La síntesis de elementos artificiales

José Antonio Chamizo
Facultad de Química-Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM

Introducción

A pesar de ser más conocido por su descubrimiento del núcleo atómico y del protón (partícula nuclear con carga positiva) el neozelandés E. Rutherford (1871-1937) obtuvo el Premio Nobel de Química en 1908 por *sus investigaciones en la desintegración de los elementos y la química de las sustancias radiactivas*. Durante el banquete de recepción del premio dijo: *He tratado con muchas transformaciones diferentes en varios períodos de tiempo, pero la más rápida que he conocido fue mi propia transformación, en un instante pasé de físico a químico*. La frase denotó su carácter y ambición ya que haberlo obtenido en química, para él una disciplina menor, nunca le satisfizo. Rutherford, físico físicamente puro, con importantes aportaciones teóricas y experimentales, fue propuesto para obtener el premio Nobel de Física en 15 ocasiones, tres de ellas después de obtener el de química, pero nunca lo obtuvo. En su arrogancia sobre la superioridad de su disciplina también es suya la frase: *La ciencia es física o filatelia*… Sobre la filatelia química, es decir sobre la colección de algunos de los elementos que se presentan en la tabla periódica, los elementos transuránidos, es decir aquellos con número atómico Z= 93 al Z = 117 trata este artículo.

Sobre la historia de la química

La tecnociencia es…
un sistema de acciones eficientes basadas en conocimiento científico
que transforman el mundo.
Las acciones están desarrolladas tecnológica e industrialmente,
y ya no versan sólo sobre la naturaleza,
también se orientan a la sociedad y a los seres humanos,
sin limitarse a describir, explicar, predecir o comprender el mundo,
sino tendiendo a transformarlo basándose en una serie de valores.
J. Echeverria, 2003

Tal como hoy la conocemos, la química es resultado de una multitud de herencias que, concretadas en oficios, influyeron en la vida cotidiana de todas las culturas. No deja de ser sorprendente que prácticas tan diferentes como la del herrero –y la metalurgia-, el curandero -y la farmacia-, el alfarero –y la cerámica-, el panadero-

y la biotecnología hayan podido estar reunidas y terminar por fundirse en un campo común, la química, donde se estudia, se practica y se transmite como transformar las sustancias. En la actualidad la comunidad de químicos profesionales se dedica sobre todo a la síntesis química. Ya a principios del siglo XXI lo indicaba la editora del libro *The New Chemistry*:

> *El objeto de la química es extenso. Cubre virtualmente todos los aspectos del comportamiento de átomos y de moléculas - de la creación de los elementos en las estrellas a las moléculas complejas de la vida. La química, sin embargo, es mucho más que investigar el universo en el nivel molecular; su mandato central (que es absolutamente diferente de los de otras disciplinas) es sintetizar nuevas formas de materia, muchas de las cuales son extremadamente útiles, por ejemplo, los productos farmacéuticos*

La historia es lo que contamos hoy, con la información que tenemos de ayer. Hay diversas maneras de hacerlo. Particularmente alrededor de las ciencias y las tecnologías se puede identificar una importante tendencia alrededor de la idea de ruptura o revolución científica matizada por otra menos radical que permite reconocer la novedad en la persistencia o también la continuidad en la ruptura. Se transforma lo que ya está, lo que se tiene, y después de hacerlo siempre queda algo de lo que teníamos. Un mínimo terreno común que en el caso de la química se refiere a su método: análisis y síntesis. Las transformaciones no son cambios absolutos. Así una vez que la química se estableció, con prácticas científicas estables y robustas, lo que significó su enseñanza en las universidades, acompañada del surgimiento de una industria que patentó los procesos y las sustancias producidas, se reconocen cuatro transformaciones, caracterizadas como tales, principalmente, por sus la aparición de diversas subdisciplinas, diferentes maneras de abordar la estructura de la materia, incorporando el uso de instrumentos específicos, Tabla 1.

Tabla 1. La química y sus cuatro transformaciones.

