemelos; a este se le llamó nuevo, ya que al otro se le había dado el nombre de gemelo verde.

En 1841, Mosander extrajo de la tierra de cerita un óxido de color rosa que creyó que contenía un nuevo elemento. Lo nombró didimio, ya que era un gemelo inseparable del lantano. En 1885, Carl F. Auer Von Welsbach (1858–1929) en Viena separó el didimio en dos nuevos componentes elementales: neodimio y praseodimio, mediante fraccionamientos repetidos de nitrato de amonio y didimio. Sin embargo, la sustancia elemental como tal no fue aislada antes de 1925⁵⁷.

En los últimos años de los 20, el checo Ludwig Moser (1833–1916), propietario de la Cristalería Moser, investigó el uso del praseodimio en la coloración de cristales. El resultado fue un cristal de color verde amarillo, al cual se le nombró "Prasemit". El color no fue popular y se hicieron pocas piezas. Moser también mezcló praseodimio con neodimio para producir el cristal "Heliolite", que fue más ampliamente aceptado, por lo que fue también su primer uso comercial, el cual continúa hasta la fecha, en la forma de un tinte amarillo anaranjado para cerámica. Este tinte no tiene ningún indicio de verde⁵⁸.

Su principal propiedad, por la que es tan socorrido, es por su uso en la fabricación de láseres. De hecho, se preveía que hacia 2014 la demanda mundial superara las 200,000 toneladas anuales, acaparada por China⁵⁹. Así, el láser de neodimio, conocido como láser Nd–YAG (acrónimo del inglés neodymium–doped yttrium aluminium garnet), es uno de los tres tipos de láser más usados en el sector de la manufactura, junto con el de CO₂ y el de fibra.

Su utilidad fue demostrada, por primera vez, por el equipo de J. E. Geusic, en Bell Laboratories, en 1964. Como el láser de fibra –y a diferencia del de CO₂, que es de

gas-, el láser de neodimio es de estado sólido. En este caso, se trata de un tipo de cristal: el neodimio triplemente ionizado, Nd (III). Proporciona la actividad láser en el cristal, de la misma manera que el ion rojo de cromo en los láseres de rubí. Este puede funcionar en modo pulsado (lámparas de xenón) o continuo (lámparas de arco de tungsteno). Típicamente emiten luz con una longitud de onda de 1,064 nm, es decir, infrarroja, como la mayoría de los láseres.

Los láseres de neodimio son ampliamente utilizados en diferentes aplicaciones industriales y científicas, tanto en la biología, la medicina y la medicina estética, como en el tratamiento oftalmológico de la opacificación capsular tras cirugía de cataratas, o cirugías dentales como la gingivectomía. En la industria, se utiliza en tratamientos de superficie y mecanizados, como el corte y marcado de plásticos o metales, automoción y armamento⁶⁰.

En los 80, el desarrollo de imanes permanentes, de tierras raras de alta resistencia, creó un nuevo mercado para el elemento. Así, más de 70 toneladas métricas de imanes de Neodimio-Hierro-Boro (NdFeB) se producen cada año para su uso en todo tipo de vehículos y dispositivos, desde coches eléctricos hasta auriculares. En general, se utiliza en una amplia gama de aplicaciones tecnológicas modernas que requieren imanes permanentes⁶¹.

La invención del imán de neodimio generó gran interés como tecnología de imanes, dando un paso adelante para producir un nuevo material magnético, siendo actualmente el más fuerte disponible en el mercado actual, además de que su proceso de fabricación es también considerablemente más barato y muy rentable. Los nuevos grados de tolerancia a altas temperaturas de los imanes de neodimio están siendo creados y liberados de manera regular, lo que ofrece alta energía magnética y una buena estabilidad, haciéndolos la elección lógica para muchos

proyectos de electrónica e ingeniería, y se han convertido en el estándar de la industria* cuando se requiere tamaño, fuerza y eficiencia⁶².

1886: Germanio (Ge)

Su nombre proviene de la palabra latina *Germania*, que significaba Alemania. El germanio era un elemento cuya existencia también predijo Mendeléiev en 1871. Señaló que debería tener propiedades análogas al silicio y le llamó eka-silicio; finalmente fue obtenido por Clemens Winkler (1838–1904), del mineral argirodita⁶³.

El germanio pasó de la oscuridad más absoluta a una importancia radical en muy pocos años, en gran parte debido a la guerra que es un gran motivador de la especie humana. Así, uno de los avances tecnológicos más importantes de la Segunda Guerra Mundial, fue el RADAR (Radio Detection and Ranging, por sus siglas en inglés y Detección y Medición de Distancias por Radio, en español), mismo que luego perdió el carácter de acrónimo y ahora lo conocemos como radar. Para su construcción era necesaria la electrónica, y para la electrónica era necesario un semiconductor. El único disponible que podía emplearse como tal era el germanio. Entre 1940 y 1950, la producción mundial anual de germanio pasó de unos pocos kilos destinados a la investigación, a cuarenta toneladas.

Durante veinte años, entre 1945 y 1965, el germanio fue una materia prima esencial: casi todos los dispositivos electrónicos lo requerían, desde los radares a las primeras computadoras, o incluso los amplificadores de guitarra y las radios. Una limitación es la existencia del propio recurso y sigue siendo tan escaso que se recicla una gran parte de él⁶⁴.

El desarrollo de los transistores de germanio abrió la puerta a numerosas aplicaciones electrónicas que hoy son cotidianas. Pero, entre 1950 y 1970, la electrónica constituyó el grueso de la creciente demanda de germanio, hasta que

* Los lantánidos tienen numerosos usos en la electrónica de consumo y productos relacionados. Además, algunos lantánidos se han utilizado para acelerar algunas reacciones químicas.

empezó a sustituirse por el silicio debido a sus propiedades eléctricas superiores. Actualmente, gran parte del consumo se destina a fibra óptica (cerca de la mitad), equipos de visión nocturna y a catálisis en la polimerización de plásticos. Es posible que aumente su demanda al extender las aplicaciones electrónicas de las aleaciones Silicio–Germanio, especialmente en las telecomunicaciones sin cable⁶⁵.

En la segunda mitad del siglo XX, el producto germanio orgánico es revalorado por el investigador japonés Dr. Kazuhiko Asai, que lo llamó Germanio–132 (Ge–132). Consiguió sintetizarlo con la finalidad de intensificar el crecimiento de las plantas y también vigorizarlas. Posteriormente, científicos de varios países se suman al estudio del Germanio–132 y su repercusión en la salud humana. Se propuso la hipótesis que es útil en la lucha contra cáncer, por el hecho de que induce a la producción de interferón; proteína producida por el sistema inmunológico como respuesta a la presencia de agentes patógenos (virus, células cancerígenas, etc.). De hecho, el interferón recibe su nombre debido a la capacidad que tiene de interferir en la replicación de los virus en las células en las que se hospedan. En diferentes fases de ensayos clínicos, los resultados del Ge–132 mejoran el funcionamiento del interferón, así como de las células NK (natural killer)⁶⁶.

Una de las contribuciones de germanio a la cultura popular es en la creación de la caja de fuzz en los 60, un pedal de distorsión para guitarras eléctricas. El dispositivo se usaba para crear un tono que ayudó a obtener un sonido distintivo en el rock y canciones de la época, en una sala de conciertos con la misma facilidad que en un estudio de grabación⁶⁷.

En 2015, científicos del Centro de Investigación de Jülich (Alemania) y el Instituto Paul Scherrer (Suiza), en colaboración con otros centros europeos, presentaron el primer láser semiconductor compuesto por germanio (Ge) y estaño (Sn). Esto facilitó el avance en los chips de silicio (Si), sentando así las bases de una nueva forma de transmisión de datos en los chips de computadoras vía luz, transferencia que es más rápida que los cables de cobre y requiere menos energía⁶⁸.

1886: Flúor (F)

El origen del nombre viene de la palabra latina *fluere*, que significa "fluir" (porque puede hacerse fluir al calentarlo). Fue un elemento que se resistió mucho a ser aislado. Los químicos sabían dónde encontrarlo, pero resultaba muy difícil separarlo de sus compuestos por su gran reactividad química. Finalmente, en Francia de 1886, fue aislado por Henri Moissan (1852–1907), efectuando una electrólisis de una disolución de fluoruro potásico en ácido fluorhídrico anhidro líquido, para albergar el gas resultante, donde se empleó un recipiente de platino e iridio⁶⁹.

El uso de halocarburos que contienen flúor como refrigerantes se patentó en 1930. Estos compuestos estables y volátiles encontraron un mercado como propelentes de aerosoles, así como también en refrigeración y en sistemas de aire acondicionado. Sin embargo, el empleo de fluorocarburos como propelentes disminuyó en forma considerable a causa del posible daño a la capa de ozono de la atmósfera⁷⁰.

El descubrimiento del flúor y el proceso de intentar aislar este gas implicó muchas pérdidas humanas. Los científicos que trabajaban con él se intoxicaban con facilidad⁷¹. De hecho, debido a que cuando se separaba de alguno de sus compuestos, inmediatamente reaccionaba con otras sustancias, no se consiguió aislarlo hasta muchos años después. Esta característica ayudó a descubrir su utilidad como fundente, es decir, como sustancia utilizada para fundir metales o minerales juntos⁷².

Muchas redes de agua municipal añaden fluoruro al suministro de agua potable, un proceso conocido como la fluoración del agua. Los CDC consideraron que la fluoración del agua comunitaria fue uno de los 10 grandes logros de la salud pública del siglo XX. Según la American Dental Association (ADA), los estudios muestran que el fluoruro en las redes de agua comunitaria previene al menos el 25 por ciento de las caries dentales en niños y adultos, incluso en una época con amplia disponibilidad de flúor a través de otras fuentes, tales como la crema dental con fluoruro⁷³.

Pero esta historia que relaciona el flúor con los dientes lleva más tiempo. Comenzó en 1888, cuando un médico alemán J. Kuehns planteó la relación de las manchas en los dientes de los habitantes de la ciudad mexicana de Durango, con las aguas de una fuente rica en manganeso y hierro. Esta observación no fue la única, ya que en 1901, J. M. Eager, médico norteamericano enviado a Italia, señaló la posibilidad de que el consumo de ciertas aguas estuvieran ennegreciendo los dientes de los habitantes de un suburbio de Nápoles. Pero la investigación más conocida es la de Frederick Sumner Mckey (1874–1959), a principios del siglo XX, en la ciudad minera estadounidense de Colorado Springs, en la que señaló que las manchas observadas en los dientes se debían a imperfecciones del esmalte y que sólo las tenían personas nacidas en la zona de Pikes Peak, donde se situaban las minas de oro; y que los dientes afectados eran más resistentes a las caries.

En la misma época, en 1931, la mayor productora de aluminio estadounidense, América (ALCOA), temerosa de que se pudiera difundir la idea de que las cacerolas y sartenes que fabricaba fuesen peligrosas, decidió realizar una investigación en Bauxite (Arkansas) y detectó que el agua contenía 13,7 partes por millón (ppm) de flúor. Hoy se sabe que bastan 4 ppm para provocar una fluorosis que fue, de hecho, el nombre que finalmente se le dio a las manchas oscuras en los dientes y que es provocada por el flúor.

La primera producción comercial de flúor fue para la bomba atómica del Proyecto Manhattan, para la obtención de hexafluoruro de uranio, UF_6 , empleado para la separación de isótopos de uranio. Este proceso se sigue empleando para aplicaciones de energía nuclear⁷⁴. Sin embargo, la maquinaria industrial y militar que construyó la bomba atómica y posteriormente el arsenal nuclear acumulado durante la Guerra Fría, se encontró con el enorme dilema de enfrentar innumerables y catastróficas demandas, si aceptaban y reconocían públicamente que el flúor, su materia prima y algunos de sus derivados, tenían una alta toxicidad, y que sus residuos dañaban la salud de los trabajadores y de poblaciones cercanas.

Por lo que, abogados de las principales empresas implicadas como ALCOA, Aluminum Company of Canadá, US Steel, Kaiser Aluminum & Steel, Reynolds Metals Company, Monsanto Chemical, La Administración del Valle de Tennessee Corporation, Victor Chemical y Food Machinery & Chemical Corporation, organizaron un grupo que denominaron Comité de abogados del flúor, que se coordinaría con los médicos y científicos a sueldo de las compañías. Además, crearon en la Universidad de Rochester (Nueva York, EEUU) el laboratorio médico más grande de la nación y que se conocería como “el anexo Manhattan”. Mismo que se convertiría, tras la II Guerra Mundial, en la piedra angular de la Toxicología de Estados Unidos, con miles de científicos estudiando las sustancias implicadas en la bomba atómica.

En 1943, los resultados demostraron la enorme toxicidad del flúor, evitando el desastre a las compañías relacionadas con el Proyecto Manhattan. Su elección como presidente del Comité de Toxicología del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos. Gracias a ello, lo convirtió en el principal promotor de la fluoración del agua en su país.

En el mismo año, se presentó la primera demanda contra esas compañías por parte de agricultores de la zona más fértil de Estados Unidos, junto al río Delaware. Los efectos fueron catastróficos, sus cosechas de duraznos se quemaron, terminaron con mucho ganado enfermo o muerto, y los trabajadores que habían comido parte de lo cosechado también enfermaron. Los agricultores no se explicaban la causa, hasta que el químico Philip Sadtler (1847–1923) encontró en la sangre de los granjeros intoxicados hasta 310 ppm de fluoruro.

Dicha demanda era una amenaza para los industriales implicados y para los militares involucrados en la fabricación de la bomba atómica, por lo que estos últimos se reunieron en secreto en Washington con científicos y oficiales del Proyecto Manhattan, del Departamento de Defensa, Departamento de Agricultura, Departamento de Justicia y con miembros del Comité de abogados del flúor,

llegando a la conclusión de que era necesario hacer una campaña de propaganda, para convencer a la gente de la bondad del flúor para prevenir las caries.

La idea era no sólo contrarrestar el miedo al flúor, sino que se aceptara como algo bueno para la salud, para lo cual se contrataron ponentes que dieron conferencias donde se expusieran las bondades de este elemento, a fin de convencer de esta idea al público en general, a pesar de que no se disponía de evidencia científica que la apoyara.

Paralelamente, el enorme poder del complejo militar e industrial conseguiría que los granjeros aceptasen unas simples compensaciones económicas y que las compañías no tuviesen que admitir responsabilidad alguna. Uno de los documentos hoy desclasificados demuestra que, durante la II Guerra Mundial, sólo la planta de DuPont emitía mensualmente sobre las tierras alrededor unos 13,600 kilos de ácido fluorhídrico (en algunos casos hasta 75,000 kilos)

Esta campaña dio pronto frutos y fue un éxito, así que en Estados Unidos primero y en otros países después, comenzó a fluorar las aguas de consumo humano para promover la salud bucal. Estas campañas se intensificarían en los 50 y 60⁷⁵.

1886: Disprosio (Dy)

Su nombre tiene origen en la palabra griega *dysprositos*, que significa "difícil de obtener" (δυσπρόσιτος) o de "difícil acceso", ya que se encontraba muy escondido entre el resto de los elementos lantánidos⁷⁶.

El disprosio fue descubierto por Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran, en 1886, en una impureza de la erbia, el óxido de erbio. El metal fue aislado por Georges Urbain, otro químico francés, en 1906. Las muestras de disprosio puro fueron producidas por primera vez en los años 50. Actualmente, el disprosio se obtiene principalmente a través de un proceso de intercambio iónico con la arena monacita, un material rico en elementos de tierras raras⁷⁷.

El procedimiento para separar el disprosio se basaba en disolver el óxido de disprosio en ácido, y luego añadir amoníaco para precipitar el hidróxido. Sin embargo, sólo se logró separar el disprosio partiendo de su óxido después de 30 intentos. Por ello se denominó disprosio al nuevo elemento.

El elemento no fue separado en una forma pura hasta el desarrollo de las técnicas de intercambio de iones desarrolladas por Frank Spedding (1902–1984), en la Iowa State University, a comienzos de los 50.

1894: Argón (Ar)

Su nombre se origina de la palabra griega *argos*, que significa “inactivo”, debido a su inercia química. Fue aislado mediante el estudio del residuo obtenido al eliminar nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono del aire, y se le reconoce debido a las líneas características que emitía en el estudio espectroscópico⁷⁸.

En 1892, el tercer barón de Rayleigh también conocido como Lord Rayleigh (1842–1919), John William Strutt, descubrió que el nitrógeno atmosférico tenía una densidad mayor que el nitrógeno puro, obtenido a partir del nitrato de potasio. Rayleigh y Sir William Ramsay (1852–1916) demostraron que la diferencia se debía a la presencia de un segundo gas, poco reactivo y más denso que el nitrógeno. Ambos anunciaron el descubrimiento del argón (del griego ἀργόν, inactivo, vago o perezoso) en 1894. Anunció que fue acogido con bastante escepticismo por la comunidad científica.

En 1904, Rayleigh recibió el Premio Nobel de Física, por sus investigaciones acerca de la densidad de los gases más importantes y el descubrimiento del argón⁷⁹. La historia nos dice que, mientras investigaba las pequeñas anomalías que encontró en las mediciones de la densidad del nitrógeno sobre muestras obtenidas de diferentes fuentes, descubrió que el nitrógeno obtenido de una fuente química como el óxido nítrico, el óxido nitroso, el nitrato de amonio, el nitrito de amonio o la urea era consistentemente más ligero que el nitrógeno atmosférico⁸⁰.

Henry Cavendish, en 1785, había expuesto una muestra de nitrógeno a descargas eléctricas repetidas en presencia de oxígeno para formar óxido de nitrógeno, que posteriormente eliminaba, y encontró que alrededor del 1 % del gas original no se podía disolver, afirmando entonces que no todo el “aire flogisticado” era nitrógeno⁸¹.

En 1898, William Ramsey sugirió que el argón se colocara entre el cloro y el potasio, en una familia con el helio, a pesar del hecho de que el peso atómico del argón era mayor que el del potasio. Este grupo fue llamado "grupo cero", debido a la valencia cero de estos elementos. Así, Ramsey predijo con precisión el descubrimiento futuro del neón y sus propiedades⁸².

El láser de argón tiene usos médicos en Odontología y Oftalmología. La primera intervención con láser de argón, realizada por Francis L'Esperancé para tratar una retinopatía, se realizó en febrero de 1968⁸³.

Pero, ¿en qué tiene presencia este elemento? Bueno, aquel que tenga un horno de juguete, llamado “hornear fácil”, hecho antes de 2006, puede tener necesidad de una bombilla incandescente que contiene argón. Los hornos de juguete de los niños trabajaron su magia con el uso de una bombilla estándar de emisión de luz de calor, de 100 vatios; pero después de 2006, la marca Hasbro comenzó a hacer los hornos con un elemento de calefacción, a pesar de que fueron retirados del mercado debido a los riesgos* para la seguridad⁸⁴.

Se puede señalar que, para evitar el rápido deterioro del filamento por evaporación, desde 1913 se adoptó el uso del gas argón en el interior de las bombillas. De esa forma se logra disminuir, en cierta medida, la evaporación del metal, pues los átomos del tungsteno evaporados, al impactar con los átomos del argón, rebotan hacia el filamento y se depositan de nuevo en su estructura metálica sin que se produzca una reacción de combustión. Gracias a esta técnica se logró que una

* Dedos atrapados en la puerta de carga frontal del horno y quemaduras de diversos grados en niños.

lámpara incandescente normal llegue a tener aproximadamente entre 750 y mil horas de vida útil⁸⁵.

1898: Kriptón (Kr)

El nombre tiene su origen en la palabra griega *kryptos* que significa "oculto", debido a lo difícil que fue aislarlo. Fueron William Ramsay (1852–1916) y Travers Morris (1872.1961) quienes, en 1898, anunciaron el descubrimiento de un nuevo elemento químico. El método que siguieron fue obtener una gran cantidad de aire líquido, mismo que sometieron a destilación fraccionada. Colocaron el residuo en un tubo de Plücker conectado a una bobina de inducción y se produjo un espectro con líneas amarillas y verdes brillantes. Así el análisis espectral de la fracción menos volátil reveló la presencia del nuevo elemento: el kriptón, el cual está presente en el aire aproximadamente en 1 ppm⁸⁶.

En 1960, el kriptón se convirtió en un estándar cuando la Comisión Internacional de Pesos y Medidas decidió que la longitud de un metro era de 1.650.763,73 longitudes de onda de la línea de color naranja–rojo emitida por el isótopo kriptón–86, mientras estaba en el vacío. Sin embargo, en 1983 la emisión del kriptón se sustituyó por la distancia recorrida por la luz en 1/299.792.458 segundos⁸⁷.

Su aplicación industrial más extendida es la de los láseres excimer de KrF, que es la fotolitografía en el ultravioleta profundo, para la fabricación de dispositivos microelectrónicos (circuitos integrados de semiconductores o chips). Desde 1960 hasta mediados de 1980, las lámparas de Hg–Xe habían sido utilizadas para la litografía en longitudes de onda de 436, 405 y 365 nm. Sin embargo, la industria de los semiconductores presentó la necesidad tanto de una resolución más fina y de un mayor rendimiento de producción. Las herramientas de litografía basadas en lámparas ya no eran capaces de cumplir con los requisitos administrativos y operacionales de la industria.

Esto se resolvió en 1982, cuando la viabilidad de la litografía de láser excimer en el UV profundo fue demostrada en IBM en un desarrollo pionero, por Kanti Jain. Hoy, los dispositivos electrónicos de semiconductores que se fabrican utilizando litografía de láser excimer suponen un total de 400 mil millones de dólares de producción anual.

De hecho, la industria de semiconductores ha sido un factor crucial en el avance continuo de la llamada ley de Moore, que describe la duplicación cada dos años del número de transistores integrados en los nuevos chips con tamaños cada vez más pequeños de los dispositivos, acercándose a los 10 nanómetros.

El láser KrF es de gran interés para la investigación de la energía de fusión nuclear en los experimentos de confinamiento inercial. Este láser tiene una elevada uniformidad del haz, una longitud de onda corta y la capacidad de modificar el tamaño del punto para el seguimiento de las pequeñas esferas de material fusible durante la implosión.

La división de láseres de plasma del Laboratorio de Investigación Naval desarrolló un láser de KrF llamado láser Nike, que puede producir alrededor de 4.5×10^3 julios de energía con salida en el UV de un pulso de 4 nanosegundos. Kent A. Gerber fue el investigador principal del proyecto. Éste es el láser más reciente que está siendo utilizado en los experimentos de confinamiento inercial por láser⁸⁸.

1898: Neón (Ne)

El origen del nombre de este elemento también proviene de una palabra griega: *neon*, que significa “nuevo”. Se obtuvo por William Ramsay y Morris W. Travers, tras el descubrimiento del elemento kriptón. Eliminando el oxígeno y el nitrógeno del aire, pudo observarse que quedaba un resto gaseoso muy inerte. Mediante técnicas espectroscópicas se descubrieron estos nuevos elementos: los gases nobles⁸⁹.

Entre sus usos está el de los tubos eléctricos, los cuales pueden doblarse para crear distintas letras e imágenes, y que se utilizan para crear avisos publicitarios. Cabe destacar que fue el industrial francés George Claude (1870–1969), quien utilizó por primera vez los tubos de neón, en un aviso publicitario, en un espectáculo artístico realizado en 1910, en París. En el Continente Americano, el primer aviso publicitario realizado con tubos llenos con gas neón, fue importado a Estados Unidos desde Francia en 1922⁹⁰. En ese año, Claude vendió, a través de su empresa, dos letreros de neón a un vendedor de automóviles estadounidense.

El láser de helio–neón fue el primer láser de gas inventado. Se debe a Ali Javan (1926–2016), a William Bennett Jr. (1930–2008) y a Donald Herriott (1929–2007), quienes en 1960 lograron, en los Laboratorios Bell, una emisión continua con este láser en 1,15 μm . Antes de que apareciesen los diodos láser, hoy tan numerosos y baratos, los láseres de helio–neón se utilizaban para leer el código de barras.

El punto triple del neón (presión y temperatura donde coexisten los tres estados – gas, líquido y sólido– del neón al mismo tiempo) es un punto fijo en la definición de la Escala Internacional de Temperatura de 1990. El Times Square es uno de los lugares más conocidos en donde se aplicó comercialmente esta tecnología.

El neón también es utilizado en el mundo del arte. Existen varios ejemplos; uno de ellos es Jung Lee (1916–1956), quien generó gran revuelo en los últimos dos años, mostrando fotografías de “Aporía” y “Day and Night”. Se trata de una serie exuberante de frases sentimentales y románticas escritas en neón y situadas en medio de duros paisajes estériles. Su trabajo está inspirado en un ensayo de Roland Barthes (1915–1980), basado en un discurso amoroso, donde una figura alegórica busca sin cesar signos de que está enamorado.

Por su parte, Dan Flavin (1933–1996) crea lo inesperado con lo más común. Lo describen como un artista conceptual minimalista y abstracto de la segunda mitad del siglo XX; siendo uno de los pioneros en el uso de luces fluorescentes y neón como herramientas artísticas. Comenzó su carrera a finales de los 50 bajo la influencia

de Jasper Johns (1930–). Otro artista es Chris Bracey (1954–2014), el británico conocido como “el padrino del neón”, quien se mantuvo creando, restaurando y recolectando este tipo de letreros desde hace más de 30 años, hasta su muerte. Bracey fue abordado por el director artístico Chris Townsend, quien lo introdujo en la industria cinematográfica. Así es como algunas de sus obras han aparecido en espectáculos de Alexander McQueen (1969–2010) y en películas como *Blade Runner* (1982), *Charlie y la fábrica de chocolate* (2005) y *Eyes Wide Shut* (1999), de Stanley Kubrick (1928–1999)⁹¹.

1898: Xenón (Xe)

El nombre de este elemento proviene de la palabra griega *xenos*, que significa “extraño”. Fue descubierto por los mismos investigadores que habían obtenido semanas antes el kriptón y el neón, en julio de 1898, en el University College London. Para ello, emplearon el mismo método: separar por destilación fraccionada los componentes de aire previamente licuado, los cuales emitían un resplandor azul al hacer saltar una chispa en un tubo de vacío⁹².

Para el químico escocés William Ramsay y el químico inglés Morris Travers, éste no fue su primer descubrimiento. Ambos ya habían extraído argón, neón y kriptón de la destilación fraccionada del aire. Su descubrimiento se produjo cuando un rico industrial Ludwig Mond (1839–1909) regaló al equipo una nueva máquina de aire líquido, y con ella extrajeron más criptón del aire líquido.

Luego destilaron repetidamente el kriptón y aislaron un gas más pesado. Ramsay y Travers examinaron este gas en un tubo de vacío y vieron que emitía un hermoso brillo azul. Ellos categorizaron el nuevo gas como inerte y lo llamaron xenón, derivado del griego “*xenos*”, que significa extranjero.

En 1962, Neil Bartlett (1932–2008) demostró que el xenón podía causar reacciones y compuestos, haciendo un derivado del flúor. Desde entonces se fabrican más de 100 compuestos de xenón, según la Royal Society of Chemistry⁹³.

El xenón tiene también usos medicinales, pues se utiliza como anestésico ya desde 1951. A pesar de ello, no se usa mucho debido a su elevado costo, al no poder fabricarse de manera sintética pues se tiene que extraer de la composición del aire.

En 1933, un científico del CALTECH, Yost junto con su alumno Kaye, basándose en una sugerencia de Linus Pauling (1901–1994), intentaron preparar halogenuros de xenón, sin conseguirlo. Pero once años después, en el 1962, Bartlett encontró que el oxígeno reaccionaba a temperatura ambiente con el PtF_6 , formando una sustancia iónica: $\text{O}_2^+\text{PtF}_6^-$. Bartlett se dio cuenta que el O_2 y el Xe tenían energías de ionización muy parecidas (1,175 kJ/mol y 1,170 kJ/mol respectivamente), por lo tanto, podría ser que el xenón también pudiera reaccionar con el PtF_6 . Y así fue: Bartlett produjo la primera reacción química real de los gases nobles.

Lo anterior fue el punto de partida. En 1962, Claassen, Malm y Selig obtuvieron cristales de XeF_4 al calentar flúor y xenón. Esta sustancia, como las demás, implicaría una expansión de la teoría del octeto⁹⁴, con una disposición de doce electrones alrededor del Xe, y por ello no pensaban que pudieran existir. Posteriormente aparecieron el XeF_6 , XeO_4 , XeF_2 , XeO_3F_2 , XeOF_4 , etc. El XeO_3 fue famoso por su carácter explosivo, pues dejó un rastro destructivo en los laboratorios donde se quiso obtener. Nelson y Pimentel lograron preparar en el 67, el XeCl_2 , también muy inestable y un explosivo comparable al TNT⁹⁵.

Otra utilidad que tiene este elemento inició en 1930. Harold Edgerton (1903–1990), ingeniero estadounidense, comenzó a experimentar con el xenón, mientras tenía como objetivo desarrollar tecnologías de luz estroboscópica con fines fotográficos. Lo que descubrió fue que el gas xenón, cuando se excita por las corrientes eléctricas, emite un destello de luz muy brillante y blanco. Pronto inventó la lámpara de flash de xenón, que utiliza esta misma técnica. Esta tecnología se utiliza comúnmente en luces estroboscópicas y destellos fotográficos, así como en otras luces para fines especializados, como las lámparas de arco que se utilizan para proyectar películas⁹⁶.

Los faros xenón aparecieron por primera vez en el año 1991, introducidos por la marca alemana BMW, en uno de sus autos de serie 7, siendo la empresa Osram la responsable de crear dichas luces. Primero fueron de corto alcance; pero en el 2001 se utilizaron también para las luces de larga distancia, llamadas bixenón o luces antiniebla en algunos vehículos que requieren iluminación adicional, así como en lámparas brillantes para misiones en alta mar, ya que es una luz más potente que la tradicional⁹⁷.

1898: Polonio (Po)

Fue en 1898 que la científica Marie Curie–Skłodowska (1867–1934) y el físico francés Pierre Curie (1859–1906) descubrieron este elemento. Su nombre proviene de "Polonia", lugar de nacimiento de Marie. En aquella época, Polonia no era un país independiente y se encontraba bajo el dominio de Rusia, Prusia y Austria. La científica Marie albergaba la esperanza de que este nombramiento le añadiría notoriedad, y de hecho fue el primer elemento cuyo nombre derivaba de una controversia política⁹⁸.

En 1934, se demostró que, cuando el bismuto natural (^{209}Bi) es bombardeado con neutrones, se crea ^{210}Pb , precursor del polonio. Se puede crear polonio en cantidades de miligramos mediante este procedimiento, utilizando flujos de neutrones grandes, como los que se encuentran en los reactores nucleares⁹⁹.

El equipo Curie realmente no había conseguido obtener la cantidad suficiente de polonio para comprobar sus propiedades. Y no fueron los únicos que le siguieron la pista a dicho elemento. Habían trazado el camino. En 1902, el alemán Willy Marckwald (1864–1942), partiendo de dos toneladas de pechblenda y en la fracción del bismuto, aísla un elemento radiactivo parecido al telurio que llamaron Radiotelurio¹⁰⁰.

Pero este elemento es realmente conocido por su papel en la historia. A mediados de la Segunda Guerra Mundial, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano

comenzó a organizar el Distrito de Ingenieros de Manhattan, un programa de investigación y desarrollo de alto secreto que, en última instancia, produciría las primeras armas nucleares del mundo.

Los ingenieros del distrito comenzaron a estudiar el polonio y encontraron que el elemento era un ingrediente importante para su arma nuclear, donde una combinación de polonio y berilio, otro elemento raro, actuó como iniciador de la bomba, según la Atomic Heritage Foundation. Después de la guerra, el proyecto de investigación del polonio fue transferido al Laboratorio Mound en Miamisburg, Ohio, siendo la Comisión de Energía Atómica la elegida para el desarrollo de armas nucleares.

Este elemento es bastante tóxico. Se dice que la primera persona en morir de envenenamiento por polonio pudo haber sido la hija de Marie Curie, Irène Joliot-Curie (1897–1956). En 1946, una cápsula de polonio explotó en su banco de laboratorio, lo que pudo haber sido la razón por la que contrajo leucemia y murió 10 años después. Otro ejemplo de envenenamiento fue Alexander Litvinenko (1962–2006), un exespía ruso que había estado viviendo en Londres en 2006 tras solicitar asilo político. Alexander fue sospechoso en la muerte del líder palestino Yasser Arafat (1929–2004), cuando se detectaron niveles sorprendentemente altos de polonio-210 en su ropa, según The Wall Street Journal.

Finalmente, en un estudio de 2011 publicado en la revista *Nicotine & Tobacco Research*, se encontró que las compañías tabacaleras saben que los cigarrillos y otros productos que contienen tabaco cuentan con bajos niveles de polonio. Los autores del estudio calcularon que la radiactividad del polonio en los cigarrillos es responsable de hasta 138 muertes por cada 1,000 fumadores en un periodo de 25 años¹⁰¹.

La presencia de polonio en el humo de tabaco se conoce desde principios de los 60. Durante 40 años, las empresas tabacaleras han investigado formas de eliminar esta sustancia, pero no han obtenido éxito. Al igual que el flúor, nunca se publicaron los

resultados, ya que el polonio-210 contenido en los fertilizantes fosfatados es absorbido por las raíces de plantas (como el tabaco) y almacenado en sus tejidos. Las plantas fertilizadas con fosfatos de roca contienen polonio-210, y la radiación alfa que emite se estima que causa alrededor de 11,700 muertes anuales en todo el mundo por cáncer de pulmón¹⁰².

1898: Radio (Ra)

El origen de su nombre proviene de la palabra latina *radius* que significa rayo, debido a su poderosa radiactividad. Fue descubierto en 1898 por Marie Curie, en la pechblenda del Norte de Bohemia. Cabe aclarar que 7 toneladas de mineral contienen aproximadamente 1 g de radio, pero se logró aislar en 1911 mediante electrólisis de una disolución de cloruro de radio puro, con un cátodo de mercurio; la amalgama se destila en atmósfera de hidrógeno, y así se obtiene el metal puro¹⁰³.

Este elemento jugó un papel muy importante en el tratamiento del cáncer durante la primera mitad del siglo XX, ya que los cirujanos implantaban agujas de radio (generalmente contenían cloruro o bromuro de radio) en los tumores, de forma que la radiación destruía las células cancerígenas. En la actualidad, este tratamiento está prácticamente en desuso debido al riesgo que supone para los que preparaban las agujas. Los peligros de estar en contacto con la radiación son conocidos. El primer caso de radiodermatitis se registró en 1900, tan sólo un par de años después de su descubrimiento¹⁰⁴.

Durante los 30 se descubrió que la exposición de los trabajadores a pinturas luminiscentes causaba serios daños a la salud, como llagas, anemia o cáncer de huesos. Por eso se frenó tal uso del radio. Esto ocurre porque el radio es asimilado como calcio por el cuerpo y depositado en los huesos, donde la radiactividad degrada la médula ósea y puede hacer mutar a las células. Desde entonces se culpa a la manipulación del radio de la prematura muerte de Marie Curie¹⁰⁵.

La llamada “terapia Curie” se empleó primero en Europa, y muy poco tiempo después en Estados Unidos. A ello contribuyeron los dos viajes en los que Marie Curie recorrió en tren Estados Unidos, ofreciendo conferencias en los foros más importantes, siendo recibida por dos presidentes: Warren G. Harding (1865–1923) y Herbert Hoover (1874–1964). En 1927, los hospitales de New York poseían en conjunto alrededor de 12 gramos de radio, valorados en más de 1 millón de dólares. Todos los hospitales aspiraban a establecer su propia unidad de radioterapia, conocida como “terapia intensiva con radio”.

La terapia con radio se basaba en el poder destructivo de las emisiones de rayos beta y gamma (β , γ). Estos descubrimientos dinamizaron la oncología, por entonces una incipiente y poco eficaz área de la práctica médica. Así, durante los primeros años del siglo XX, al amparo del desarrollo de la homeopatía y medicina física, surgió la denominada “terapia leve con radio”, ya que se dirigía al tratamiento de enfermedades endocrinas, no de los procesos cancerosos.

Esta terapia se enmarca en la época dorada de las aguas medicinales y el termalismo de los primeros años del siglo XX. Se asumía que los “efectos terapéuticos” de las aguas medicinales sólo se lograban cuando eran ingeridas o sus vapores profundamente inhalados. Las aguas embotelladas perdían rápidamente sus supuestos beneficios terapéuticos, muchas veces tan dispares como el reumatismo, el cretinismo, la impotencia y la melancolía (antigua denominación de la depresión).

El empleo oral y parenteral de bajas dosis de radio comenzó en 1913, y era usual en el tratamiento del reumatismo, gota, sífilis, anemia, epilepsia, esclerosis múltiple y otras enfermedades. Durante los 20, numerosas farmacopeas incluían productos patentados que afirmaban contener productos radiactivos.

Los elixires radiactivos terminaron en 1932, debido al fallecimiento de Eben MacBurney Byers (1880–1932), un multimillonario neoyorquino víctima de una extraña enfermedad. La autopsia determinó envenenamiento por radio, que le

ocasionó una necrosis de mandíbula, inflamación de los riñones, absceso cerebral, bronconeumonía y destrucción de la médula ósea.

Un reportaje publicado en una prestigiosa revista médica daba cuenta que muchos órganos del cadáver eran peligrosamente radiactivos. De hecho, la exhumación del cadáver años más tarde mostró que los huesos seguían emitiendo partículas radiactivas. A causa de una caída, comenzó a sufrir intensos dolores, por lo que usó un medicamento patentado por William J. A. Bailey (1884–1949), llamado *Radithor*. Bailey estaba tan entusiasmado con sus efectos que no sólo lo recomendaba a sus amigos, sino que lo administraba a sus caballos de carreras. Pero aún con esto, en 1936 el Radio E fue el primer elemento radiactivo preparado sintéticamente¹⁰⁶.

La industria alimentaria también utilizó radio; se fabricaron chocolates con radio en Alemania entre 1931 y 1936, pan con trazas de radio que se comercializaba en la antigua Checoslovaquia; Zoé, la “soda atómica” y la pasta de dientes con radio “para mantener la boca sana” (aunque su contenido seguramente desapareciera)¹⁰⁷.

1899: Actinio (Ac)

El origen de su nombre proviene de la palabra griega *aktinos* que significa rayo, aludiendo con esto a sus cualidades radiactivas. Se encontró como producto intermedio de las series de desintegración radiactiva, en concreto en la del ^{235}U ¹⁰⁸.

El actinio se descubrió en 1899 por el químico francés André Louis Debierne (1874–1949), quien lo obtuvo de la pechblenda y lo caracterizó como una sustancia similar al titanio en 1899, y al torio en 1900. En 1902 fue descubierto de forma independiente por Friedrich Oscar Giesel como, en una sustancia muy similar al lantano, y lo denominó “emanium”. En 1904, finalmente se quedaría con el nombre con el que se conoce actualmente¹⁰⁹.

1900: Radón (Rn)

Se le dio el nombre de radón por que se obtuvo como producto de descomposición del isótopo del radio ^{226}Ra . Aunque durante algún tiempo recibió el nombre de nitón

(del latín *niteo*, brillar), debido a que en compuestos sólidos, emite una luz amarillenta. Fue otro de los elementos que los esposos Curie habían observado que, al ponerse el aire en contacto con compuestos de radio, este aire se volvía radiactivo, lo que demostró que uno de los productos de desintegración del radio era un gas: el radón¹¹⁰.

Pero el elemento como tal fue descubierto por el físico alemán Friedrich Ernst Dorn (1848–1916), quien, en 1900, notó que esta peculiar sustancia era emitida por el radio (Ra) y así lo describió. En 1908, dos grandes químicos británicos, el escocés Sir William Ramsay (Nobel de Química de 1904) y el químico inglés Robert Whytlaw Gray (1877–1958) lograron aislar dicha sustancia. Ellos aislaron el radón por primera vez, lograron determinar su densidad y también le dieron el nombre de nitón (Nt). En 1923, finalmente queda identificado como radón, que es una derivación del inglés radium, por el elemento radio¹¹¹.

Este elemento tiene un gran uso. Por ejemplo, el método de monitoreo de radón se utiliza para predecir los terremotos, ya que está a menudo presente en las capas profundas del suelo y por debajo es más intenso en libertad que en la superficie antes de un terremoto. Si bien, muchos científicos califican este método como ineficaz, el científico técnico de Gioacchino Giuliani (1947–), con el seguimiento de radón, predijo el terremoto de 2009 que destruyó la ciudad italiana de L'Aquila. Según Reuters, las autoridades locales y la comunidad científica rechazaron las advertencias, lo que tuvo como consecuencia la muerte de más de 200 personas¹¹².