Transformaciones (Período)	**Características generales**	**Instrumentos**	**Protagonistas**
Surgimiento y consolidación de la química como ciencia independiente (1732-1818)	Oxígeno Química cuantitativa Lenguaje Átomos	Cuba hidroneumatica. Balanza. Calorimetro. Pila voltáica.	H. Boerhaave J. Black A.. Lavoisier J. Dalton. A. Volta

Primera (1828-74)	Congreso de Karlsruhe Moleculas Valencia Tabla periódica Química orgánica industrial	Kaliapparat. Polarimetro.	J. Liebig S. Cannizzaro A. Kekulé E. Frankland D. Mendeleiev W. Perkin
Seguda (1887-1923)	Química eléctrica Química nuclear Rayos X Fisicoquímica	Tubo de rayos catódicos. Espectrómetro de masas.	J. Thomson F. Aston M. Curie G.N.Lewis
Tercera (1945-66)	Química instrumental Química cuántica Química y bioquímica orgánica sintética Química macromolecular	Espectrómetros (UV, IR) RMN. Cromatografía.	L. Pauling R. Woodward R. Hoffmann H. Staudinger A.J.P. Martin
Cuarta (1974-99)	Química verde Química organometálica Química supramolecular Nanoquímica Femtoquímica	Detector de captura de electrones. Microscopio de barrido de efecto túnel. Fotólisis de destello con laser de zafiro-Ti.	M. Molina J. Lovelock G. Wilkinson J.M. Lehn G. Binning H. Kroto A. H. Zewail

En cada una de ellas se realizaron importantes aportaciones a lo que hoy identificamos como Tabla Periódica:

- La química surgió como ciencia independiente, con sólidas prácticas didácticas, industriales y de laboratorio, compartidas en Europa en 1732. Se puede identificar su inicio en ese año cuando el holandés H. Boeerhaave publicó el libro *Elementa Chimiae*, y con ello consolidó, por primera vez, la enseñanza de la química en la Universidad de Leiden. Posteriormente J. Black perfeccionó la balanza analítica, estudio el calor y aisló, en 1754, el dióxido de carbono a partir del carbonato de magnesio en la que pudo reconocerse como la primera reacción química cuantitativa. El descubrimiento del oxígeno por A. Lavoisier (1743-1794), lo llevó a explicar las reacciones de combustión como se siguen enseñando en las escuelas actualmente y separó los elementos en metales y no metales, división que aún hoy persiste en la Tabla Periódica. Además postuló la ley de conservación de la materia la cual fue concretada con la propuesta de J. Dalton (1766-1844) sobre la estructura atómica de las substancias.
- La primera transformación se caracteriza por la aparición de la química orgánica. La comunidad química se vuelca a entender esta subdisciplina lo que permite consolidar los conceptos de molécula, isomería y valencia en el Congreso de Karslruhe, el primer congreso científico de la historia. Uno de los asistentes al mismo, D. Mendeleiev (1834-1907), propone su tabla periódica para organizar el creciente conocimiento que se estaba desarrollando y así

poder enseñarlo de mejor manera. Por primera vez en la historia de la humanidad se sintetizan sustancias que no existían en la naturaleza. Tal es el caso del colorante malva resultado accidental de una reacción química realizada por el joven, de entonces 18 años, W. Perkin (1838-1907). A partir de esa síntesis la aristocracia europea se viste de este color lo que permite que se consolide originalmente la industria química y posteriormente la farmacéutica. Aparece la tecnociencia espacio hibrido entre ciencia y tecnología, entre universidad e industria. Con el recién inventado espectroscopio se descubre el helio en el Sol.

- La segunda transformación química marca la aparición de la fisicoquímica como subdisciplina. Se descubren los rayos X y la estructura nuclear y eléctrica de los átomos y las moléculas. W. Ramsay (1852-1916) aísla del aire y descubre, los gases nobles, lo que obliga a colocar una nueva familia en la tabla periódica. Se funda la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) organización internacional encargada, entre otras cosas, de nombrar los elementos y compuestos químicos. Años después lo hace la IUPAP (International Union of Pure and Applied Physics).
- Con la tercera transformación surge la química instrumental que permite extender el conocimiento del comportamiento de las sustancias hasta límites antes inimaginables. Los laboratorios de química cambiaron más en este periodo que en los 300 años anteriores. Se inicia la síntesis de elementos transuránidos que no existían en el Universo y G. Seaborg (1912-1999) introduce, después de sintetizar varios de ellos, la serie de los actínidos en la Tabla Periódica (Z = 89 a Z = 103).
- Durante la cuarta transformación química aparecen una multitud de subdisciplinas lo que lleva, entre otras causas, a que la química alcance sus propios límites. Las sustancias sintéticas se cuentan ya en muchas decenas de millones y su impacto sobre el medio ambiente es, por primera vez en la historia, global. Se manipulan los átomos individualmente y se realizan las reacciones más rápidas posibles. Se sintetizan los elementos del Z = 107 a Z = 112 informándose su síntesis en revistas de física y no de química. La extensión de la Tabla Periódica es un asunto de la comunidad física, que ha sido abandonado por la comunidad química, de la misma manera que se abandonó la radioquímica por la química nuclear años antes.