El sismo del 19 de septiembre de 1985, fue ejemplo claro del radón como indicador de sismos en México, ya que la manifestación de radón se dio en lugares tan distantes del epicentro como lo es el campo geotérmico de Los Azufres. Las variaciones o máximos de radón pueden ocurrir en el lapso de unos cuantos minutos, así que su detección requiere equipos electrónicos que permitan transmitir en tiempo real esta variación.

En 1999, se inició la observación sistemática de posibles precursores sísmicos en un manantial de aguas profundas, en la costa de Guerrero, registrando las variaciones temporales de radón, temperatura del manantial, emisión de CO₂, pH y nivel del agua. Las gráficas son un ejemplo de la variación del radón y el gas CO₂, para establecer una correlación multivariable por computadora¹¹³.

Hacia 1910, numerosos autores optaron por el radón en el tratamiento de algunos tipos de cáncer, debido a su bajo costo, comparado con el radio, y a su fácil implantación, extendiéndose esta técnica en ciudades como París, Dublín, Nueva York, Baltimore y Montreal. Fue precisamente en Estados Unidos donde Howard Kelly, profesor de ginecología en la Universidad John Hopkins, considerado el introductor de la BT ginecológica americana, usó radón encapsulado producido en un “emanador” de sales de radio disueltas. En 1915, presentó los resultados obtenidos en 199 casos de cáncer de cérvix inoperable o recurrente, tratados de 1909 a 1914, concluyendo que los resultados de la radioterapia en casos inoperables eran idénticos a los de la cirugía en enfermedad menos avanzada, presentando además menor mortalidad¹¹⁴.

Por otra parte, también en el área de la salud, el uso de las aguas termales ricas en gas radón se remonta a la época romana, mucho antes de que el elemento fuera descubierto. En internet se puede ver que algunos creen que respirar el aire o bañarse en las aguas ricas en radón ayuda a curar la artritis, así como otros problemas relacionados con los huesos. Según el *Diario de Oxford de Reumatología*, hay efectos positivos a largo plazo con la terapia de radón en el tratamiento de spa de la artritis reumatoide. Sin embargo, el alto nivel y la exposición incontrolada al radón pueden ser perjudiciales.

1890: Europio (Eu)

Su nombre se debe a Europa. Se obtuvo en 1890 por Paul Emile Lecoq de Boisbaudran, después de un experimento dirigido por él mismo. Eugene–Anatole Demarcay (1852–1903) demostró la existencia de un nuevo elemento por

espectroscopia y lo aisló por primera vez en 1901. Este elemento que resultó ser uno de los más interesantes dentro de las tierras raras¹¹⁵.

En el interior de las rocas de las minas, se puede encontrar este “petróleo” del siglo XXI, ya que es un ingrediente crucial en la fabricación de los iPhones, las turbinas de viento, coches híbridos y gafas de visión nocturna. En el caso del smartphone de Apple, elementos como el neodimio sirven para fabricar los imanes que hacen vibrar los altavoces para producir el sonido.

El europio es el más reactivo de todos los elementos de las tierras raras. Crea el rojo brillante en la pantalla del iPhone. El cerio se introduce en disolvente para crear una sustancia que los trabajadores utilizan para encerar y pulir los dispositivos en la cadena de montaje, así ninguno de estos dispositivos conocidos como iPhone funcionaría sin estas tierras raras¹¹⁶.

1907: Lutecio (Lu)

Su nombre proviene de la palabra griega *Lutetia*, que significaba París, ya que fue aislado por vez primera por un francés: Georges Urbain (1872–1938). En 1907, Urbain descubrió un proceso por el cual el yterbio de Marignac podía ser separado en dos elementos diferentes: yterbio (neoyterbio) y lutecio¹¹⁷.

El descubrimiento del lutecio, el metal más pesado de las Tierras Raras, estuvo marcado por la polémica, ya que la separación de los elementos se llevaba a cabo mediante una laboriosa cristalización fraccionada. El descubrimiento de la lutecia, el óxido de lutecio, fue realizado independientemente en 1907 por Georges Urbain en París y por el austriaco Carl Auer Von Welsbach (1858–1929), quien también fue el inventor de las piedras de chispa para mecheros, de las camisas luminosas para lámparas de gas y de los filamentos de metal para bombillas, y quien además fue alumno de Robert Bunsen.

Urbain, por su parte, llamó al elemento “lutecio” y Von Welsbach lo llamó “cassiopeio”. Ambos mantuvieron una agria polémica por ver quién tuvo el crédito

del descubrimiento y, por ende, qué nombre prevalecería. Finalmente, se determinó que fue Urbain el primero y el nombre lutecio (en honor a la ciudad de París) prevaleció.

Sin embargo, se cree posible que el primero en descubrir el lutecio fue realmente el químico norteamericano de New Hampshire, Charles James (1880–1928), quien realizó una larga, cuidadosa y extremadamente laboriosa purificación de las sales de lutecio, lo que le permitió preparar el stock más grande del elemento en la primera mitad del siglo XX. Lamentablemente, en aquella época no había internet, por lo que las noticias del descubrimiento del lutecio llegaron a América justo cuando el largo proceso de purificación estaba terminado, y James no pudo publicar sus resultados a tiempo.

Por otra parte, la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de Estados Unidos aprobó un nuevo tratamiento dirigido, lutecio-177 dotatate (Lutathera®), para pacientes adultos con tumores neuroendocrinos avanzados que afectan el páncreas o el tubo digestivo, llamados GEP-NET (tumores neuroendocrinos de estómago, intestinos y páncreas); fue el primer fármaco radiactivo aprobado para tratar estos cánceres poco comunes¹¹⁸.

1917: Protactinio (Pa)

Este elemento tiene una larga historia acerca de su descubrimiento y estudio, por las particularidades que se verán a continuación. Su descubrimiento se señala en 1917, cuando se rastreaba el elemento 91. Conforme a su predicción, Hahn y Meitner descompusieron el mineral pechblenda con ácido caliente para separar sus elementos. Después de haber quitado las trazas de radio y de otros elementos radiactivos conocidos, encontraron un residuo radiactivo que demostró ser el elemento 91, que se observó que se desintegraba hasta el actinio¹¹⁹.

Pero previamente, en 1913 Kasimir Fajans (1887–1975) y Oswald Helmuth Göhring (1889–?) descubrieron el isótopo 234 con una vida media de 77 segundos, por lo que

le llamaron brevium. Así, en 1917 se obtuvo el isótopo ^{231}Pa , con un periodo de 32,700 años, por dos equipos independientes: Otto Hahn (1879-1968) y Lise Meitner (1878-1968) en Alemania, y J.A. Cranston, A. Fleck y F. Soddy (1877-1956) en Inglaterra.

Este isótopo es emisor de partículas alfa formando actinio, por lo que le fue dado en un primer momento el nombre de protoactinio (“progenitor del actinio”), ya que al descomponerse radiactivamente el isótopo ^{231}Pa se obtenía el actinio, hasta que en 1949 se adoptó el nombre actual de protactinio¹²⁰.

Aproximadamente 20 años más tarde, un químico inglés, de nombre William Crookes (1832-1919) pudo cumplir las palabras proféticas de Mendeléiev (padre de la tabla periódica) y logró aislar correctamente el protactinio en más de un mineral de uranio; desafortunadamente no pudo determinarlo.

La identificación del elemento lo conseguiría 13 años más tarde el químico polaco Kasimir Fanjans y el también químico, pero de origen alemán, Oswald Helmuth Göhring. Ellos lograron detallar el isótopo ^{234}Pa , el cual tuvo una duración de vida de menos de minuto y medio, es por ello que lo bautizaron como Brevium, haciendo referencia a su corta vida¹²¹.

La Autoridad de la Energía Atómica del Reino Unido, en 1961, fue capaz de producir 125 g de protactinio puro al 99.9 %, procesando 60 toneladas de material de desecho, en un proceso de 12 etapas, con un gasto de 500,000 libras. Esta fue la única fuente del elemento durante muchos años y se dice que fue vendido a los laboratorios a un precio de 2,800 \$/g en los años sucesivos.

El aislamiento del protactinio no sería posible hasta el año 1934, cuando el químico nuclear alemán Aristid Von Grosse (1905-1985) consiguió preparar óxido de protactinio, Pa_2O_5 , que convirtió en yoduro de protactinio, PaI_5 , y posteriormente la transformación de éste en protactinio metálico ($2 \text{PaI}_5 \rightarrow 2 \text{Pa} + 5 \text{I}_2$, con el proceso Van Arkel-De Boer)¹²².

1923: Hafnio (Hf)

Se llamó hafnio por el nombre de Copenhague en latín, Hafnia, la ciudad danesa en donde fue descubierto por Dirk Coster y George Hevesy en 1923. Muchos años antes de su descubrimiento, se pensaba que este elemento estaría presente en varios minerales de circonio.

De acuerdo con las indicaciones de Bohr, se esperaba que este nuevo elemento apareciera asociado al circonio y tuviese propiedades análogas. Así que, de manera definitiva, el hafnio se identificó en un mineral de circonio mediante espectroscopía de rayos X¹²³.

En enero de 2007, se anunció como parte fundamental de una nueva tecnología de microprocesadores, desarrollada separadamente por IBM e Intel, en reemplazo del silicio pero únicamente en el dieléctrico de la compuerta del transistor. En el resto del dispositivo se sigue utilizando silicio, que es el material base tradicional. Esta historia fue publicada en el diario *The Washington Post* y presentada en un seminario impartido en el Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Carolina, en Chapel Hill.

Cabe mencionar que la historia tiene muchos puntos de contacto con un relato de ficción y se inicia en Rumanía. Por aquel entonces, y en plena guerra fría, Carl Collins colaboraba con científicos allende la cortina de hierro, quienes enfocaban sus esfuerzos a la obtención de grandes cantidades de energía de determinados núcleos atómicos¹²⁴.

Como en la mayoría de los descubrimientos, sus intentos iniciales resultaron infructuosos. Pero después diversos estudios revelaron que un isótopo de un elemento químico poco conocido, el hafnio-178, exhibía determinadas propiedades que lo convertían en especial, ya que este isótopo tiene una vida media de 31 años (pasado ese tiempo, la mitad de los átomos de la muestra original se desintegran, liberando ciertas dosis de energía).

La idea de Collins consistía en estimular la emisión de radiación, acelerando un proceso que, de forma natural, requiere décadas. En 1998, de un experimento desarrollado a través de un simple aparato de rayos X¹²⁵, Collins irradió durante semanas una muestra de hafnio-178. Los resultados se publicaron en *Physical Review Letters*, en 1999, donde se demuestra presuntamente que mediante tal procedimiento, Collins podía estimular la emisión de radiación y así se había creado una especie de láser de rayos gamma con incalculables aplicaciones militares¹²⁶.

Los químicos holandeses Anton Eduard van Arkel (1893–1976) y Jan Hendrik de Boer (1899–1971), en 1925 idearon un método para producir hafnio de alta pureza. Para lograrlo, descompusieron tetrayoduro de hafnio en un alambre de tungsteno caliente, que resulta en una barra de cristal de hafnio puro, de acuerdo con Chemicool, por lo que a este método lo nombraron el proceso de barra de cristal¹²⁷.

La primera vez que se utilizaron barras de control hechas de Hafnio fue a finales de los 50, en los núcleos de los submarinos nucleares americanos *Nautilus* y *Tritón*, y su operación satisfactoria permitió su uso en una línea más amplia de reactores comerciales de agua ligera, incluyendo Shippingpoint, Point Beach, y Yankee Row.

Para los 60, el absorbedor más ampliamente usado en los reactores comerciales americanos fueron los materiales basados en aleaciones de plata, siendo así reemplazado el hafnio por aleaciones de plata debido a la limitada producción en esos momentos y al comparativamente alto costo del hafnio, ya que las barras hechas con la aleación de Plata–Indio–Gadolinio tienen una absorción similar a la del hafnio. Estructuralmente se trata de un material más pobre, así como su resistencia a la corrosión fue bastante menor a lo esperado, lo que dictaminó el uso de cubiertas de acero inoxidable como cubiertas protectoras del material.

Pero en los 80, este elemento se volvió un material competitivo para ser usado en los mecanismos de control de los reactores de potencia en los Estados Unidos, debido a que surgieron nuevas tecnologías para la producción del hafnio, además de que el precio de la plata se incrementó sustancialmente.

1925: Renio (Re)

Se apunta que el origen del nombre proviene de la palabra griega *Rhenus*, nombre del río Rin. El descubrimiento del renio se les atribuye a los científicos alemanes Ida Eva Tacke (1896–1978), Walter Karl Friedrich Noddack (1893–1960) y Otto Carl Berg (1873–1939). En 1925, ellos publicaron que lo habían detectado en minerales de tantalita, wolframita y columbita mediante análisis espectrográficos con rayos X, en las cercanías del Rin (de donde deriva su nombre en latín)¹²⁸.

Antes, el científico Dimitri Mendeléyev estuvo cerca de haberlo descubierto al tratar de deducir las propiedades de un mineral de alto contenido en Renio. Dimitri pensaba que era un derivado del manganeso, por lo que lo denominó como “divi-manganeso”. Posteriormente, en 1914, Henry Moseley extrapoló cálculos acerca del hipotético elemento, y en 1928 se consiguió extraer 1 g del elemento de 660 kg de molibdenita.

Cuarenta años más tarde, en 1968, se estimó que el 75 % de las extracciones de este elemento en Estados Unidos fueron destinadas a la fabricación de aleaciones para metales refractarios. Con estos avances, en 1971, Chile abrió las puertas a su propia industria metalúrgica, que trabajaba principalmente con el renio; así entre 1984 y 1986 se empezaron a diseñar complejos y sofisticados catalizadores basados en este elemento.

Por otra parte, en 1908 el químico japonés Masataka Ogawa (1865–1930) afirmó haber hallado un nuevo elemento, al que bautizó como “Niponio” (símbolo Np), en honor a su país natal. Pero posteriormente se descubrió que el supuesto elemento llevaba pequeñas cantidades de renio, por lo que el símbolo que se le había asignado se empleó para nombrar al neptunio cuando se descubriese.

En 2005, la NASA afirmó haber descubierto que el renio contribuyó a la creación del sistema solar. Por ello los científicos de esta organización piensan que puede

existir la posibilidad de que elementos como éste o el osmio procedan de pequeñas estrellas con elevada densidad de neutrones¹²⁹.

El electroplateado con renio fue conseguido por primera vez en 1934, y se mostró que daba un depósito brillante y duro; sin embargo, el metal es susceptible a la oxidación y su superficie necesita ser protegida por una capa de iridio¹³⁰.

Otra industria en la que se puede encontrar el uso de este elemento es en el “reforming”, que es una parte importante en el procesamiento del petróleo. Éste se lleva a cabo aumentando el octanaje de las naftas; el objetivo es la producción de combustibles antidetonantes, sin plomo, para motores de combustión interna. Originalmente se usaba un óxido de molibdeno como catalizador de las reacciones, pero fue descubierto que el platino en óxido de aluminio (Al_2O_3) tenía mejores propiedades catalizadoras, además de una particular estabilidad con el desarrollo de un catalizador PtRe. Con la producción de este catalizador bimetalico, que inició su uso en 1968, desde entonces se han probado incluso catalizadores multimetálicos como el Pt–Re–In. Por último, el renio en este catalizador se agrega como NH_4ReO_4 o HReO_4 ; así, el “reforming” del petróleo sigue siendo el principal proceso consumidor de compuestos de renio. En 1990, su consumo en esta industria alcanzó el 45 %¹³¹.

1937: Tecnecio (Tc)

Su nombre proviene de la palabra griega *technikos* que significa *artificial*, ya que fue el primer elemento obtenido artificialmente. Su existencia fue predicha de acuerdo con la tabla periódica de Mendeléiev y se le dio el nombre de eka–manganeso, ya que debería tener propiedades análogas al manganeso.

Se puede señalar que se encontró en el espectro de algunas estrellas. Parece ser que Walter Nodack (1893–1960) e Ida Tacke (1896–1978) lo detectaron espectroscópicamente en 1925 y le dieron el nombre de masurio, aunque se señala que fue descubierto realmente por Perrier y Segrè en una muestra de molibdeno

que había sido bombardeada con deuterones en el ciclotrón de Berkeley. Todos sus isótopos eran radiactivos, no eran estables¹³².

El tecnecio fue descubierto por Carlo Perrier (1886–1948) y Emilio Segrè (1905–1989). Como se mencionó arriba, ambos trabajadores de la Universidad de Palermo, en Italia, en el año 1937. Segrè convenció al inventor del ciclotrón para que le cediera alguna de las partes que habían sido descartadas del mismo y que se habían convertido en partículas radiactivas. Así, a principios de dicho año Lawrence le envió una hoja del elemento llamado molibdeno que era parte del ciclotrón. Segrè animó a su compañero Perrier para que le ayudará a demostrar que, por medio de la química comparativa, la actividad del molibdeno era originada por un elemento con Z de 43, el cual no existía dentro de la naturaleza por su inestabilidad, ocasionada por la desintegración nuclear. Luego de varios intentos, lograron aislar tres períodos de desintegración¹³³.

Cuando se descubrió el renio en 1925, se creyó que también se había encontrado el elemento de número atómico 43, y se le dio el nombre de masurio. Sin embargo, se comprobó que no era cierto. Con el desarrollo de la energía nuclear a mediados del siglo XX, que permitió generar las primeras muestras de este elemento mediante reacciones nucleares, en 1962 el Tc–99 se aisló e identificó en el mineral pechblenda, procedente de África, en muy pequeñas cantidades, como producto de la fisión espontánea del Mo–99, descubrimiento hecho por B.T. Kenna y P.K. Kuroda (1917–2001). Cabe mencionar que en 1952¹³⁴, el astrónomo estadounidense Paul Merrill (1887–1961) identificó el tecnecio en el espectro de emisión de algunas estrellas gigantes rojas¹³⁵.

En 1971, se descubrió en Gabón que una reacción nuclear había tenido lugar en un depósito de uranio 2,000 millones de años atrás, y que aún había pequeñas trazas de elementos radiactivos creados entonces; entre estos, el tecnecio. El generador de tecnecio fue inventado en los Laboratorios Nacionales de Brookhaven, en Estados Unidos, hacia 1957.

En Brookhaven, como en Oak Ridge, fueron establecidos muchos métodos para la producción y la separación química de radioisótopos artificiales, y en el primer modelo de generador se extraía el tecnecio con ácido nítrico. Cabe mencionar que, con una vida media de 6 horas, y como producto de la desintegración de molibdeno 99, se logró un vida media de 66 horas¹³⁶.

En México, comenzaron a ser utilizados los generadores de tecnecio en 1965, los cuales dieron un gran impulso a la radiofarmacia y a la medicina nuclear, pues además de las convenientes características del radioisótopo, quienes los utilizaban requerían de un entrenamiento básico en farmacia y en protección radiológica para trabajar adecuadamente.

En el Primer Congreso de la Sociedad Mexicana de Medicina Nuclear, en 1967, fueron presentados trabajos sobre dos nuevos radiofármacos que se encontraban en su etapa experimental, trabajos auspiciados por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) y el Hospital 20 de Noviembre, del Instituto de Seguridad Social y Servicios para los Trabajadores del Estado (ISSSTE). El primero fue el que trataba sobre el uso de una pequeña cantidad de cloruro estanoso para reducir de manera fácil y rápida al tecnecio, y obtener a la vez partículas de hidróxido de estaño marcadas con tecnecio, de tamaño adecuado para centelleografía de pulmones.

La preparación de radiofármacos de manera más fácil marcados con tecnecio, se inició en 1970, cuando la CNEN comenzó a producir “núcleo–equipos”, en sus laboratorios de medicina nuclear. Se distribuía como dilución. Por ello, con este nombre de núcleo–equipos, se designa en México a los juegos de reactivos estables (kits) que se utilizan para preparar radiofármacos. El laboratorio de medicina nuclear de la CNEN elaboró generadores de indio–113m entre 1970–1971, donde la mayoría de los mismos contenían estaño. Estos reactivos son elaborados y probados con anticipación, con el fin de administrar tecnecio–99m de manera confiable en las formas químicas más comunes¹³⁷.