Sobre el descubrimiento y la creación

La esencia de la química no sólo es descubrir sino inventar y,
sobre todo, crear.
¡El libro de química no es sólo para ser leído,
sino para ser escrito!
Si fuera música
¡la pieza de química no sólo sería para ser ejecutada,
sino para ser compuesta!

J. M. Lehn, 1995.

Descubrir no es lo mismo que inventar o crear. Ya en su extraordinario libro *La invención de América,* publicado en 1958, el historiador mexicano E. O'Gorman (1906-1995) indicó que, a partir de aquel 12 de octubre de 1492 nuestro continente no fue descubierto, fue inventado. El asunto es claro: ¿descubierto para quién? ¿Acaso no había aquí importantes culturas humanas como la maya, azteca o inca?... De alguna manera también dichas culturas "descubrieron" en aquel momento a Europa. ¿Sabía C. Colón (1451-1506) que había llegado a un nuevo continente? La respuesta que reconocen muchos historiadores es que murió sin saberlo. El había llegado a Las Indias.

Lo anterior lleva a precisar tres condiciones que se requieren para identificar qué es un descubrimiento, particularmente relacionado con el conocimiento científico:

1. Que aquello que se descubra, exista. Es decir no se puede descubrir lo que no existe. Ni existen los fantasmas, ni el pato Donald, ni la kriptonita verde que tanto asusta a Superman. Lo que hay son representaciones o modelos de esas entidades, en libros, películas y conversaciones. Estas son algunas de las muchas ficciones construidas por las sociedades humanas a lo largo de su historia. Los filósofos indican que la existencia es un asunto ontológico. Lo que hoy llamamos América existe y existía (desde luego con otros nombres) cuando Colón llegó a ella.
2. Que se sepa qué es aquello que se descubre. Descubrir implica novedad, algo de lo que naturalmente no se tiene conciencia. Las personas nos pasamos la vida descubriendo y más en nuestro momento histórico. Nuevas comidas, nuevas ropas, nuevos artefactos tecnológicos. Si confundimos un picante platillo de Oaxaca con uno asiático, no estamos descubriendo nada. Los filósofos indican que el conocimiento es un asunto epistemológico. Colón nunca supo que había llegado a otro continente diferente al que buscaba cuando se embarcó en España. Sus "Indias" no eran Asia.
3. La tecnociencia es una actividad social y parcialmente pública. Por ello, el que descubre algo debe ser el primero, lo que lleva a que sus colegas reconozcan que así ha sido. Desde la segunda revolución química, sin embargo, el descubrimiento está sujeto al derecho de comercializarse bajo patente. Hoy está claro que Colón y su tripulación no fueron los primeros europeos que llegaron a América, unos pocos vikingos, provenientes de Islandia, arribaron a lo que hoy es Canadá unos 500 años antes… pero no regresaron a Europa. Aquel descubrimiento, si lo fue, permaneció oculto para la inmensa mayoría de los europeos. Es decir, no fue un descubrimiento. Descubrir es descubrir para otros. Esos otros son los que validan la novedad del descubrimiento. En la actualidad son las comunidades científicas quienes validan los descubrimientos otorgando reconocimiento público a los descubridores, como lo es el Premio Nobel. En otras ocasiones los descubrimientos se "venden" a través del complejo industrial mundial bajo patente. La Aspirina es un ejemplo de ello.

Se puede precisar lo anterior con ejemplos de la química y la física.

Entre 1772 y 1774, utilizando cubas neumáticas, el sueco C. W. Scheele (1742-1786), el inglés J. Priestley (1733-1804) y el francés Lavoisier aislaron un gas con propiedades extraordinarias. A pesar de las diversas controversias nacionales sobre la prioridad del descubrimiento del oxígeno, el que cumplió claramente con las tres condiciones anteriores fue Lavoisier. Por ello, hoy conocemos a ese gas con el nombre que Lavoisier le dio, en lugar de "aire del fuego" o "aire desflogisticado" los nombres que acuñaron Scheele y Priestley.