1939: Francio (Fr)

El origen de su nombre proviene de Francia, en honor al país en que se descubrió. El francio fue descubierto por Marguerite Perey (1909–1975) en 1939, en el Instituto Curie de París, pero su existencia la predijo Mendeléiev alrededor de 1870. El creador de la Tabla Periódica señaló que sus propiedades debían ser parecidas al cesio y lo llamó eka–cesio. Por su parte, Perey observó un producto de la desintegración alfa del actinio, el cual se reconoció como ^{223}Fr , y anunció el descubrimiento en una sesión de la Académie des Sciences, aportando la prueba de que se trataba de un metal alcalino¹³⁸.

El químico rumano Horia Hulubei (1896–1972) y su colega francesa Yvette Cauchois (1908–1999), en 1936, analizaron también la polucita, esta vez usando su aparato de rayos X de alta resolución, donde observaron varias líneas de emisión débiles que supusieron que sería por el elemento 87. Anunciaron su descubrimiento y propusieron el nombre de “moldavio”, con el símbolo Ml , en honor a Moldavia, la provincia rumana donde llevaron a cabo su trabajo.

Pero en 1937, el trabajo de Hulubei fue criticado por el físico americano F. H. Hirsh Jr., quien rechazó los métodos de investigación del químico rumano, ya que Hirsh estaba convencido de que el eka–cesio no podría ser encontrado en la naturaleza, y que las líneas que había observado Hulubei eran debidas al mercurio o al bismuto. Pero el químico rumano insistió en que su aparato de rayos X y sus métodos eran demasiado precisos como para cometer tales errores.

El nombre de francio fue oficialmente adoptado por la Unión Internacional de Químicos en 1949, y se le asignó el símbolo Fa . Pero esta abreviatura fue cambiada por Fr poco después. El francio es el último de los elementos que se encuentran en la naturaleza en ser descubierto, siendo el anterior el renio, encontrado en 1925. Posteriores investigaciones sobre la estructura del francio fueron llevadas a cabo por Sylvain Lieberman (?–1988) y su equipo en la Organización Europea para la

Investigación Nuclear CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) en los 70 y 80, entre otros¹³⁹.

1940: Neptunio (Np)

Su nombre fue otorgado en honor del planeta Neptuno y por el Dios romano. El neptunio fue el primer elemento artificial transuránico (después del uranio), de la serie de los actínidos. Se descubrió por Edwin Mattison McMillan (1907–1991) y Philip Hauge Abelson (1913–2004), en Berkeley, California, bombardeando uranio con neutrones producidos en un ciclotrón¹⁴⁰.

Es en 1984 que un equipo de científicos alemanes informó de resultados preliminares de un experimento, con ratones, diseñado para medir el efecto combinado del depósito de neptunio-239 en los huesos y la desintegración a plutonio 239. Los resultados iniciales encontraron evidencia de que el incremento de plutonio 239 (al desintegrarse el neptunio) aumentaba el número de tumores de hueso comparado con aquellos que se esperaban debido a la exposición al neptunio¹⁴¹.

La creación de nuevos elementos en el laboratorio se convirtió en una gran empresa de científicos y líderes militares en 1940. Con la síntesis del neptunio, y luego del plutonio, se obtuvo el combustible de fisión de la bomba que destruyó la ciudad de Nagasaki¹⁴², el 9 de agosto de 1945.

A finales del 2002, se creó la primera masa nuclear compuesta por este elemento y varias capas de uranio beneficiado. La investigación dejó en evidencia que es un material para bombas tan bueno como el uranio-235, pero lo cierto es que hasta el momento no se ha conocido un arma nuclear real que se haya construido con base en neptunio.

El neptunio sigue siendo un elemento importante para estudiar, porque es producido por reacciones nucleares de uranio y plutonio. Puede durar como desecho radiactivo dañino durante millones de años, según un informe de 2003 del Pacific Northwest Nuclear Laboratory. Por lo tanto, comprender la química del neptunio

es esencial para garantizar un almacenamiento seguro de desechos nucleares a largo plazo¹⁴³.

1940: Astatato (At)

El origen del nombre de este elemento proviene de la palabra griega *astatos*, que significa *inestable*, debido a que este elemento carecía de isótopos estables. Se detectó bombardeando el isótopo de bismuto ²⁰⁹Bi con partículas alfa¹⁴⁴.

El ástato fue sintetizado por primera vez en 1940, por Dale R. Corson (1914–2012), K. R. MacKenzie (1912–2002) y Emilio Segrè en la Universidad de Berkeley (California), bombardeando bismuto con partículas alfa. Un primer nombre para el elemento fue alabamino (Ab)¹⁴⁵.

Uno de los laboratorios donde se trabaja con este elemento químico raro, escaso y de corta vida media, está situado en el CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire), en Ginebra, Suiza, conocido como el ISOLDE Radioactive Ion Beam Facility. En estas instalaciones, el equipo dirigido por Valentin Fedosseev ha conseguido estudiar la estructura atómica del astato con un experimento realizado gracias a una técnica conocida como espectroscopía de ionización por resonancia láser.

Gracias a su investigación, publicada en *Nature Communications*, los científicos han podido medir la energía de ionización del astato. En otras palabras, los investigadores conocen la energía que se necesita para arrancar un electrón del átomo (convirtiéndolo por tanto en un ion); esta medida está relacionada con la reactividad química del propio astato y con su estabilidad¹⁴⁶.

Según el equipo del CERN, el valor publicado podría ayudar a conocer nuevas aplicaciones de este elemento químico tan raro. Un ejemplo de su uso podría estar en radioterapia, ya que investigaciones anteriores apuntaban a sus ventajas en el tratamiento del cáncer (especialmente del isótopo ²¹¹At), debido a sus propiedades. De hecho, existe incluso una patente que apunta al uso de liposomas radiactivos,

debido a que la desintegración del astato provoca la emisión de partículas alfa, que tienen bajo poder de penetración y alta masa; capacidades que las hacen ideales para atacar las células tumorales, una por una¹⁴⁷.

Los reveladores resultados de este proyecto, concebido por el profesor Andrei Andreyev, del departamento de Física de la Universidad de York, y por el doctor Valentine Fedosseev, del laboratorio europeo de investigación en física nuclear en Ginebra (CERN), fueron publicados por la revista *Nature Communications*, donde se dio a conocer el descubrimiento.

1940: Plutonio (Pu)

Su nombre proviene del planeta Plutón, en honor al Dios romano de la muerte. Es el segundo de los elementos transuránicos en ser sintetizado; lo obtuvieron bombardeando uranio con deuterones, en el ciclotrón de Berkeley¹⁴⁸.

El plutonio fue descubierto y presentado como nuevo elemento en 1934. El autor de su descubrimiento fue el gran físico italiano Enrico Fermi, que cuenta entre otros de sus logros el formular la Paradoja de Fermi. En un principio, Fermi introdujo este material en la tabla periódica en el número 94, bajo el nombre de hesperio; sin embargo, tiempo después se descubrió que en realidad era una combinación de varios elementos, como el bario y el kriptón¹⁴⁹.

El plutonio (específicamente, plutonio-238) fue producido y aislado por primera vez en 1940 y fue identificado químicamente en 1941 por el Dr. Glenn T. Seaborg (1912–1999), Edwin M. McMillan, J. W. Kennedy (1916–1957) y A. C. Wahl, bombardeando uranio con deuterio, en el ciclotrón de 150 cm de diámetro, de la Universidad de California, Berkeley. En el experimento de 1940, se produjo neptunio-238 en el bombardeo, pero se desintegró por emisión beta con una semivida corta, de unos dos días, que indicaba la formación del elemento 94¹⁵⁰.

El documento científico del descubrimiento fue preparado por el equipo y enviado a la revista *Physical Review*, en marzo de 1941. El documento fue retirado antes de

la publicación debido a que descubrieron que un isótopo de este nuevo elemento (plutonio-239) podría experimentar la fisión nuclear de forma tal, que podría ser útil para la bomba atómica. Por ello, la publicación se retrasó hasta un año después del fin de la Segunda Guerra Mundial¹⁵¹.

Edwin McMillan había nombrado recientemente al primer elemento transuránico en honor al planeta Neptuno y sugirió que el elemento 94, siendo el siguiente elemento de la serie, fuera nombrado como el que en ese momento era el siguiente planeta, Plutón. Seaborg eligió las letras "Pu" como una broma, que fue aprobada sin previo aviso en la tabla periódica. En 1943, algunos trifluoruros de plutonio fueron reducidos para crear la primera muestra de plutonio metálico, unos pocos microgramos de perlas metálicas. Se produjo suficiente plutonio para que fuera el primer elemento sintético visible a simple vista.

Durante la Segunda Guerra Mundial, Estados Unidos creó el Proyecto Manhattan, que fue el encargado de desarrollar la bomba atómica. Los tres principales sitios de investigación y producción del proyecto fueron: la instalación de producción de plutonio, en lo que ahora es Hanford Site; las instalaciones de enriquecimiento de uranio en Oak Ridge, Tennessee, y el laboratorio de investigación y diseño de armas, ahora conocido como Laboratorio Nacional de Los Álamos, de donde surgió el primer reactor de producción que producía plutonio-239, el reactor de Grafito X-10, que empezó a funcionar en 1943 y fue construido en una instalación en Oak Ridge, que después se convirtió en el Laboratorio Nacional Oak Ridge. En 1944, Emilio Segrè, fue el que recibió la primera muestra de plutonio producido por el reactor de Oak Ridge.

A partir de lo anterior, la primera prueba de una bomba atómica, denominada *Trinity* y detonada en 1945, cerca de Alamogordo, Nuevo México, contenía plutonio como su material de fisión. En el diseño de la implosión del dispositivo, se usaron lentes explosivos convencionales para comprimir una esfera de plutonio en una masa supercrítica que, a su vez, era bombardeado simultáneamente con neutrones

desde el “Urchin”, un iniciador hecho de polonio y berilio, y con un diseño idéntico al utilizado en la bomba atómica *Fat Man*, lanzada sobre Nagasaki en 1945, matando a 70,000 personas e hiriendo a otras 100,000. La bomba *Little Boy* lanzada sobre Hiroshima tres días antes, usó uranio-235 y no plutonio. Es importante señalar que fue hecha pública la existencia del plutonio solamente luego del anuncio de las primeras bombas atómicas.

Por otra parte, durante y después del final de la Segunda Guerra Mundial, los científicos que trabajaban en el Proyecto Manhattan y en otros proyectos de investigación de armas nucleares, llevaron a cabo estudios de los efectos del plutonio en animales de laboratorio y en seres humanos. Los estudios en animales revelaron que unos pocos miligramos de plutonio por kilogramo de tejido representan una dosis letal. En el caso de los seres humanos, dichos experimentos implicaban inyectar soluciones que solían contener cinco microgramos de plutonio en pacientes que se creía que sufrían de una enfermedad terminal, o que tuvieran una esperanza de vida menor a diez años. Esta cantidad fue reducida a un microgramo después de que, en 1945, en los estudios en animales, se constatará que el plutonio era más peligroso que el radio¹⁵².

En la década de los '90, la periodista estadounidense Eileen Welsome (1951–), del *Diario de Albuquerque*, ganó el premio Pulitzer tras sacar a la luz pública estudios comisionados por las fuerzas armadas del país, sobre los efectos de exponer al ser humano a la radiación. Estos incluyeron experimentos llevados a cabo por militares estadounidenses en personas sin su consentimiento; tanto presos y pacientes de hospitales fueron usados como conejillos de indias. En el experimento, fueron suministradas dosis de radiación en los desayunos de niños huérfanos, siendo Peter Marshall, reportero de investigación quien informó de los experimentos a la BBC en 1994.

La frase "Houston tenemos un problema" es lo que el comandante Jim Lovell (1928–) dijo al centro de comando de la NASA en la Tierra momentos después de que el

Apolo 13 fue estremecido por una explosión, que ocurrió en 1970, cuando la nave espacial ya tenía 56 horas y 200,000 millas de misión recorridas. Se trataba del tercer intento del ser humano para posarse sobre la Luna. Uno de los tanques de oxígeno había explotado, dañando severamente la principal fuente de energía de la nave y causando que la temperatura a bordo cayera peligrosamente y aumentaran los niveles de dióxido de carbono. Lovell y su tripulación, tuvieron que replegarse al módulo lunar, que llevaba a bordo instrumentos científicos alimentados por una batería que contenía 8.5 libras de plutonio puro; dicha batería ayudó a salvar las vidas de los astronautas¹⁵³.

A partir de esa situación, el plutonio ha sido clave en varias misiones exitosas. La sonda espacial Voyager, por ejemplo, contiene baterías que todavía proveen un estimado de 300 vatios de energía al día, 200 menos de las que daba cuando fue lanzada en 1977. El vehículo que recorre Marte también depende del calor que genera el plutonio para evitar que sus articulaciones se congelen, y por supuesto, para darle electricidad.

El primer aislamiento del plutonio en el Laboratorio de Metalurgia, fue precedido por el ensayo ultramicroquímico del procedimiento de separación por fosfato de bismuto. El primer compuesto químico de plutonio, libre de portadores y de toda materia extraña, se preparó en 1942, fecha histórica en que el hombre pudo comprobar por primera vez la existencia del plutonio y, en realidad, la de un isótopo obtenido sintéticamente. En el mismo año se pudo pesar por primera vez un compuesto puro de plutonio (2.77 microgramos de PuO_2)¹⁵⁴.

Establecido en Columbia como parte del Proyecto Manhattan, donde estuvo el primer reactor nuclear a gran escala y el sitio de donde salió el plutonio de la primera arma nuclear y de la bomba de Nagasaki, hoy en día el complejo nuclear de Hanford es “el lugar más tóxico de América”, donde ocurrió el accidente más grave: el de Harold McCluskey.

Harold McCluskey acababa de reincorporarse al trabajo tras una huelga de cinco meses cuando ocurrió el accidente. La planta de acabado de plutonio había estado cerrada todo ese tiempo y el material con el que trabajaba se había vuelto inestable. Cuando vio humo al otro lado de su caja de guantes y trató de escapar, en un instante todo ello explotó. Harold inhaló la mayor dosis de radiación jamás registrada en un ser humano. Desde entonces se le conoce como *Atomic Man*, el auténtico hombre atómico.

Este accidente ocurrió cuando el operador químico vigilaba una columna de intercambio iónico para extraer el americio, un elemento artificial 50 veces más radiactivo que el plutonio. Harold tenía que bombear ácido nítrico muy concentrado a través de una capa de resina. Al agregar el ácido desde lo alto de una escalera, Harold oyó un silbido desconocido y se quedó petrificado, después un destello de luz azul iluminó la sala y una fuerte explosión hizo que todo saltara por los aires¹⁵⁵.

El cuerpo de Harold quedó cubierto con material radiactivo incrustado en la piel, vidrio de plomo y vapores de americio en los pulmones. La explosión le había arrancado el respirador y el ácido nítrico le había quemado la cara, acababa de absorber la mayor dosis de radiación jamás registrada en un técnico nuclear, 500 veces superior a lo que una persona podría recibir sin sufrir ningún daño irreparable en su organismo¹⁵⁶. Fue llevado al centro de descontaminación, el ácido lo había dejado temporalmente ciego y el estallido había dañado su audición; se mantuvo en un tanque de acero y hormigón, durante tres semanas sin contacto con nadie por miedo a que la radiación contaminara a otras personas; pasó un mes hasta que su familia pudo acercarse a menos de 10 metros.

Pese a que sólo algunos pensaron que podría sobrevivir, lo logró y durante cinco meses le inyectaron 600 vacunas DTPA de zinc, un fármaco que se une a los metales radiactivos. Las enfermeras lo lavaban y afeitaban todos los días, tirando las toallas y el agua de sus baños en un vertedero de residuos nucleares. Era tal la cantidad de americio que había en su cuerpo, que cada exhalación disparaba la aguja de

medición de radiactividad del contador de Geiger. El tratamiento funcionó y su nivel de radiactividad cayó un 80 % tras casi medio año de aislamiento, lo que le permitió volver a su casa, donde tuvo problemas de otro tipo, pues era el miedo a ser contaminados por la radiación que las personas no se acercaban a él. Terminó aislado del resto de las personas sin estar confinado a ningún lugar¹⁵⁷.

Harold murió de una insuficiencia cardíaca congestiva en 1987, a la edad de 75 años, mientras visitaba a su hija. No se tienen señales de que su muerte hubiera estado vinculada con su accidente, lo que dejó perplejos a los científicos. El lugar del accidente fue demolido en 2017, como parte de un trabajo de limpieza que borrará del mapa la antigua planta¹⁵⁸.

1944: Curio (Cm)

Su nombre se otorgó en honor de Pierre y Marie Curie. Se le identificó en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago, producido como consecuencia del bombardeo con iones helio de ²³⁹Pu en el ciclotrón de Berkeley. El curio fue sintetizado por primera vez en la Universidad de California, Berkeley, por Glenn T. Seaborg (1912–1999), Ralph A. James (1920–1973) y Albert Ghiorso (1915–2010), en 1944, pero se eligió el nombre curio en honor a Marie Curie y su marido Pierre, famosos por descubrir el radio y por otros importantes trabajos sobre radiactividad¹⁵⁹.

Werner y Perlman lograron aislar unos 30 microgramos del hidróxido del isótopo ²⁴²Cm en 1947, en la Universidad de California. Pero en 1950, Crane, Wallmann y Cunningham encontraron que la susceptibilidad magnética de muestras de CmF₃ era parecida a la del GdF₃, lo que hizo posible asignar la configuración electrónica al ion Cm⁺³. Este mismo equipo, un año más tarde, logró preparar por primera vez el curio en su forma elemental. Las pruebas atmosféricas de armas nucleares, que cesaron en 1980 en todo el mundo, generaron la mayor parte del curio ambiental. Los accidentes y otros escapes de las instalaciones de producción de armas nucleares

han provocado contaminación localizada, donde el óxido de curio es la forma más común presente en el ambiente¹⁶⁰.

Los primeros estudios en los 80 encontraron grandes excesos de U-235 en cualquier inclusión de meteoritos que analizaron, y concluyeron que el curio era muy abundante cuando se formó el sistema solar. Experimentos más refinados realizados por James Chen y Gerald Wasserburg (1927–2016), SB, SM, PhD, en el Instituto de Tecnología de California, mostraron que estos primeros resultados eran espurios, y que, si el curio estaba presente en el sistema solar primitivo, su abundancia fue tan baja que la instrumentación del estado de la tecnología no sería capaz de detectarlo. Los científicos tuvieron que esperar hasta que se desarrolló un nuevo espectrómetro de masas de mayor rendimiento para identificar con éxito, en 2010, que los pequeños excesos de U-235 podrían ser la prueba irrefutable de la presencia de Cm-247 en el sistema solar primitivo¹⁶¹.

Hasta 1947, fue posible aislar el curio en cantidades visibles. Los físicos L. B. Werner e I. Perlman, que trabajan en el Laboratorio de Radiación de Berkeley (Universidad de California), obtuvieron alrededor de 30 microgramos del isótopo Cm-242 como hidróxido puro. La estructura cristalina y el punto de fusión del curio metálico fueron determinados en 1964 por B. B. Cunningham y J. C. Wallmann. El descubrimiento de curio, así como el del americio, en 1944 estaba estrechamente relacionada con el Proyecto Manhattan, por lo que los resultados fueron confidenciales durante mucho tiempo y solo fueron desclasificados en 1945¹⁶².

1944: Americio (Am)

Su nombre proviene de la palabra inglesa América, en honor al lugar donde fue descubierto. El isótopo ²⁴¹Am fue identificado por Glenn Theodore Seaborg (1912–1999), Ralph A. James (1920–1973), Leon G. Morgan (1919–2002) y Albert Ghiorso (1915–2010), en 1944, en el Laboratorio de Metalurgia de la Universidad de Chicago. Producido como consecuencia de sucesivas reacciones de captura neutrónica por isótopos de plutonio en un reactor nuclear. Fue aislado por primera

vez al crear el isótopo ^{241}Am , a partir de ^{239}Pu , bombardeándolo con neutrones en un reactor nuclear. Esto se transformó en ^{240}Pu y después en ^{241}Pu , cambiando así a ^{241}Am por desintegración beta¹⁶³.