Durante los últimos quince años del siglo XIX, físicos alemanes, ingleses y franceses realizaron diversos experimentos con los rayos catódicos. No sólo aprendieron a producirlos sistemáticamente encerrándolos en tubos a los que lograron extraer el aire, sino que los sometieron a campos eléctricos y magnéticos observando inesperados comportamientos. De todos ellos fue J. J. Thompson (1856-1940) el que cumplió con las tres condiciones anteriores como el descubridor del electrón lo que lo hizo merecedor, entre otros premios, de la obtención del Premio Nobel de Física en 1906. No deja de ser una ironía de la historia que J.J. Thompson lo recibiera por demostrar la naturaleza corpuscular de esta partícula y su hijo G.P Thompson (1892-1975) lo recibiera, en 1937, por demostrar que el electrón se comportaba como una onda. También resulta irónico que la medalla que se entrega a los galardonados con el Premio Nobel, tanto de química como de física sea la misma, (Figura 1) como si ambas disciplinas realizaran el mismo tipo de actividad: descubrir. La tercera ironía es que el químico sueco A. Nobel (1833-1896), con cuyo dinero se patrocina el premio que lleva su nombre, no descubrió la dinamita, la inventó y la patentó durante la primera transformación química. Desde entonces los químicos descubren, pero sobre todo inventan.



Figura 1. Uno de los lados de la medalla que se otorga a los ganadores del Premio Nobel de física y química lleva la imagen de la naturaleza tapada con un velo, que es descubierta por la ciencia. El mismísimo A. Nobel no se hubiera hecho merecedor a ella, a pesar de que su tecnocientífico invento cambió la faz de la Tierra. No hay árboles, ni minas de dinamita.

Todo lo anterior es fundamental para entender que **los elementos transuránidos fueron sintetizados** y no descubiertos. No hay minas de plutonio en Plutón, ni de americio en América. No hay árboles de los que extraer californio en California, ni moscovio en Moscú. Los elementos son una creación de la tecnociencia humana. Son artificiales. Son el producto de las reacciones nucleares.

Sobre la síntesis de elementos artificiales

La segunda transformación química concluyó un año después del otorgamiento del Premio Nobel de Química a F.W. Aston (1877- 1945) por su descubrimiento, utilizando el espectrógrafo de masas, de isótopos de elementos no radiactivos. En 1912 Aston observó en su instrumento la existencia de átomos diferentes del gas noble neón. Hoy sabemos que por cada 1 000 átomos de neón, 909 tienen 10 protones; 3 tienen 11 protones y 88 tienen 12 protones.

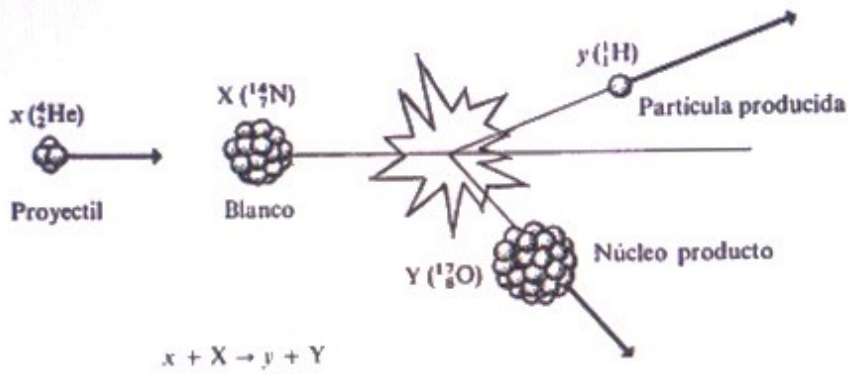
La representación icónica de los elementos y sus isótopos es ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ donde X es el símbolo del elemento, Z el número atómico (que corresponde al número de protones en el núcleo) y A el número de masa (que corresponde a la suma del número de protones y de neutrones). Así para el caso de los tres isótopos del Ne se tiene: ${}^{20}_{10}\mathrm{Ne}$; ${}^{21}_{10}\mathrm{Ne}$ y ${}^{22}_{10}\mathrm{Ne}$.