Este elemento está formado principalmente sólo por isótopos radiactivos creados por los hombres. Estos pueden estar presentes en suelos y agua en muy pequeñas cantidades, como resultado de las pruebas de armas nucleares previas a su prohibición en 1963. En 1945, se anunció oficialmente el descubrimiento del americio y del curio, en una reunión de la American Chemical Society¹⁶⁴.

El descubrimiento del americio y curio en 1944, estaba estrechamente relacionado con el Proyecto Manhattan; los resultados fueron clasificados como confidenciales, hasta 1945. Seaborg filtró la síntesis de los elementos 95 y 96 en el programa de radio de Estados Unidos para niños *Cuestionario niños*, cinco días antes de la presentación oficial en la American Chemical Society, en la reunión del 11 de noviembre de 1945, cuando una de las oyentes les preguntó si había sido descubierto, durante la guerra, cualquier nuevo elemento transuránico después de plutonio y neptunio¹⁶⁵.

El americio a menudo entra en vertederos de desechos detectores de humo, pues las reglas asociadas con la eliminación de los detectores de humo están relajadas en la mayoría de las jurisdicciones. En 1994, David Hahn con 17 años de edad extrajo el americio de unos 100 detectores de humo, en un intento de construir un reactor nuclear criador. Si bien ha habido pocos casos de exposición al americio, siendo el peor de ellos el del técnico de operaciones químicas Harold McCluskey, no se han reportado más.

1944: Prometio (Pm)

El origen de su nombre proviene de *Prometheus*, personaje de la mitología griega, un Titán que robó el fuego de los Dioses del Olimpo para darlo a los hombres y favorecer su progreso. El prometio tomó este nombre debido a que forma sales

resplandecientes, que dan la sensación de que arden. Se obtuvo en 1941, en la Universidad de Ohio. Ahí, los científicos irradiaron neodimio y praseodimio con neutrones, deuterones y partículas alfa, observando nuevas actividades radiactivas que probablemente correspondieran al elemento prometio.

En 1902, Branner predijo la existencia de este elemento. Diversos grupos aseguraron haberlo obtenido, pero debido a la dificultad para separar el prometio de otros elementos, nunca pudieron confirmar tales descubrimientos. Jacob A. Marinsky (1918–2005), Lawrence E. Glendenin (1918–2008) y Charles D. Coryell (1912–1971), en 1944, probaron la existencia del prometio¹⁶⁶.

Los científicos Wu, Segrè y Bethe, en 1942, confirmaron la obtención del prometio; pero se carecía de la prueba química de la formación de este elemento por la dificultad que existe para separar entre sí las tierras raras. No fue sino hasta 1945 que Marinsky, Glendenin y Coryell hicieron la primera identificación química, empleando cromatografía de intercambio iónico. La obtención la efectuaron por fisión de uranio y mediante bombardeo de neodimio con neutrones¹⁶⁷.

Ya, en 1902, el profesor de química checo Bohuslav Brauner (1855–1935), como parte de sus investigaciones sobre la química de los lantánidos, propuso la existencia de un elemento que se ubicaría entre el neodimio y el samario en la tabla periódica. Posteriormente, en 1914, Henry Moseley (1887–1915) confirmó experimentalmente la predicción de Brauner. En su trabajo con Rayos X, donde estableció que el número atómico no era un número semiarbitrario para enlistar los elementos sino el número de cargas positivas en los núcleos atómicos, encontró que faltaban varios elementos para completar la Tabla Periódica, entre ellos el de número atómico 61 que posteriormente vendría a ser el prometio¹⁶⁸.

En 1963 se usaron métodos de intercambio iónico en ORNL para obtener aproximadamente 10 gr. de prometio de los desechos de combustible de los reactores nucleares. Fritz Weigel (1926–1986) pudo producir por primera vez prometio metálico, calentando fluoruro de prometio (III) con litio en el crisol de tantalio¹⁶⁹.

1949: Berkelio (BK)

El nombre se lo pusieron en honor a la Universidad de Berkeley, en California. Se obtuvo en el ciclotrón de Berkeley, mediante el bombardeo de unos miligramos de ^{241}Am con iones helio. Se descubrió en diciembre de 1949, por los químicos estadounidenses Glenn Theodore Seaborg, Stanley G. Thompson, y Albert Ghiorso, en los laboratorios de aquella universidad. En 1962, se produjo una cantidad apreciable (1 billonésima de gramo), de un compuesto puro de berkelio: cloruro berkelio. Para identificar diversos compuestos del elemento se han usado métodos de difracción de rayos X¹⁷⁰.

Desde 1967, la producción total de berkelio en Estados Unidos apenas supera la cantidad de un gramo. No existe una aplicación práctica del berkelio, aparte de la investigación científica, misma que se enfoca principalmente en la síntesis de elementos transuránicos más pesados. En 2009, en Oak Ridge se preparó una cantidad de 22 miligramos de berkelio-249 mediante la irradiación durante 250 días, seguida de un proceso de purificación de 90 días. Esta muestra fue utilizada para sintetizar, en el mismo año y por primera vez, el elemento ununseptio en el Joint Institute for Nuclear Research, de Rusia, tras ser bombardeado con iones de calcio-48 durante 150 días. Este experimento fue la culminación de la colaboración entre Rusia y Estados Unidos para la síntesis de los elementos 113 al 118¹⁷¹.

1950: Californio (Cf)

Su nombre es en honor al Estado y a la Universidad de California. Se obtuvo en el ciclotrón de Berkeley mediante bombardeo de unos microgramos de ^{242}Cm con iones helio de 35 MeV. Los investigadores de física Stanley G. Thompson (1912–1976), Kenneth Street, Jr. (1920–2006), Albert Ghiorso y Glenn T. Seaborg sintetizaron por primera vez californio, en la Universidad de California, Berkeley, el 9 de febrero de 1950. Fue el sexto elemento transuránico en ser descubierto. El equipo anunció su descubrimiento el 17 de marzo de 1950¹⁷².

Se obtuvieron por primera vez cantidades apreciables de californio mediante la irradiación de plutonio en el reactor de ensayos con materiales del Laboratorio Nacional de Idaho. Estos resultados fueron publicados en 1954, y en estas muestras se observó la alta tasa de fisión espontánea del californio-252. Así, el primer experimento con californio en forma concentrada tuvo lugar en 1958. Los isótopos de californio entre 249 y 252 fueron aislados el mismo año a partir de una muestra de plutonio-239 que había sido irradiada con neutrones en un reactor nuclear durante cinco años. En 1960, Burris Cunningham (1912-1971) y James Wallman, del Lawrence Berkeley National Laboratory, de la Universidad de California, crearon los primeros compuestos de californio que fue el tricloruro de californio, oxiclорuro de californio y óxido de californio, tratándolo con vapor y ácido clorhídrico.

El Reactor de Isótopos de Alto Flujo (HFIR), del Laboratorio Nacional Oak Ridge, empezó a producir pequeños lotes de californio en la década de 1960; pero para 1995, el HFIR producía 500 mg de californio al año. Para su producción se utilizó plutonio suministrado por Reino Unido a Estados Unidos bajo el *Acuerdo de Defensa Mutua* entre ambos países y que se remonta a 1958. Así, la Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos vendió californio-252 a clientes industriales y académicos a principios de los 70 por 10 dólares el microgramo, enviando una media de 150 mg de californio-252 cada año desde 1970 hasta 1990. El californio metálico fue preparado por primera vez en 1974 por Haire y Baybarz, quienes redujeron óxido de californio (III) con lantano metálico para obtener unas películas gruesas de unos miligramos.

Una de las aplicaciones que tienen este elemento, es que los neutrones del californio son empleados para tratar ciertos tipos de cáncer cervical y tumores cerebrales cuando otras técnicas de radioterapia no resultan efectivas. Ha sido usado en aplicaciones educacionales desde 1969, cuando el Instituto de Tecnología de Georgia recibió un préstamo de 119 μg de californio-252 de la Savannah River Plant.

También se utiliza en analizadores de carbón y analizadores de materiales a granel en la industria del carbón y el cemento.

Los principales usos del californio-252 en 1982 eran, en orden de uso, para la puesta en marcha de reactores (48.3 %), escáneres de barras de combustible nuclear (25.3 %) y análisis por activación (19.4 %). En 1994, la mayoría del californio-252 era usado en la radiografía neutrónica (77.4 %), los escáneres de barras de combustible nuclear (12.1 %), y la puesta en marcha de reactores (6.9 %)¹⁷³.

1952: Einstenio (Es)

Se le nombró así en honor a Albert Einstein. Se identificó en diciembre de 1952 por Ghiorso y colaboradores, en los restos de la primera gran explosión termonuclear que tuvo lugar en el Pacífico, en noviembre de 1952, y se origina por la captura múltiple de neutrones del uranio¹⁷⁴.

El einstenio fue descubierto entre los restos químicos de una explosión termonuclear en el océano Pacífico, ocurrida en el año 1952. Los científicos encargados de realizar dicha investigación fueron G. R. Choppin, A. Ghiorso, B. G. Harvey y S. G. Thompson. En esta prueba, conocida como *Ivy Mike*, realizada en noviembre de 1952, se detonó una bomba de 10 megatones en el Pacífico Sur. Tras un exhaustivo análisis de los restos que quedaron de la explosión, el equipo liderado por Ghiorso descubrió el isótopo de einstenio ²⁵³Es. Este mismo equipo se encargó de aislar el elemento y lo llamaron así en honor a Einstein, resultando ser el séptimo elemento transuránico. Sin embargo, el descubrimiento se mantuvo en secreto hasta 1995, por dictamen del gobierno de Estados Unidos, debido a las tensiones ocasionadas por la Guerra Fría¹⁷⁵.

Tanto el nombre de einstenio como de fermio (símbolo Fm) causaron gran controversia en la comunidad cuando fueron elegidos, ya que fueron nombrados cuando Einstein y Fermi aún vivían, violando una de las normas de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés)¹⁷⁶.

1952: Fermio (Fm)

También se debe su nombre a un gran científico: Enrico Fermi, constructor del primer reactor nuclear. Se identificó en diciembre de 1952 por Ghiorso y colaboradores, en los restos de la misma gran explosión termonuclear que tuvo lugar en el Pacífico en noviembre de 1952. Los resultados no se publicaron de inmediato, ya que se guardaba en secreto el descubrimiento de los elementos 99 y 100 por razones de seguridad. Un grupo del Instituto Nobel de Física de Estocolmo bombardeó ^{238}U con iones del isótopo ^{16}O y aislaron el isótopo del fermio ^{254}Fm ¹⁷⁷.

Fue descubierto en 1954, se le llamó Centurio y su símbolo era Ct. Actualmente, su antiguo nombre y símbolo ya no se utilizan. La Guerra Fría hizo que tanto el einstenio como el fermio no entrasen en polémica y los nombres pudieron conservarse, pues cuando se anunció su descubrimiento, ambos ya habían fallecido, por lo que no fueron objeto de reclamación¹⁷⁸.

1955: Mendelevio (Md)

Se le nombró así en honor a Dimitri Mendeléiev, químico ruso, padre de la tabla periódica. Este elemento se obtuvo mediante el bombardeo del isótopo del einstenio ^{253}Es con iones helio en el ciclotrón de Berkeley¹⁷⁹.

El mendelevio es el noveno elemento transuránico descubierto de la serie de los actínidos. Lo identificaron Albert Ghiorso, Bernard G. Harvey, Gregory R. Choppin, Stanley G. Thompson y Glenn T. Seaborg el 19 de febrero de 1955, mediante el bombardeo del isótopo einstenio-253 con iones helio en el ciclotrón de 60 pulgadas de la Universidad de California, en Berkeley. El isótopo producido fue el 256-Md con una vida media de 76 minutos¹⁸⁰.

1966: Nobelio (No)

Fue nombrado así por Alfred Nobel, químico sueco que descubrió la dinamita y fundador de los premios Nobel. Se obtuvo por un equipo de científicos que trabajaba en Estocolmo y que anunció, en 1957, el descubrimiento de un isótopo del elemento

de número atómico 102. Consiguieron este isótopo al bombardear el isótopo de curio ^{244}Cm con iones del isótopo del carbono ^{13}C . En 1958, un grupo en Berkeley anunció que no podían reproducir este proceso para obtener el nobelio, al igual que el grupo de Dubna en Rusia. Posteriormente, el nobelio fue descubierto en verdad por Seaborg y sus colaboradores en California, en 1958¹⁸¹.

Cabe señalar que, como todos los elementos de este grupo, el nobelio fue descubierto en Berkeley, en la Universidad de California, gracias a los trabajos desarrollados por los científicos Glenn Seaborg, Torbørn Sikkeland y John R. Walton, encabezados por el gran químico Albert Ghiorso, en 1958. El año previo al descubrimiento del nobelio, desde el Instituto Nobel de Física, en Suecia, se anunció el hallazgo de un nuevo elemento que dieron en nombrar nobelio, pero la producción no pudo ser replicada hasta 1966, cuando se logró una forma pura y adecuada del elemento. Cuando científicos del Laboratorio Fliórov de Reacciones Nucleares de la Unión Soviética lo lograron. Durante un tiempo, se le dio el nombre provisional de unnilbio, pero finalmente decidieron mantener el nombre que se le había otorgado originalmente¹⁸².

Entre los 50 y 60, muchos reclamos del descubrimiento del nobelio se hicieron desde los laboratorios de Suecia, la Unión Soviética, y el de Estados Unidos. Aunque los científicos suecos pronto se retractaron de sus afirmaciones, la prioridad del descubrimiento y, por tanto, la denominación del elemento se disputó entre los científicos soviéticos y americanos. Luego de haber revisado todos los reclamos, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) dictaminó que realmente el nobelio se descubrió en Dubna, en 1966. Esto ocurrió en 1997 en que ya de forma definitiva se estableció nobelio como nombre oficial para el elemento y se acreditó el descubrimiento al equipo soviético.

1967: Laurencio (Lr)

Fue nombrado así en honor a Ernest Lawrence, el inventor del ciclotrón. Se obtuvo bombardeando varios isótopos de californio con iones de boro en un acelerador lineal de partículas. En 1967, investigadores en física nuclear en Dubna, Rusia, informaron que no pudieron confirmar la asignación de un emisor alfa con un período de semidesintegración de ocho segundos al isótopo ^{257}Lr . Posteriormente se dedujo que se trataba del isótopo ^{258}Lr . En su lugar, el equipo de Dubna reportó un isótopo con un período de semidesintegración de 45 segundos como ^{256}Lr ¹⁸³.

Otros experimentos demostraron la química actínida del nuevo elemento, por lo que en 1970 fue conocido como el último actínido. En 1971, el equipo de física nuclear de la Universidad de California, en Berkeley, realizó con éxito toda una serie de experimentos dirigidos a la medición de las propiedades de desintegración nuclear de los isótopos de lawrencio con masa de 255 a 260, y en 1992, el grupo transfermio de la IUPAC (la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) reconoció oficialmente a los equipos de física nuclear en Dubna y Berkeley como los codescubridores del lawrencio¹⁸⁴.

1969: Rutherfordio (Rf)

Para este elemento había tres nombres propuestos: dubnio (Db), kurchatovio (Ku), en honor a Igor Kurchatov (propuesto por los rusos) y rutherfordio (Rf), en honor a E. Rutherford (propuesto por los norteamericanos). Finalmente, el nombre aceptado fue rutherfordio, pese a que fueron científicos rusos quienes lo obtuvieron mediante reacciones de colisión entre los isótopos ^{242}Pu y ^{22}Ne . Los científicos americanos lo consiguieron por reacción de colisión entre ^{249}Cf y ^{12}C ¹⁸⁵.

El hecho llevó a una controversia sobre el nombre del elemento; puesto que los soviéticos sostenían haberlo sintetizado en Dubna; propusieron dubnio (Db) y kurchatovio (Ku) para el elemento 104, en honor de Ígor Vasílievich Kurchátov (1903–1960), ex jefe de la investigación nuclear soviética. Por su parte, los investigadores estadounidenses propusieron el nombre de rutherfordio (Rf), en

honor de Ernest Rutherford, un famoso físico nuclear neozelandés. La International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) adoptó temporalmente el nombre unnilquadium (Unq), según la denominación sistemática de elementos, hasta que en 1997 la disputa se resolvió con la adopción del nombre actual¹⁸⁶.

En 1964, G. N. Fliórov y colaboradores, en los laboratorios Dubna de la Unión Soviética, declararon ser los primeros en presentar la identificación del elemento 104. Un poco después sugirieron el nombre de kurchatovio (símbolo Ku), y en 1969, el grupo de Berkeley tuvo éxito en el descubrimiento incuestionable de dos isótopos emisores alfa del elemento 104 con número de masa 257 y 259, al bombardear ²⁴⁹Cf con proyectiles de ¹²C y ¹³C en el acelerador lineal de iones pesados de Berkeley (LINAC)¹⁸⁷.

1970: Dubnio. (Db)

Este elemento es nombrado así por el Instituto nuclear de Dubna, implicado en la búsqueda de elementos pesados. Los científicos rusos lo obtuvieron bombardeando ²⁴³Am con ²²Ne, y como en el anterior elemento, los científicos americanos lo consiguieron bombardeando ²⁴⁹Cf con ¹⁵N¹⁸⁸.

A partir de ahí, se desarrolló lo necesario para que en los 60 se produjeran cantidades microscópicas de dubnio en laboratorios de la Unión Soviética y California. Fue descubierto por el ruso Georgii Fliórov, en 1967–1970, y por el estadounidense Albert Ghiorso, en 1970. El descubrimiento se dio a la par, por lo que el nombramiento del elemento se disputó entre ambos científicos. Uno propuso llamarlo nielsbohrio, y el otro hahnio. Afortunadamente estos nombres no fueron reconocidos internacionalmente. Desde entonces, el elemento se le denominó temporalmente unnilpentio, hasta que en 1997 la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) estableció como el nombre oficial del elemento a dubnio.

En 1976, el equipo de Dubna continuó el estudio de la reacción mediante la cromatografía de gradiente térmico, y lograron identificar el producto como Penta

bromuro de dubnio–260, $^{260}\text{DbBr}_5$. En 1992, el IUPAC/IUPAP Transfermium Working Group evaluó las pretensiones de los dos grupos y concluyó que la confianza en el descubrimiento creció a partir de los resultados de ambos laboratorios. Por lo tanto, la pretensión del descubrimiento debería ser compartida. Aunque hay que apuntar que en 1971 se anunció la síntesis de dos nuevos isótopos del elemento 105 en el LINAC, por el grupo de A. Ghiorso y colaboradores en Berkeley¹⁸⁹.

El equipo soviético propuso el nombre nielsbohrio (Ns), en honor al físico nuclear danés Niels Bohr. El equipo estadounidense propuso que el nuevo elemento debería llamarse hahnio (Ha), en honor al químico alemán Otto Hahn. Por consiguiente, hahnio fue el nombre que muchos científicos estadounidenses y europeos occidentales usaban, y aparecía en muchos escritos publicados en ese momento. Nielsbohrio sólo fue usado en la Unión Soviética y los países del Bloque del Este.

Así estalló una controversia entre los dos grupos acerca de la denominación del elemento. Entonces la IUPAC adoptó unnilpentio (Unp) como el nombre temporal sistemático del elemento. En 1994, intentando resolver el problema, la IUPAC propuso el nombre joliotio (Jl), en honor al físico francés Frédéric Joliot–Curie, y que había sido propuesto por el equipo soviético para el elemento 102, nombrado posteriormente como nobelio.

Pero los dos pretendientes principales siguieron en desacuerdo sobre los nombres de los elementos 104 a 106. Fue hasta 1997 que se resolvió la disputa y se adoptó el nombre actual, dubnio (Db), en honor a la ciudad rusa de Dubna, la ubicación del Instituto Central de Investigaciones Nucleares. Sobre esto, la IUPAC alegó que el laboratorio de Berkeley ya había sido reconocido varias veces en la denominación de los elementos (por ejemplo, berkelio, californio, americio) y que la aceptación de los nombres rutherfordio y seaborgio para los elementos 104 y 106 debería compensarse mediante el reconocimiento de las contribuciones del equipo ruso en el descubrimiento de los elementos 104, 105 y 106¹⁹⁰.

1974: Seaborgio (Sg)

Se le dio el nombre en honor a Glenn T. Seaborg, químico nuclear norteamericano, ganador de un premio Nobel. Los científicos rusos lo obtuvieron bombardeando isótopos de plomo con iones de alta energía de ^{54}Cr ; mientras que los norteamericanos lo obtuvieron colisionando iones de ^{18}O con iones de $^{249}\text{Cf}^{191}$.

El elemento 106 fue descubierto casi simultáneamente por dos laboratorios, como sucedió en los anteriores elementos. En 1974, un grupo de investigadores norteamericanos liderado por Albert Ghiorso, en el Lawrence Radiation Laboratory, de la Universidad de California, en Berkeley, reportó la creación de un isótopo de número de masa 263 y una vida media de 1.0 s. En septiembre de 1974, un equipo soviético liderado por Georgii Fliórov, en el Instituto Conjunto para la Investigación Nuclear, en Dubna, reportó que había producido un isótopo de número de masa 259 y una vida media de 0.48 s.

Debido a que el trabajo del equipo norteamericano fue confirmado primero por un grupo independiente, éste sugirió el nombre de seaborgio en honor al químico norteamericano Glenn T. Seaborg, destacado miembro del equipo norteamericano, junto con Albert Ghiorso, J. M. Nitschke, José R. Alonso, C. T. Alonso, Matti Nurmi, E. Kenneth Hulet y R. W. Lougheed, en reconocimiento a su participación en el descubrimiento de varios actínidos. El nombre seleccionado por los investigadores fue motivo de controversia. Un comité internacional decidió, en 1992, que los laboratorios de Berkeley y Dubna deberían compartir el crédito por el descubrimiento.

En lo que se resolvía la controversia, la IUPAC adoptó el nombre unnilhexio (símbolo Unh) de manera temporal, según la denominación sistemática de elementos. En 1994, un comité de la IUPAC recomendó que el elemento 106 fuese nombrado rutherfordio y adoptó la regla de que ningún elemento podría ser nombrado en honor a una persona viva. Esta decisión fue duramente criticada por la American Chemical Society. Los críticos hicieron notar que ya existía un

precedente, ya que el elemento einstenio fue nombrado así durante la vida de Albert Einstein. En 1997, el nombre seaborgio fue reconocido internacionalmente para el elemento 106, como parte de un compromiso sobre los nombres de los elementos del 104 a 108¹⁹².

1981: Bohrio (Bh)

Recibe su nombre del físico danés Niels Bohr. Se obtuvo al bombardear ²⁰⁹Bi con núcleos de ⁵⁴Cr. De este elemento químico se esperaba que tuviera propiedades químicas semejantes a las del renio. Fue sintetizado e identificado sin ambigüedad en 1981, por un equipo de Darmstadt, Alemania, dirigido por P. Armbruster y G. Müzenberg. La reacción usada para producir el elemento fue propuesta y aplicada en 1976, por un grupo de Dubna (cerca de Moscú), que estaba bajo la guía de Yuri Oganesián¹⁹³.

Sin embargo, ciertos informes revelan que, en realidad, los científicos alemanes Peter Armbruster y Gottfried Munzenber fueron los primeros en lograr sintetizar el bohrio. Esto sucedió en el Instituto de Iones Pesados, Gesellschaft für Schwerionenforschung, en 1981¹⁹⁴.

El elemento químico bohrio, de símbolo (Bh) y número atómico 107, pertenece al grupo de los metales de transición. Las propiedades de este tipo de metales son: su elevada dureza, sus elevados puntos de fusión y ebullición, y ser buenos conductores de la electricidad y el calor. Fue anunciado como un nuevo elemento en 1976, por el Joint Institute for Nuclear Research (Instituto Conjunto para la Investigación Nuclear), de Dubna, Rusia. Sin embargo, su descubrimiento oficial se otorgó a un equipo dirigido por P. Armbruster y G. Müzenberg del Helmholtzzentrum für Schwerionenforschung (Centro de Investigación de Iones Pesados) de Darmstadt, Alemania, en 1981¹⁹⁵.

En 1998, se confirmó la existencia del isótopo de número másico 261, de vida media 11.8 ms y que se desintegra emitiendo partículas alfa de 10.40 MeV. Dos años

después, en el Instituto Paul Scherrer, en Suiza, científicos de varios países obtuvieron el bohrio 267 en forma de oxiclورو; estas indagaciones pusieron de manifiesto las afinidades existentes, en cuanto a su comportamiento químico, entre el bohrio y el resto de los elementos de su conjunto en la tabla periódica. El bohrio 264 es el isótopo más estable conocido.

Dos grupos anunciaron el descubrimiento del elemento. La evidencia de bohrium se informó por primera vez en 1976, por un equipo de investigación soviética dirigido por Yuri Oganessian, en el que los objetivos hechos de bismuto-209 y plomo-208 fueron bombardeados con núcleos acelerados de cromo-54 y manganeso-55, respectivamente. Dos actividades, uno con una vida media de una a dos milisegundos, y el otro con una vida media de aproximadamente cinco segundos, no se observaron, ya que la relación de las intensidades de estas dos actividades fue constante durante todo el experimento. Se propuso que la primera era del isótopo bohrium-261, y que la segunda era de su hija dubnium-257.

Más tarde, el isótopo dubnium se corrigió a Dubnium-258, que de hecho tiene una vida media de cinco segundos (dubnium-257 tiene un segundo de vida media); sin embargo, la vida media observada por su padre es mucho más corta que la vida media que más tarde se observó en el descubrimiento definitivo del bohrio en Darmstadt, en 1981. El descubrimiento fue fundamental en las mediciones detalladas de la cadena de desintegración alfa, de los átomos de bohrium producidos a isótopos previamente conocidas de fermio y californio. La IUPAC Grupo de Trabajo Transfermium/IUPAP (GTT) reconoció la colaboración GSI como descubridores oficiales en su informe de 1992.

La IUPAC recomendó que el elemento 107 se llamara bohrio, no nielsbohrium, ya que no había ningún precedente para usar el nombre completo de un científico en el nombramiento de un elemento. Esto se opuso a la opinión de los descubridores, ya que había cierta preocupación de que el nombre podría ser confundido con el del boro. Entonces fue la rama danesa de la IUPAC quien votó a favor del nombre

bohrio, por lo que fue reconocido por el elemento 107 a nivel internacional en 1997. Los nombres de los respectivos oxianiones de boro y bohrio permanecen sin cambios a pesar de su homofonía¹⁹⁶.

1982: Meitnerio (Mt)

El nombre es en homenaje a Lise Meitner, física austriaca. Se obtuvo mediante el bombardeo de un blanco de ²⁰⁹Bi con núcleos de ⁵⁸Fe acelerados, partiendo de la idea de que si la energía de los dos núcleos es suficientemente alta, se superan las fuerzas repulsivas y se produce el proceso de fusión¹⁹⁷.

Este elemento fue encontrado por accidente en 1982, por Peter Armbruster (1931–) y Gottfried Münzenberg (1940–), en el Instituto de Investigación de iones Pesados (Gesellschaft für Schwerionenforschung), en Darmstadt. El nombre de meitnerio fue sugerido en honor a la matemática y física, de origen austríaco y sueco, Lise Meitner (1878–1968. Por lo pronto, la IUPAC adoptó el nombre de unnilennio (símbolo Une) de manera temporal, como nombre sistemático del elemento para, finalmente, en 1997, adoptar definitivamente el nombre actual¹⁹⁸.

En 1982, los investigadores alemanes Peter Armbruster y Gottfried Münzenberg lograron sintetizar por primera vez el elemento radiactivo que luego sería bautizado como meitnerio. Armbruster explicó, entonces, que el objetivo era "hacer justicia a una víctima del racismo alemán y dar el justo crédito a una vida y trabajo científicos". Ni siquiera la dos veces ganadora del premio Nobel, Marie Curie tiene su propio elemento, el curio, pues fue bautizado tanto por ella como por su esposo, Pierre. Por lo que la única mujer real que fue honrada en exclusiva con un elemento en la tabla periódica es la física teórica austríaca, Lise Meitner y su meitnerio¹⁹⁹.

1984: Hassio (Hs)

El hasio fue sintetizado por primera vez en 1984 por el grupo de investigación alemán Gesellschaft für Schwerionenforschung localizado en Darmstadt. Su nombre procede del latín *Hassias* que significa Hess, que es el nombre de un estado

alemán. Su obtención se logró mediante bombardeo de ^{208}Pb con átomos de ^{58}Fe según el proceso: $^{208}\text{Pb} + ^{58}\text{Fe} \rightarrow ^{265}\text{Hs} + \text{n.}^{200}$.

Al igual que para todos los elementos del 101 al 109, la IUPAC adoptó el nombre temporal unniloctio. En 1994, la IUPAC había recomendado el nombre hahnio para el elemento 108 pero, en 1997, finalmente se adoptó internacionalmente el nombre hassio.

1994: Darmstatio (Ds)

El elemento fue nombrado por la IUPAC en agosto de 2003, por el lugar donde fue descubierto, Darmstadt. Fue obtenido el miércoles en noviembre de 1994 por P. Armbruster, S. Hofmann, G. Münzenberg y otros en la Gesellschaft für Schwerionenforschung en Darmstadt, Alemania.

Se produjo fusionando núcleos de níquel y de plomo, lo cual se lograba acelerando iones de ^{62}Ni a alta energía, en el acelerador de iones pesados. Esta reacción ocurre sólo a una velocidad muy específica del proyectil de níquel. Durante muchos días se dispararon millones de iones de níquel sobre el ^{208}Pb , para producir e identificar un único núcleo del elemento 110²⁰¹.

Algunos científicos sugirieron el nombre “policías” para el nuevo elemento, puesto que 110 (su número atómico) es el número telefónico de emergencias de la policía alemana²⁰².

1994: Roentgenio (Rg)

Recibe su nombre de Wilhelm Conrad Roentgen (1845–1923), Premio Nobel de Física por el descubrimiento de los Rayos X. En 1994, Hofmann y sus colaboradores obtuvieron el elemento 111, donde tres átomos del isótopo ^{272}Rg se formaron de la reacción entre los isótopos de bismuto y níquel: ^{209}Bi y ^{64}Ni . Para conseguir esto, los átomos de níquel se aceleraron a altas energías con el acelerador de iones pesados y se lanzaron sobre un blanco de bismuto²⁰³. En el 2004, recibió su nombre definitivo²⁰⁴.

El equipo, liderado por Sigurd Hofmann, únicamente pudo producir un solo átomo de roentgenio-272. En 2001, el Grupo de Trabajo Conjunto de la IUPAC/IUPAP decidió que las pruebas no eran suficientes para probar el descubrimiento del elemento, por lo que la GSI repitió el experimento y detectó tres átomos del elemento 111 en 2002. En 2003, el GTC aceptó la evidencia de que el elemento había sido verdaderamente sintetizado²⁰⁵.

1996: Copernicio (Cn)

Este elemento recibió su nombre en honor del astrónomo Nicolás Copérnico (1473–1543), que formuló la teoría de que el Sol era el centro del Universo (Teoría Heliocéntrica) y la Tierra un planeta más que giraba a su alrededor. En 1996, el Laboratorio de Investigación de Iones Pesados lo obtuvo por fusión de un núcleo de zinc con un núcleo de plomo: ^{70}Zn y ^{208}Pb . El átomo de zinc fue acelerado a alta energía contra un blanco de plomo²⁰⁶.

Experimentos independientes confirmaron el descubrimiento del elemento. En 2009, la IUPAC reconoció oficialmente su existencia como el integrante 112 de la tabla periódica de elementos químicos, por lo que invitaron al GSI, centro donde se descubrió, a que lo bautizase de forma oficial.

El grupo del profesor Sigurd Hofmann fue el que propuso el nombre copernicio y el símbolo Cp en honor del científico y astrónomo Nicolás Copérnico. Tras la propuesta, pasaron seis meses hasta que la IUPAC hiciera oficial el nombre, con el fin de dejar ese tiempo para que la comunidad científica discutiera el nombre sugerido, antes de otorgar el nombre definitivo. No obstante, se cambió el posible símbolo Cp, por Cn, ya que el símbolo estaba antiguamente asociado al cassiopium (cuyo nombre oficial es lutecio, Lu). Además, en química orgánica ya existe el símbolo Cp, que indica el ciclopentadieno, por lo tanto, en el 2010, la IUPAC publicó oficialmente la denominación y el símbolo del elemento 112²⁰⁷.

1998: Flerovio (Fl)

Este elemento fue nombrado en honor a Gueorgui Fliórov, físico nuclear soviético que fundó en 1957 el Laboratorio Fliórov de reacciones nucleares, en Dubna. Es importante señalar que sólo se ha logrado obtener un núcleo del elemento Fl mediante la reacción de fusión de un núcleo de calcio y un núcleo de plutonio, según: $^{244}\text{Pu} + ^{48}\text{Ca} \rightarrow ^{289}\text{Fl} + 3\ ^1_0\text{n}$. Para ello se aceleraron iones de ^{48}Ca hasta casi un décimo de la velocidad de la luz y se lanzaron contra un blanco de plutonio electrochapado sobre titanio²⁰⁸.

La propuesta de nombrarlo flerovium, en honor al laboratorio donde se sintetizó por primera vez, se realizó en el 2012. Este elemento químico tiene como símbolo (Fl), su número atómico es 114 y su masa atómica 285 g/mol.²⁰⁹.

El descubrimiento del elemento 114, como $^{287}\text{Uuq}_{114}$ y $^{286}\text{Uuq}_{114}$, fue confirmado en 2009, en Berkeley. Esto fue seguido de la confirmación del $^{288}\text{Uuq}_{114}$ y $^{289}\text{Uuq}_{114}$, en el GSI.

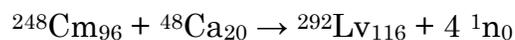
2000: Livermorio (Lv)

Fue llamado así en honor al Laboratorio Nacional de la ciudad de Livermore, California, donde se descubrió. Se obtiene como producto de la desintegración del elemento 118, Oganésón (Og), es decir, por bombardeo de átomos de californio-249 con iones de calcio-48, que posteriormente decae a Lv en milisegundos²¹⁰.

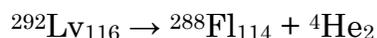
Investigadores del Laboratorio Nacional Lawrence Berkeley, en 1999, anunciaron la creación del elemento 116 (Uuh), en un artículo publicado en una revista de Estados Unidos., llamada *Physical Review Letters*. Ahí explicaron que lo hicieron cuando se observó el decaimiento de un núcleo de mayor número atómico. Al año siguiente publicaron su retracción, tras ver que no eran capaces de reproducir el experimento; pero en 2002, el director del laboratorio anunció que los datos del experimento habían sido falseados por su autor principal, Victor Ninov²¹¹.

Livermorio fue producido por primera vez el 19 de julio de 2000, por científicos que trabajan conjuntamente en el Lawrence Livermore National Laboratory (Estados Unidos) y el Joint Institute for Nuclear Research en Dubna, Rusia. En la instalación de Dubna, se observó un solo átomo de livermorio-293 al bombardear un blanco de curio-248 con iones de calcio-48. El elemento 116 se descompuso en flerovio-289 a través de la descomposición alfa.

En octubre de 2006, se anunció que bombardeando en tres ocasiones átomos de californio-249 con iones de calcio-48, se producía el elemento 118 que posteriormente decaía, en milisegundos, al elemento 116. Con esto, quedaba demostrada la obtención del elemento 116²¹². La reacción de obtención del livermorio es:



Que inmediatamente decae (en 47 milisegundos) a un isótopo del flerovio.



El 8 de diciembre de 2011, la división de Química Inorgánica de la IUPAC confirmó el nombre y símbolo de este elemento. El nombre definitivo decidido fue Livermorio (Lv), en honor al Laboratorio Nacional de la ciudad de Livermore, California²¹³.

2002: Oganésón (Og)

Obtiene su nombre en honor a Yuri Oganésián, físico nuclear ruso, director del Instituto Central de Investigaciones Nucleares de Dubná desde 1989 hasta 1997, y se descubre mediante la colisión de iones de californio-249 y calcio-48.

Se trata del elemento químico más pesado observado en laboratorio. Su síntesis, junto a la del livermorio, no estuvo exenta de polémica. El equipo estadounidense que anunció en primer lugar la síntesis en 1999, tuvo que publicar una retractación en 2002, reconociendo que habían amañado los datos experimentales, lo que provocó un escándalo científico de grandes proporciones y la revisión de las normas éticas

de la investigación en varios centros de aquel país. En 2006, un equipo ruso publicó su síntesis y este resultado no ha sido cuestionado por otros científicos²¹⁴.

El primer grupo de átomos de oganesón fue propiamente observado en el Instituto Central de Investigaciones Nucleares (JINR) de Dubná, Rusia, en 2002. El 9 de octubre de 2006 un equipo conjunto del JINR y del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore estadounidense, trabajando en las instalaciones del JINR, anunciaron que habían detectado indirectamente un total de tres o quizás cuatro núcleos de oganesón-294, solo uno o dos en 2002 y dos más en 2005, mediante la colisión de iones de californio-249 y calcio-48.

En 2015, la IUPAC anunció en su portal web la verificación del descubrimiento de cuatro elementos del período 7, entre ellos el oganesón, llamado así en español (con la terminación -ón tónica), siguiendo el criterio ortográfico de denominación de los gases nobles (neón, xenón, etc.). Fue nombrado en honor al físico ruso Yuri Oganesián²¹⁵.

2003: Moscovio (Mc)

Su nombre hace referencia a la provincia de Moscú, región a la que pertenece la ciudad rusa donde se descubrió.

En 2003, el elemento 115 fue sintetizado en un ciclotrón JINR U400, con un separador de gas en el laboratorio DGFRS. Para obtener unumpentio (Uup), se bombardearon átomos de americio-243 con iones de calcio-48, los cuales lograron la formación de cuatro nuevos núcleos (287 al 290) y la obtención en un decaimiento alfa de Moscovio (115) y Nihonio (113) por milésimas de segundo.

El 2 de febrero de 2004 se informó en la revista *Physical Review C* que un equipo integrado por científicos rusos, en el Instituto Central de Investigaciones Nucleares, en Dubná, y los científicos estadounidenses en el Lawrence Livermore National Laboratory, hicieron el descubrimiento del moscovio.

En verano de 2013, el descubrimiento fue confirmado por científicos de la Universidad de Lund (Suecia), bombardeando, con iones de calcio, una fina película de Americio. El resultado fueron 4 átomos de ununpentio que desaparecieron 100 milisegundos después por emisión de partículas alfa²¹⁶.

El 5 de diciembre del 2016, la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC) y la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP) aprobaron su denominación junto a otros tres elementos: el nihonio, tenesino y oganesón, además fue agregado a la tabla periódica de los elementos, al igual que los otros tres²¹⁷.

2010: Teneso (Ts)

El nombre se debe a que fue sintetizado en el Laboratorio Nacional de Oak Ridge, de la Universidad Vanderbilt, en Tennessee, Estados Unidos. Se obtuvo bombardeando un blanco de Berkelio-249 con un haz de iones calcio-48²¹⁸.

Su descubrimiento se anunció en 2010 y fue fruto de una colaboración entre científicos rusos y estadounidenses en el Instituto Central de Investigaciones Nucleares de Dubná, Rusia.

En un experimento en 2011 se creó directamente uno de sus productos de desintegración, confirmando parcialmente los resultados del experimento inicial. El ensayo fue repetido con éxito en 2012. En 2014, el Centro GSI Helmholtz para la Investigación de Iones Pesados, de Alemania, también afirmó haber reproducido el experimento original.

El grupo formado por la IUPAC y la IUPAP, que se encarga de examinar las reivindicaciones de descubrimientos de elementos superpesados, confirmó el descubrimiento en 2015. En 2016, sus descubridores propusieron nombrarlo tennesine (por Tennessee, sede del Laboratorio Nacional Oak Ridge), traducido inicialmente como tenesino o téneso. Finalmente, en 2016 la IUPAC aprobó el nombre propuesto (en inglés), habiendo divergencias en la traducción del nombre al español, hasta que finalmente la Real Academia de Ciencias, la Real Sociedad

Española de Química, la RAE y la Fundéu acordaron promover la forma llana teneso.