Las reacciones nucleares pueden escribirse de la siguiente manera:

$$x + \mathrm{X} \rightarrow y + \mathrm{Y}$$

donde *x* es un proyectil, o núcleo ligero, que puede acelerarse mucho y proyectarse sobre el "blanco", X. Con ello se produce otra partícula ligera *y*, y un nuevo núcleo pesado, Y. Un esquema que representa lo anterior y que corresponde a la primera reacción nuclear, realizada por Rutherford en 1919 bombardeando átomos de nitrógeno con partículas alfa (núcleos de He), es:

$${}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$



Es bien sabido que el número atómico Z, es el que caracteriza a cada uno de los elementos que se representan en la Tabla Periódica. Por ejemplo, todos los átomos con un protón en su núcleo son de hidrógeno; sin embargo, algunos de éstos tienen uno o más neutrones (otra partícula nuclear de masa semejante a la del protón pero sin carga eléctrica). Hay tres isótopos del hidrógeno elemental: protio, deuterio y tritio. El tritio tiene un protón y dos neutrones y fue sintetizado por Rutherford en 1934.

En la Tierra, el isótopo predominante del hidrógeno es el protio. El tritio es inestable y se rompe espontáneamente en el fenómeno que conocemos, desde la segunda transformación química, como radiactividad. Rutherford acuñó también el concepto de tiempo de vida media ($t_{1/2}$) como aquel que se requiere para que una determinada cantidad inicial (en este caso de átomos) se reduzca a la mitad. En el caso del tritio su $t_{1/2}$ es igual a 12.32 años, lo que quiere decir que si tenemos 100 átomos de tritio puro, 12.32 años después tendremos 50 átomos, 12.32 años después 25 átomos, y 12.32 x 5 años después nada. Así 100 átomos de tritio desaparecen después de 86.2 años. El tritio se utiliza para datar el agua y una vez que el vino es una mezcla homogénea de agua y alcohol, conociendo la cantidad de átomos de tritio en una botella de vino se puede saber su edad.

Si el número atómico es pequeño, la proporción de protones a neutrones es cercana a la unidad y los núcleos son estables. Conforme aumenta el número de protones en el núcleo la cantidad de neutrones se incrementa en mayor proporción para evitar que el núcleo se desintegre por el incremento de la repulsión eléctrica de los protones. La mayor estabilidad nuclear se presenta para los núcleos con 2, 8, 20, 28, 50, 82 y 126 protones o neutrones. El reconocimiento de estos “números mágicos” ha servido para evaluar diversos modelos de estructura nuclear.

Los primeros intentos para producir elementos más pesados que el uranio fueron realizados por E. Fermi (1901-1954) y E. Segré (1905-1989) en Italia en 1934. La idea era bombardear al uranio con neutrones, esperando luego una emisión de una

partícula β (electrón $^{0}_{-1}e$), con lo que se habría logrado un átomo con Z = 93. A pesar de que en un principio reportaron resultados positivos, corrigieron sus resultados posteriormente reconociendo que su experimento había fracasado, pero esta línea de investigación los llevó más tarde a profundizar en las reacciones de fisión nuclear (aquella en la que un átomo se rompe al menos en otros dos de menor número atómico). De hecho ésta fue descubierta por un grupo alemán compuesto por O. Hahn (1879-1968), L. Meitner (1878-1868) y F. Strassmann (1902-1980), quienes después de bombardear uranio con neutrones lentos, identificaron que el núcleo de uranio se había "roto" en pequeños pedazos, formados por átomos de Ba, La, I, Te, Mo y otros más.

Fue en 1940 cuando en la Universidad de California en Berkeley el grupo integrado principalmente por E. McMillan (1907-1991) y G.T. Seaborg (1912-1999), empleando el isótopo del hidrógeno conocido como deuterio sintetizaron por vez primera elementos transuránidos, el neptunio y el plutonio, a través de las siguientes reacciones realizadas en un acelerador de partículas de 150 cm de ancho conocido como ciclotrón (Figura 2):

$$^{238}_{92}U + {}^{2}_{1}H \rightarrow {}^{238}_{93}Np + 2{}^{1}_{0}n$$

$$^{238}_{93}Np \rightarrow {}^{238}_{94}Pu + {}^{0}_{-1}e$$

Por esta síntesis McMillan y Seaborg se hicieron merecedores del Premio Nobel de Química en 1951. Aquí hay que hacer notar que poco después de su síntesis se encontró que algunos de los isótopos del Np y Pu tienen $t_{1/2}$ de millones de años, lo que ha permitido encontrar trazas de ellos en minas de uranio.