El equipo americano inició en 2008 la producción del blanco de berkelio en el laboratorio de Oak Ridge para el experimento. Tras irradiar curio-244 con partículas alfa durante un total de 250 días, se obtuvieron 22 mg de berkelio, con etapas posteriores de enfriamiento y purificación que sumaron seis meses. El período de semidesintegración del isótopo de berkelio usado (berkelio-249) es de únicamente trescientos treinta días transcurridos; de los cuales, la mitad se transforma en otros elementos, por lo que el equipo determinó un plazo de seis meses a partir de la purificación del blanco para iniciar el experimento. Más tarde podría no quedar la suficiente cantidad de elemento para llevar a cabo la síntesis del teneso.

En el verano boreal de 2009, el berkelio se transportó en un vuelo comercial desde Nueva York a Moscú, empaquetado dentro de cinco recipientes de plomo. La llegada del berkelio a Dubna se retrasó varios días, debido a la documentación faltante o incompleta, lo que condujo a que la aduana rusa no permitiera la entrada del material al país y lo devolviera dos veces a los Estados Unidos. Una vez permitida la entrada del “blanco”, se transfirió a Dimitrovgrad, en el óblast* de Ulyanovsk, para ser fijado en una película delgada de titanio. Luego se llevó a Dubná, donde fue instalado en el acelerador de partículas del Instituto Central de Investigaciones Nucleares, para la síntesis de elementos superpesados.

El experimento comenzó en junio de 2009. En enero de 2010, científicos del Laboratorio Fliórov de Reacciones Nucleares anunciaron que habían detectado con éxito la desintegración de un nuevo elemento con número atómico 117. Esto a través de dos cadenas de isótopos impar-impar, mediante seis desintegraciones alfa antes de una fisión espontánea, y de otro par-impar, con tres desintegraciones alfa antes

* Es una subdivisión geopolítica en Rusia y otros países de lo que era antes la Unión Soviética que corresponde aproximadamente a lo que en otros países se conoce como región o provincia.

de la fisión, según el informe oficial publicado el 9 de abril de 2010, en la revista *Physical Review Letters*. Dichos isótopos eran el teneso-294 y el teneso-293 respectivamente²¹⁹.

2015: Nihonio (Nh)

Su descubrimiento ha sido adjudicado de forma oficial a los investigadores japoneses del laboratorio Riken, que lograron sintetizar y observar el elemento a finales de 2015, convirtiéndose así en el primer elemento sintético en ser producido en Japón, como resultado de la desintegración del elemento 115 (moscovio). Su nombre proviene de la palabra "Nihon", el término japonés utilizado para designar a Japón.

La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), denominó temporalmente al elemento como ununtrium. Este nombre no es más que una identificación sistemática que se le da a los nuevos elementos, siguiendo un procedimiento utilizado por la IUPAC, que identifica los elementos sin nombre por su número atómico: ("ununtri") significa ("uno uno tres"), con la terminación ("ium"), un sufijo estándar para los elementos químicos en inglés.

Los investigadores del Centro RIKEN Nishina, Center for Accelerator based Science (RNC), lograron generar una cadena de seis desintegraciones alfa consecutivas, producidas en los experimentos realizados en la fábrica de radioisótopos RIKEN, identificando de manera concluyente el elemento 113 a través de las desintegraciones a nucleidos hijos bien conocidos. El resultado, publicado en la revista *Journal of Physical Society*, de Japón, fue el primer paso para reclamar los derechos del nombre del elemento 113 para Japón. El elemento 113 se sintetizó en Japón a finales de 2015.

El elemento recibió oficialmente el nombre en inglés de nihonium (traducido al español como nihonio, según una recomendación de la FUNDEU) mediante una comunicación de la IUPAC del 28 de noviembre de 2016²²⁰.

Conclusiones

Cuando en 1869, Dimitri Mendeléyev creó su versión de la Tabla Periódica de los elementos, no se podía imaginar que esa saga llevaría 150 años de evolución en la que participarían científicos de todo el mundo en la búsqueda de estos tesoros de la naturaleza.

Hablar de los elementos químicos, es hacerlo por el universo, por todo lo que existe en el vasto espacio interestelar y, por supuesto, en nuestro planeta, ya que estos se encuentran presentes en toda la materia y son portadores de la misma energía. Desgraciadamente, su conocimiento y el interés por los mismos es muy ajeno a la inmensa mayoría de los humanos e incluso, muchas veces, las referencias sobre ellos resultan negativas o superficiales.

Tal vez por ello fue por lo que la Asamblea General de las Naciones Unidas decidió que 2019 fuera el año de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos, misma que fue inaugurada el 29 de enero de dicho año. La iniciativa no vino sola, fue apoyada por la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAC, por sus siglas en inglés), la Asociación Europea para la Ciencia Química y Molecular, el Consejo Internacional para la Ciencia, la Unión Internacional Astronómica y por la Unión Internacional de Historia y Filosofía de la Ciencia y la Tecnología²²¹.

Así, alrededor del mundo se celebró de muy diversas formas la creación de esta importante herramienta científica. Se hicieron sellos de correos, billetes de lotería, juegos, conferencias, simposios, exposiciones, concursos y una buena cantidad de libros sobre el tema.

Y también, ¿por qué no?, esta celebración fue una excelente oportunidad para reivindicar el papel de las científicas que realizaron aportes fundamentales para formar la tabla periódica como hoy la conocemos. Mujeres como Ida Noddack (1896–1979), codescubridora del Renio (Re), Marie Skłodowska Curie (1867–1934), codescubridora el Polonio (Po) y el Radio (Ra); Marguerite Perey (1909–1975),

descubridora del Francio (Fr), entre otras muchas grandes científicas que aportaron a la química y la física su increíble talento, aun en condiciones sociales desfavorables²²².

Hay que destacar que el mayor de los éxitos del trabajo del científico ruso fue la capacidad de predecir el descubrimiento de nuevos elementos. Cuando Mendeleev encontraba que un elemento no encajaba en la posición que le correspondía, suponía que la masa atómica había sido determinado de forma errónea, indicándolo con un interrogante en su símbolo. En otras ocasiones, dejó huecos en la tabla al no encontrar un elemento que se ajustara a esa posición, prediciendo además la masa atómica que debería tener y describiendo las propiedades químicas que ese elemento —no descubierto todavía— presentaría.

Otro beneficio importante de la celebración fue la de concienciar y divulgar la relevancia y los beneficios de la ciencia. La química en particular y a pesar de todo lo que le debemos, tiene mala imagen, como comentábamos más arriba, y en parte se debe a la falta de información.

La propuesta que planteó la UNESCO destacó cinco puntos de acción fundamentales:

- Lograr que el público entienda y aprecie en mayor medida la ley periódica y la química en general.
- Promover el papel de la química a la hora de aportar respuestas a muchos problemas de ámbito mundial, tales como el cambio climático y la preservación de los recursos naturales.
- Incrementar la sensibilización sobre el carácter interdisciplinario de la ciencia en el siglo XXI y destacar en qué medida serán cada vez más necesarias las interacciones entre diferentes áreas temáticas de las ciencias fundamentales para la investigación y la educación en el futuro, así como para el logro de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

- Fortalecer la cooperación internacional mediante la coordinación de actividades entre las sociedades eruditas, las instituciones docentes y la industria, centrándose específicamente en nuevas asociaciones e iniciativas en el mundo en desarrollo.
- Establecer asociaciones duraderas para velar por que dichas actividades, objetivos y logros prosigan en el futuro más allá del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos²²³.

Resulta innegable la aportación que ofrece la química al desarrollo de la humanidad y la resolución de muchos de sus problemas. Es muy probable que esta disciplina científica tenga injerencia directa o indirecta con todas las actividades humanas y que, de una u otra manera, haya mejorado en por lo menos un aspecto su desempeño o capacidad.

Ya sea en problemáticas como el hambre, la salud y el medio ambiente, también tiene injerencia en los deportes, los espectáculos, y hasta en las disciplinas humanísticas, donde sirve para explicar, a través de analogías o construcciones teóricas, las estructuras o el desarrollo de la reflexión y el pensamiento humano.

Finalmente y a manera de ejemplo, echémosle un ojo al libro de memorias autobiográficas de Primo Levy, *Il sistema periodico*, publicado en Turín en 1975.

A lo largo de veintiún capítulos, cada uno con el nombre de un elemento elegido por intuición literaria, sin atender al orden que tienen en la tabla pero relacionado con el relato correspondiente, Levy escribe un diálogo entrañable sobre la naturaleza, los seres humanos, los canallas y los amigos. O los que no son amigos y, aun así, están dispuestos a defenderte. Una mirada de una época a través de la ciencia de las transformaciones, construida con ladrillos elementales que abren puertas para entender de dónde vino, por dónde caminó y cómo respondió ante ello. Los relatos van de la confesión biográfica (“Argón”) al realismo histórico (“Fierro”), pasando por la visión onírica (“Mercurio”), el juego de palabras (“Titanio”) y su atribulada

relación con un exagente de la milicia nazi SA (*Sturmabteilung*) en el relato “Vanadio”.

El químico turinés estaba convencido de que la imaginación no puede ser desbordada y arbitraria, sino que debe estar anclada en la realidad. En su caso, no sólo por el imperativo de honrar la memoria de los mejores, quienes no sobrevivieron, sino porque el que resultó “víctima” de la loca suerte y salió de ese infierno tiene que entender que ha vivido para contarlo. Cuando le preguntaron por qué insistía en mantener el número tatuado en su brazo, respondió que, de haberlo borrado, habría traicionado a todos aquellos que pasaron por los campos de concentración, así como los que dieron su vida en los diversos escenarios bélicos. Mientras estuviera vivo, su brazo marcado con el 174517 sería una prueba de lo que sucedió²²⁴.

Fuentes Consultadas

¹ Química web: Cesio. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/cesio.htm>

² Gomollón Fernando. ¿Existe el reloj absolutamente exacto?: 20 minutos, 30 de Abril 2014. Consultado el 25 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://blogs.20minutos.es/cienciaparallevar-csic/tag/cesio/>

³ Equipo editorial. Cesio, ¿Para qué sirve el elemento químicos Cs?: Iquímicas. Consultado el 29 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://iquimicas.com/cesio-para-que-sirve/>

⁴ WINSSCALE: Centro de información sobre energía nuclear de Chile. Consultado el 13 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://cienchile.cl/que-es-la-energia-nuclear/accidentes-nucleares/windscale/>

⁵ Navarro Alejandro. El secreto de Prometeo y otras historias sobre la tabla periódica de los elementos: Editorial Almuzara. Consultado el 20 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://books.google.com.mx/books?id=B85dDwAAQBAJ&pg=PT123&lpg=PT123&dq=historias+del+cesio&source=bl&ots=bLO5dHBukn&sig=ACfU3U01EIVxM73LFC5yh3lOvcUTU8KkVQ&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiPherfhKniAhVNQ6wKHQyTCWM4FBDoATABegQICRAB#v=onepage&q=historias%20del%20cesio&f=false>

⁶ Briceño Gabriela. El Rubidio: Euston 96. Consultado el 30 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.euston96.com/rubidio/>

⁷ Rubidio: Acidoascorbico.net. Consultado el 18 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.acidoascorbico.net/rubidio/>

⁸ *Ibidem*

⁹ Hechos sobre el rubidio. Planeta Tierra. Consultado el 28 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wordssidekick.com/facts-about-rubidium-17602>

¹⁰ Sistema de posicionamiento global: National Academy of Sciences, Año 1997. Consultado el 17 de Noviembre de 2019. Disponible en: http://www7.nationalacademies.org/spanishbeyonddiscovery/Sistemas%20de%20posicionamiento%20global_%20el%20papel%20de%20los%20relojes%20at%C3%B3micos.html

¹¹ Mínguez Guillermo. Rubidio: Anales de Química, Año 2019. Consultado el 14 de Noviembre de 2019. Disponible: <http://analesdequimica.com/37.pdf>.

¹² Olmo M. Satélites de posicionamiento global: Hyperphysics. Consultado el 24 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/gps.html>

¹³ Química web: Talio. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablaperiodica/paginas/talio.htm>

¹⁴ Muñoz Adela. Historia del veneno de la cicuta al polonio, DEBATE. 22 de Marzo 2012. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: https://books.google.com.mx/books?id=wHEc0PP3UGkC&pg=PT208&lpg=PT208&dq=historia+del+talio&source=bl&ots=TBHXQ8US3p&sig=ACfU3U309Iydfc0473WxKjwqec4kB_VrMQ&hl=es-

419&sa=X&ved=2ahUKEwi5ioqG387iAhUC0awKHYoRAvU4ChDoATAEegQICRAB#v=onepage&q=talio%20&f=false

¹⁵ Torregrosa Dani. El Talio como veneno. Ese punto azul pálido. 14 de Octubre 2012. Consultado el 18 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.esepuntoazulpalido.com/2012/10/el-talio-como-veneno-de-agatha-christie.html>

¹⁶ *Vid supra.*

¹⁷ Química web: Indio. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/indio.htm>

¹⁸ EcuRed: Indio. Consultado el 13 de Noviembre de 2019. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Indio_\(elemento_qu%C3%ADmico\)](https://www.ecured.cu/Indio_(elemento_qu%C3%ADmico))

¹⁹ El Indio metal estratégico: Noticias y economía. Consultado el 21 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://noticiasyeconomia.com/indio-metal-estrategico/>

²⁰ Mohar España. Tabla periódica en peligro de extinción: Muy Interesante, 30 de Mayo 2018. Consultado el 20 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.muyinteresante.com.mx/ciencia-y-tecnologia/elementos-tabla-periodica-podrian-desaparecer/>

²¹ Química web: Helio. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/helio.htm>

²² EcuRed: Helio. Consultado el 13 de Noviembre de 2019. Disponible en: [https://www.ecured.cu/Helio_\(elemento_qu%C3%ADmico\)](https://www.ecured.cu/Helio_(elemento_qu%C3%ADmico))

²³ Elementos químicos moléculas y vida: Instituto Tomás Pascual Sanz, 31 de Mayo 2013. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.institutotomaspascualsanz.com/elementos-quimicos-moleculas-y-vida/>

²⁴ Ruiz Jesús. Helio: Revista C2.16 de Enero 2019. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.revistac2.com/helio/>

²⁵ Bowler Tim. Los globos de Helio, un lujo que no podemos darnos: BBC, 24 de Noviembre 2013. Consultado el 8 de Noviembre de 2019. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2013/11/131120_helio_escaso_finde

²⁶ Octavio. ¿Qué es el gas helio y para qué se utiliza?: kerchak. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://kerchak.com/que-es-el-gas-helio-y-para-que-se-utiliza/>

²⁷ Química web: Galio. Consultado el 9 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/galio.htm>

²⁸ Gómez Pedro. El Galio: El tamiz, 13 de Diciembre 2012. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://eltamiz.com/2012/12/13/conoce-tus-elementos-el-galio/>

²⁹ Mártel Ignacio. Una revolución energética las bombillas led, Madrid España: Público.es, 29 de Octubre 2015. Consultado el 30 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2015/10/29/una-revolucion-energetica-las-bombillas-led/>

-
- ³⁰ Tang Shi-Yang. Liquid metal enable pump: PNAS, 18 de Febrero 2014. Consultado el 29 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.pnas.org/content/early/2014/02/14/1319878111>
- ³¹ Esenziale. Mejores termómetros de Galio. Consultado el 8 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://esenziale.com/salud/termometro-galio/>
- ³² Lenntech: Holmio. Consultado el 27 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/ho.htm>
- ³³ Vázquez David. Fundamentos del láser y su aplicación en urología, Madrid España: Hospital Universitario Puerta del Hierro, Noviembre de 2008. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06142008000900004
- ³⁴ Química web: Yterbio. Consultado el 19 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/ytterbio.htm>
- ³⁵ Wikiwand. Controversia sobre la de denominación de los elementos. Consultado el 22 de Octubre de 2019. Disponible en: https://www.wikiwand.com/es/Controversia_sobre_la_denominaci%C3%B3n_de_los_elementos
- ³⁶ Ballesteros Oscar. Estudio de un sistema láser híbrido de Iterbio y tipo Raman, León Guanajuato México: Centro de Investigaciones en óptica, Octubre de 2016. Consultado el 23 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/288/1/16849.pdf>
- ³⁷ Química web: Escandio. Consultado el 19 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/escandio.htm>
- ³⁸ Briceño Gabriela. Escandio: Euston69. Consultado el 22 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.euston96.com/escandio/>
- ³⁹ Marín Luisa. Escandio, Copavabana: Instituto de Educación Presbítero Bernardo Montoya Girardo, 5 de Septiembre 2013. Consultado el 28 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://luisaymanuelasalaza.blogspot.com/2013/09/escandio-luisa-fernanda-marin-gaviria.html>
- ⁴⁰ Escandio: Kona Bike World. Año 2018. Consultado el 26 de Octubre de 2019. Disponible en: http://www.konabikeworld.com/08_tech_scandium_es.htm
- ⁴¹ Pérez Gerardo. Escandio: revistac2, 29 de Marzo 2019. Consultado el 27 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.revistac2.com/escandio/>
- ⁴² Química web: Tulio. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/tulio.htm>
- ⁴³ Lenntech: Tulio. Consultado el 17 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/tm.htm>
- ⁴⁴ Gulis Mar. Henry Moseley el joven que ordenó el rompecabezas de la tabla periódica: 20 minutos, 25 de Abril 2019. Consultado el 25 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://blogs.20minutos.es/ciencia-para-llevar-csic/tag/mendeleiev/>

⁴⁵ Soc. Mexicana de Urología. Vapoenucleación prostática con láser Tulio: Revista mexicana de Urología, Octubre de 2014. Consultado el 28 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-mexicana-urologia-302-articulo-vapoenucleacion-prostatica-con-laser-tulio-S2007408514000081>

⁴⁶ Química web: Samario. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/samario.htm>

⁴⁷ Samario. Etimologías de Chile. Consultado el 21 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://etimologias.dechile.net/?samario>

⁴⁸ Baran Enrique. La fascinante historia del descubrimiento de las tierras raras: Academia Nacional de Ciencias Exactas, Año 2016. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: https://www.ancefn.org.ar/user/FILES/ANALES/TOMO_68/12.pdf

⁴⁹ Línea imanes de samario cobalto: Delta Magnets. Consultado el 19 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.acmagnets98.com/imaness/linea-imanes-de-samario-cobalto/>

⁵⁰ Martínez José. Gadolinio medio de contraste en resonancia magnética: Revista cubana de tecnología de salud. Consultado el 14 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubtecsal/cts-2017/cts1711.pdf>

⁵¹ Lenntech: Gadolinio. Consultado el 17 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/gd.htm>

⁵² *Vid supra.*

⁵³ Química web: Praseodimio. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/praseodimio.htm>

⁵⁴ Briceño Gabriela. Praseodimio: Euston96. Consultado el 1 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.euston96.com/praseodimio/>

⁵⁵ SuperredTV. Cosas que deberías saber sobre el praseodimio: 100CIA.SITE. 10 de Mayo de 2018. Consultado el 4 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://100cia.site/index.php/quimica/item/7411-cosas-que-deberias-saber-sobre-el-praseodimio>

⁵⁶ Lentes Didymium vidrio utilizado en laboratorios: Lowstar. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lowstars.com/krwNjNbA/>

⁵⁷ Badenes José. Estudio de los sistemas. Universitat Jaume, Año 2000. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.tesisenred.net/bitstream/handle/10803/10544/badenes.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

⁵⁸ El Praseodimio: Tabla periódica Sil. Consultado el 23 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://tablaperiodicasil.blogspot.com/p/el-praseodimio-un-elemento-quimico-la.html>

⁵⁹ EcuRed: Neodimio. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Neodimio>

⁶⁰ *Íbidem*

-
- ⁶¹ El láser de neodimio: Ferrosplanes, Enero de 2019. Consultado el 21 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://ferrosplanes.com/laser-neodimio-aplicaciones/>
- ⁶² Comana. Evolución de los imanes de neodimio: Comana 10, 25 de Noviembre 2015. Consultado el 20 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.conama10.es/evolucion-de-los-iman-es-de-neodimio/>
- ⁶³ *Íbidem.*
- ⁶⁴ Química web: Germanio. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/germanio.htm>
- ⁶⁵ Gómez Pedro. El Flúor: El tamiz. 14 de Marzo de 2013. Consultado el 29 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://eltamiz.com/2013/03/14/conoce-tus-elementos-el-germanio/>
- ⁶⁶ Enciclopedia: Germanio. Consultado el 27 de Noviembre 2019. Disponible en: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Germanio>
- ⁶⁷ Germanio- El desconocido que cura: Línea y salud. Consultado el 22 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.lineaysalud.com/nutricion/germanio-el-desconocido-que-cura>
- ⁶⁸ Mejor compra online. Germanio: Notizalia, 23 de Marzo 2019. Consultado el 24 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://actualidad.notizalia.com/comprar/germanio-elemento-quimico-de-usos-multiples/>
- ⁶⁹ SINC. Primer laser semiconductor de germanio y estaño: Agencia Sinc, 22 de Enero 2015. Consultado el 11 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Primer-laser-semiconductor-de-germanio-y-estaño>
- ⁷⁰ Química web: Flúor. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/fluor.htm>
- ⁷¹ Lenntech: Flúor. Consultado el 17 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/f.htm>
- ⁷² Clickmica: El Flúor. Consultado el 13 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/el-fluor/>
- ⁷³ Gómez Pedro. El Flúor: El tamiz, 3 de Septiembre 2007. Consultado el 19 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://eltamiz.com/2007/09/03/conoce-tus-elementos-el-fluor/>
- ⁷⁴ Fluoruro: Chemical safety facts. Consultado el 16 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/fluoruro/>
- ⁷⁵ EcuRed: Flúor. Consultado el 13 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Fl%C3%BAor>
- ⁷⁶ Los graves peligros del flúor: Dsalud. Diciembre de 2012. Consultado el 15 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.dsalud.com/reportaje/los-graves-peligros-del-fluor/>
- ⁷⁷ Química web: Disproso. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/disproso.htm>

-
- ⁷⁸ Lenntech: Disprosidio. Consultado el 17 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/dy.htm>
- ⁷⁹ Química web: Argón. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/argon.htm>
- ⁸⁰ Varela José. El descubrimiento del primer gas noble Argón, A hombros de gigantes, Agosto de 2015. Consultado el 5 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/08/13/el-descubrimiento-del-primer-gas-noble-el-argon/>
- ⁸¹ Ceroni Mario. Compuestos de Helio, Neón y Argón: Rev. Soc. Química del Perú, Diciembre 2006. Consultado el 6 de Noviembre de 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2006000400005
- ⁸² EcuRed: Argón. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Arg%C3%B3n>
- ⁸³ Educa plus. Evolución de la tabla periódica. Consultado el 4 de Noviembre 2019. Disponible en: <http://www.educaplus.org/sp2002/evolucion/evolucion-tabla-periodica.html>
- ⁸⁴ *Vid supra.*
- ⁸⁵ Usos de Argón bombillas: Digfineart. Consultado el 19 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.digfineart.com/Gbn4EkVKp/>
- ⁸⁶ García José. Así funciona la lámpara incandescente: Así funciona. Consultado el 18 de Octubre de 2019. Disponible en: http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_incandesc/af_incandesc_4.htm
- ⁸⁷ Química web: Kriptón. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/kripton.htm>
- ⁸⁸ Varela José. El descubridor del Kriptón: A hombros de gigantes, Agosto de 2015. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://ahombrosdegigantescienciaytecnologia.wordpress.com/2015/08/25/el-descubridor-del-kripton/>
- ⁸⁹ Wikipedia: Láser de fluoruro de kriptón. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%A1ser_de_fluoruro_de_kript%C3%B3n
- ⁹⁰ Química web: Neón. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/neon.htm>
- ⁹¹ Equipo editorial. Neón: iquimicas. Consultado el 25 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://iquimicas.com/neon-sirve-elemento-quimico-ne/>
- ⁹² Franco Laura. Luz neón: Lighting, 4 de Marzo 2017. Consultado el 24 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://laura.lighting/bloooog/luz-neon/>
- ⁹³ Química web: Xenón. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/xenon.htm>

⁹⁴ Xenón: Acidoascorbico.net. Consultado el 17 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.acidoascorbico.net/xenon/>

⁹⁵ Grupo Heurema: Los primeros elementos radiactivos, Heurema. Consultado el 22 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.heurema.com/Origenes44.htm>

⁹⁶ *Íbidem.*

⁹⁷ Minichiello Mia. Xenon (Xe): Salem Press Encyclopedia of Science, 2019. Consultado el 23 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://eds.b.ebscohost.com/pbidi.unam.mx:8080/eds/detail/detail?vid=12&sid=f38cf41e-bbd4-4a3c-bf44-a211f4d2a085%40pdc-v-sessmgr04&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbG1lZ2Q%3d%3d#AN=87998022&db=ers>

⁹⁸ Aranguren Ángel. Todo sobre los faros de xenón: M&A, 10 de Junio 2018. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.motoryracing.com/coches/noticias/todo-sobre-los-faros-xenon/>

⁹⁹ Enciclopedia de tareas: El polonio. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.encyclopediadetareas.net/2016/09/el-polonio-elemento-quimico.html>

¹⁰⁰ Polonio: Química.es. Consultado el 30 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Polonio.html>

¹⁰¹ Grupo Heurema: Los primeros elementos radiactivos, Heurema. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.heurema.com/Origenes49.htm>

¹⁰² Burro Sabio: Polonio propiedades y características químicas. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.burrosabio.com/polonio-propiedades-y-caracteristicas-quimicas/>

¹⁰³ Enciclopedia de tareas: El polonio. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.encyclopediadetareas.net/2016/09/el-polonio-elemento-quimico.html>

¹⁰⁴ Química web: Radio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/radio.htm>

¹⁰⁵ Clickmica: El Radio. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/100-preguntas-100-respuestas/el-radio/>

¹⁰⁶ Ensayos Tube: Radio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.ensayostube.com/educacion/quimica/RADIO-Ra-Historia-CARACTERISTI17.php>

¹⁰⁷ *Íb.*

¹⁰⁸ Manuel. Magufadas Históricas (II), La ciencia y sus demonios, 10 de Noviembre 2013. Consultado el 9 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://lacienciaysusdemonios.com/2013/11/10/magufadas-historicas-ii-que-rico-esta-este-radio/>

¹⁰⁹ Química web: Actinio. Consultado el 5 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/actinio.htm>

-
- ¹¹⁰ EcuRed. Actinio. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Actinio>
- ¹¹¹ Química web: Radón. Consultado el 5 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/radon.htm>
- ¹¹² Pino Fernando. Características del Radón: VIX. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5295/caracteristicas-del-radon>
- ¹¹³ Usos básicos del Radón elemento: ABCBASE. Consultado el 8 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://abcbase.blogspot.com/2010/10/usos-basicos-del-radon-elemento.html>
- ¹¹⁴ Redacción La química y más. El Radón y sus efectos: La química y más, 21 de Febrero 2016. Consultado el 6 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://laquimicaymas.wordpress.com/2016/02/21/el-radon-y-sus-efectos/>
- ¹¹⁵ Petschen, Ignacio. Historia de la braquiterapia, 19 de Abril 2016. Consultado el 8 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.slideshare.net/RAMCV/discurso-inauguracin-curso-2011-historia-de-la-braquiterapia>
- ¹¹⁶ El Europio, tierra rara: Noticias y economía. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://noticiasyeconomia.com/europio/>
- ¹¹⁷ Redacción QUO, Así nacen los iPhone: QUO, 12 de Febrero 2014. Consultado el 1 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.quo.es/tecnologia/g34957/asi-nacen-los-iphone/>
- ¹¹⁸ Química web: Lutecio. Consultado el 5 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/lutecio.htm>
- ¹¹⁹ Equipo del NCI, La FDA aprueba un nuevo tratamiento para ciertos tumores neuroendocrinos: NIH, 28 de Marzo 2018. Consultado el 2 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/noticias/temas-y-relatos-blog/2018/lutathera-fda-gastrointestinales-net>
- ¹²⁰ Química web: Protactinio. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/protactinio.htm>
- ¹²¹ EcuRed: Protactinio. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Protactinio>
- ¹²² Protactinio: Rocas y minerales. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.rocasym minerales.net/protactinio/>
- ¹²³ El Elemento 93: CBRN, 30 de Enero 2018. Consultado el 4 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://cbrn.es/?p=1158>
- ¹²⁴ Química web: Hafnio. Consultado el 5 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/hafnio.htm>
- ¹²⁵ Jordi José, Moreno Manuel. Unas pelotas de golf llenas de hafnio-178: El país, 6 de Mayo 2014. Consultado el 16 de Octubre de 2019. Disponible en: https://elpais.com/diario/2004/05/06/ciberpais/1083808947_850215.html

¹²⁶ *Íb.*

¹²⁷ *Íb.*

¹²⁸ Ramírez José. Uso de Hafnio en barras de control de reactores nucleares. Estado de México: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 13 de Septiembre de 2003. Consultado el 17 de Octubre de 2019. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/36/115/36115683.pdf?r=1&r=1

¹²⁹ Wikipedia: Renio. Consultado el 18 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Renio>

¹³⁰ *Íb.*

¹³¹ Lenntech: Renio. Consultado el 17 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/re.htm>

¹³² *Íb.*

¹³³ Química web: Tecnecio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/tecnecio.htm>

¹³⁴ Briceño Gabriela. Tecnecio: Euston96. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.euston96.com/tecnecio/>

¹³⁵ Enciclopedia: Tecnecio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://enciclopedia.us.es/index.php/Tecnecio>

¹³⁶ Bagnoli Franco. Tecnecio: Revista C2, 11 de Junio 2019. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.revistac2.com/tecnecio/>

¹³⁷ Álvarez Jorge. Una Mirada retrospectiva a la radiofarmacia: AMC, Septiembre de 2003. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/54_3/mirada_radiofarmacia.pdf

¹³⁸ *Íb.*

¹³⁹ Macho M. Marguerite Perey descubre el Francio: ZTFNews, 7 de Enero 2015. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://ztfnews.wordpress.com/2015/01/07/711939-marguerite-perey-descubre-el-francio/>

¹⁴⁰ EcuRed: Francio. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Francio>

¹⁴¹ Química web: Neptunio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/neptunio.htm>

¹⁴² Lenntech: Neptunio. Consultado el 7 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/np.htm>

¹⁴³ W. Malcolm. Creando nuevo elemento químico: El tiempo, 21 de Julio de 1997. Consultado el 5 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-616989>

¹⁴⁴ Wordssidekick: Hechos sobre el Neptunio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wordssidekick.com/facts-about-neptunium-27414>

¹⁴⁵ Química web: Astato. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/astato.htm>

¹⁴⁶ EcuRed: Astato. Consultado el 2 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Astato>

¹⁴⁷ Bernardo Ángela. Astato, el elemento más raro de la Tierra que podría ayudar a curar el cáncer: hipertextual, 15 de Mayo 2013. Consultado el 5 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://hipertextual.com/2013/05/astato-elemento-mas-raro-combatir-cancer>

¹⁴⁸ El astato, el elemento químico más raro del planeta, podría ser la solución contra el cáncer: Sin embargo, 16 de Mayo de 2013. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.sinembargo.mx/16-05-2013/621708>

¹⁴⁹ Química web: Plutonio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/plutonio.htm>

¹⁵⁰ Sánchez Pedro. Características principales del Plutonio: ok diario, 9 de Octubre 2018. Consultado el 14 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://okdiario.com/curiosidades/curiosidades-del-plutonio-3207370>

¹⁵¹ Wikipedia: Plutonio. Consultado el 12 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Plutonio>

¹⁵² *Íb.*

¹⁵³ *Íb.*

¹⁵⁴ Rowlatt Justin. Plutonio: el peligroso elemento que salvó a la tripulación del Apolo 13: BBC, 20 de Septiembre 2014. Consultado el 10 de Noviembre de 2019. Disponible en: https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/09/140919_apolo_13_plutonio_ao

¹⁵⁵ Theodore Glenn. El primer reactor nuclear, la producción de plutonio y su extracción por métodos químicos. Consultado el 2 de Octubre de 2019. Disponible en: https://www.iaea.org/sites/default/files/04004701517su_es.pdf

¹⁵⁶ S. Matías. La trágica historia de Atomic Man, el hombre más radiactivo del planeta: GIZMODO, 5 de Octubre 2018. Consultado el 4 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.gizmodo.com/la-tragica-historia-de-atomic-man-el-hombre-mas-radiac-1825933275>

¹⁵⁷ *Íbidem.*

¹⁵⁸ *Íb.*

¹⁵⁹ *Íb.*

¹⁶⁰ Wikipedia: Curio. Consultado el 11 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Curio>

¹⁶¹ EcuRed: Curio. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Curio>

¹⁶² UNIVERSITAM. DESCUBREN METEORITO CON UN ELEMENTO RARO PRESENTE EN LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR: Marzo 10 de 2016. Consultado el 3 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://universitam.com/academicos/noticias/descubren-meteorito-con-un-elemento-raro-presente-en-la-formacion-del-sistema-solar/>

¹⁶³ Wikipedia: Curio. Consultado el 1 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.qwerty.wiki/wiki/Curium>

¹⁶⁴ Wikipedia: Americio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Americio>

¹⁶⁵ Macho M. El americio y el curio: 16 de Noviembre de 1945: ZTFNews, 16 de Noviembre 2014. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://ztfnews.wordpress.com/2014/11/16/el-americio-y-curio-16-de-noviembre-de-1945/>

¹⁶⁶ Wikipedia: Americio. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.qwerty.wiki/wiki/Americium>

¹⁶⁷ Wikipedia: Prometio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Prometio>

¹⁶⁸ Química web: Prometio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/prometio.htm>

¹⁶⁹ Pino Fernando. Características del Prometio: VIX. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/4888/caracteristicas-del-prometio>

¹⁷⁰ Institute für seltene Erden and Strategische Metalle: Prometeo. Consultado el 3 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.institut-seltene-erden.de/tierras-raras-y-metales/tierras-raras/prometeo/>

¹⁷¹ EcuRed: Berkelio. Consultado el 1 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Berkelio>

¹⁷² Wikipedia: Berkelio. Consultado el 2 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Berkelio>

¹⁷³ En Wikipedia: Californio. Consultado el 4 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Californio>

¹⁷⁴ *Íbidem.*

¹⁷⁵ Química web: Einstenio. Consultado el 2 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/einstenio.htm>

¹⁷⁶ Briceño Gabriela. Einstenio: EUSTON. Consultado el 2 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.euston96.com/einstenio/>

¹⁷⁷ Hernández Víctor. ¡Bolo, padrino! Poniendo nombre a los elementos. Facultad de ciencias, UNAM: Noche de las estrellas. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.nochedelasestrellas.org.mx/docs/Articulos/2019/BautizandoElementos.pdf>

¹⁷⁸ Química web: Fermio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/fermio.htm>

¹⁷⁹ Farlex. Fermio: The free dictionary. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.thefreedictionary.com/fermio>

¹⁸⁰ Química web: Mendelevio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/mendelevio.htm>

¹⁸¹ Wikipedia: Mendelevio. Consultado el 7 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Mendelevio>

¹⁸² Química web: Nobelio. Consultado el 5 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/nobelio.htm>

¹⁸³ Pino Fernando. Características del Nobelio: VIX. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5530/caracteristicas-del-nobelio>

¹⁸⁴ Wikipedia: Laurencio. Consultado el 7 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Lawrencio>

¹⁸⁵ *Íb.*

¹⁸⁶ Química web: Rutherfordio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/rutherfordio.htm>

¹⁸⁷ Wikipedia: Rutherfordio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rutherfordio>

¹⁸⁸ EcuRed: Rutherfordio. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Rutherfordio>

¹⁸⁹ Química web: Dubnio. Consultado el 25 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/dubnio.htm>

¹⁹⁰ EcuRed: Dubnio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Dubnio>

¹⁹¹ Wikipedia: Dubnio. Consultado el 24 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Dubnio>

¹⁹² Química web: Seaborgio. Consultado el 25 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/seaborgio.htm>

¹⁹³ Wikipedia: Seaborgio. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.qwerty.wiki/wiki/Seaborgium>

¹⁹⁴ Química web: Bohrio. Consultado el 27 de Octubre de 2019. Disponible en:

<http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/bohrio.htm>

¹⁹⁵ Silva Jhonnatan. Características del Bohrio: Que curiosidades, 21 de Diciembre 2018. Consultado el 30 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://quecuriosidades.com/bohrio-caracteristicas-usos/>

¹⁹⁶ Pradillo Beatriz. Los científicos de la tabla periódica: Orbitales Moleculares, 15 de Mayo 2019. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.orbitalesmoleculares.com/los-cientificos-de-la-tabla-periodica/>

¹⁹⁷ Wikipedia: Bohrium. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.qwerty.wiki/wiki/Bohrium>

¹⁹⁸ Química web: Meitnerio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/meitnerio.htm>

¹⁹⁹ Wikipedia: Meitnerio. Consultado el 15 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Meitnerio>

²⁰⁰ País, Ana. Lise Meitner, la única mujer que tiene un elemento en la tabla periódica en su honor: el meitnerio: BBC Mundo. 19 de Octubre 2017. Consultado el 22 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-41610091>

²⁰¹ Wikipedia: Hasio. Consultado el 15 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hasio>

²⁰² Química web: Ununnilio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/ununnilio.HTM>

²⁰³ ACADEMIC: Darmstadtio. Consultado el 15 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://esacademic.com/dic.nsf/eswiki/332029>

²⁰⁴ *Vid supra.*

²⁰⁵ Wikipedia: Roentgenio. Consultado el 15 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Roentgenio>

²⁰⁶ SuperredTV. Cosas que deberías saber sobre el roetgenio: 100CIA.SITE. 10 de Mayo de 2018. Consultado el 4 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://100cia.site/index.php/quimica/item/7379-cosas-que-deberias-saber-sobre-el-roentgenio>

²⁰⁷ Química web: Ununbio. Consultado el 6 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/ununbio.htm>

²⁰⁸ EcuRed: Copernicio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Copernicio>

²⁰⁹ Química web: Ununquadio. Consultado el 6 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/ununquadio.htm>

²¹⁰ EcuRed: Flerovio. Consultado el 11 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Flerovio>

-
- ²¹¹ Química web: Ununhexio. Consultado el 6 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/ununhexio.htm>
- ²¹² Wikipedia: Livermorio. Consultado el 6 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Livermorio>
- ²¹³ *Íbidem.*
- ²¹⁴ Pino Fernando. Características del Livermorio: VIX. Consultado el 12 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/5684/caracteristicas-del-livermorio>
- ²¹⁵ Wikipedia: oganesón. Consultado el 7 de Noviembre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Oganes%C3%B3n>
- ²¹⁶ Wikipedia: Moscovio. Consultado el 10 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Moscovio>
- ²¹⁷ Wikipedia: Nihonio. Consultado el 13 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Nihonio>
- ²¹⁸ El elemento polémico: ¿Oganesón o Ununoctio?: ProfeQuíMICA. Consultado el 20 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://profequimica89.blogspot.com/2018/10/el-elemento-polemico-oganeson-o.html>
- ²¹⁹ Química web: Teneso. Consultado el 8 de Octubre de 2019. Disponible en: <http://www.quimicaweb.net/tablapperiodica/paginas/teneso.htm>
- ²²⁰ Wikipedia: Teneso. Consultado el 12 de Octubre de 2019. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Teneso>
- ²²¹ Huerta Leonardo. 2019, Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos: Gaceta UNAM, 12 de Marzo de 2019. Consultado el 15 de Enero de 2020. Disponible en: <https://www.gaceta.unam.mx/2019-ano-internacional-de-la-tabla-periodica-de-los-elementos-quimicos/>
- ²²² Martínez Jorgelina. 2019, Año Internacional de la Tabla Periódica: CONICET, 9 de Abril de 2019. Consultado el 17 de Enero de 2020. Disponible en: <https://www.conicet.gov.ar/2019-ano-internacional-de-la-tabla-periodica/>
- ²²³ Palomas David. 2019, celebra la química con el Año Internacional de la Tabla Periódica: Dciencia, 6 de Marzo de 2019. Consultado el 16 de Enero de 2020. Disponible en: <https://www.dciencia.es/2019-celebra-la-quimica-con-el-ano-internacional-de-la-tabla-periodica/>
- ²²⁴ Chimal Carlos. La tabla periódica de los elementos como objeto estético: Letras libres, 14 de Agosto de 2019. Consultado el 18 de Enero de 2020. Disponible en: <https://www.letraslibres.com/mexico/ciencia-y-tecnologia/la-tabla-periodica-los-elementos-como-objeto-estetico>