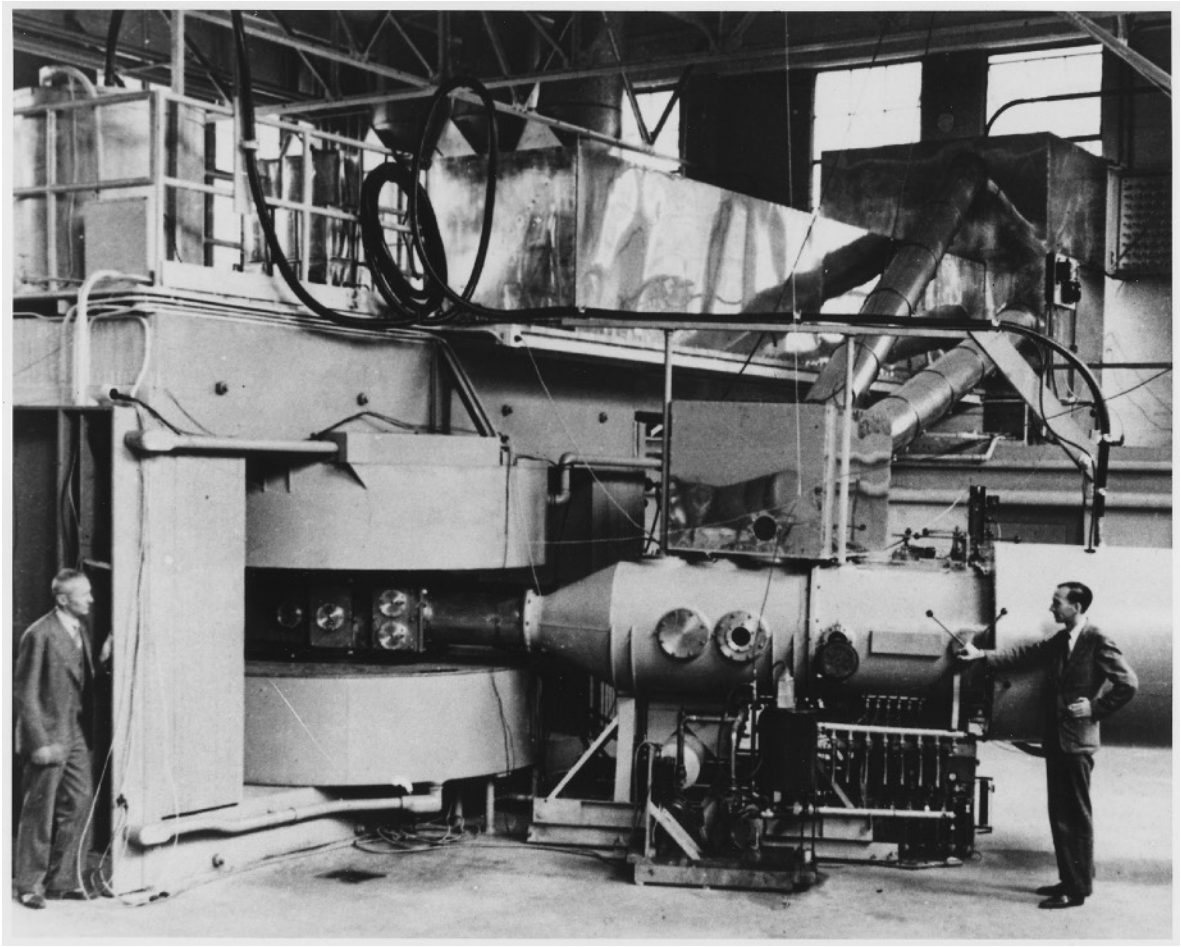


Figura 2. Ciclotrón de Berkeley, instrumento en que se sintetizaron diez elementos hechos y caracterizados allí, además de docenas de isótopos de otros elementos.

En esa época se esperaba que el elemento con Z = 93 ocupara la posición inferior de la familia 7, debajo del Re, ya que ciertas propiedades del Th, Pa y U se asemejaban a la de los elementos más ligeros de las familias 4, 5 y 6. No obstante, el Np pronto mostró propiedades más cercanas al U que al Re. También en la Universidad de California, las síntesis posteriores del americio (Am, Z = 95) y el curio (Cm, Z = 96) y su similitud con U, Np y Pu, llevaron a Seaborg a proponer, en 1945, que todos estos elementos estaban llenando la capa 5f, y no la 6d como se suponía, y por ello formaban parte de una serie análoga a la de los lantánidos, conocida desde entonces como actínida.

Las síntesis posteriores del berkelio (Bk, Z = 97) y californio (Cf, Z = 98), en 1949 y 1950; del einstenio (Es, Z = 99) y fermio (Fm, Z = 100) en 1952 y 1953; el mendelevio (Md, Z = 101), en 1955, el nobelio (No, Z = 103) y en 1961 el lawrencio (Lw, Z = 104) no hicieron más que completar la serie.

Además del grupo original de la Universidad de California, al poco tiempo de finalizar la Segunda Guerra Mundial se fueron conformando otros dos grupos dedicados a la síntesis de nuevos elementos, el de Dubna en la entonces Unión Soviética y el de Darmstadt en Alemania Occidental. Cada uno de ellos se disputó la prioridad de la síntesis de los pocos átomos que se obtenían de los elementos post-lawrencio, dándoles diferentes nombres, como joliotio, kurchatovio o nielsbohrio.

Para evitar disputas, en 1979, la IUPAC emitió una serie de recomendaciones para nombrar los elementos con Z mayor a 100 y que se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Reglas para nombrar a los elementos con Z>100

1) Los nombres de los elementos deben relacionarse con su número atómico
2) Los símbolos consistirán en tres letras
3) Todos los nombres terminarán con la letra "o"
4) Se usaran las raíces numéricas siguientes:

0 = nil	5 = pent
1 = un	6 = hex
2 = bi	7 = sept
3 = tri	8 = oct
4 = quad	9 = enn

debiéndose colocar juntas las raíces en el orden de los dígitos que forman el número atómico. Por ejemplo

Z = 104	unnilquadio	Unq
Z = 109	unnileno	Une
Z = 113	ununtrio	Uut
Z = 120	unbinilo	Ubn
Z = 205	binilpento	Bnp

Tras la Segunda Guerra Mundial el ímpetu en la síntesis de nuevos elementos se volvió un asunto político bajo la sombra de la Guerra Fría. El lanzamiento de dos bombas nucleares sobre población civil en Japón, cuando dicho país ya estaba derrotado militarmente, envió un claro mensaje a la entonces Unión Soviética de que el control del conocimiento sobre la estructura nuclear tenía y tendría en el futuro importantes repercusiones militares y económicas. Este mensaje sigue compartido y comprendido por las potencias nucleares de hoy: Estados Unidos, Rusia, Inglaterra, Francia, China, la India, Pakistán, Israel y Corea del Norte, poseedoras de un arsenal capaz de destrozar la Tierra.

Desde la tecnociencia el tema se volvió también muy importante una vez que, casi coincidiendo con el inicio de la Guerra Fría, aparecieron nuevos modelos sobre la estructura nuclear, en particular los que indican que el núcleo tiene una estructura de

capas, semejante a la que poseen los átomos. Los físicos que propusieron dichas teorías, que debían ser comprobadas experimentalmente entre otras maneras con la síntesis de nuevos elementos, se hicieron merecedores del Premio Nobel de Física en 1963. Los anteriormente llamados "números mágicos" responden a lo predicho por este modelo de estabilidad nuclear. En 1966 físicos de Dubna propusieron que uno de esos números mágicos podría ser Z = 114 además de Z = 126. Así la región entre estos dos posibles elementos daría lugar a lo que se llamó una isla de estabilidad con núcleos atómicos con $t_{1/2}$ suficientemente largos para que los elementos transuránidos dejaran de ser una curiosidad. En una entrevista de 2017, Y. Organessian, líder del grupo de Dubna, en cuyo honor se nombró Organesón al elemento con Z = 118, indicó referente a los elementos con Z > 112:

> *Sus tiempos de vida media son extremadamente pequeños, pero si se agregan neutrones a los núcleos de estos átomos. Sus tiempos de vida crecen. Añadir ocho neutrones a los isótopos más pesados conocidos de los elementos 110, 111, 112 e incluso 113 aumentaran su tiempo de vida media alrededor de 100,000 veces ... pero todavía estamos lejos de la cima de la isla, donde los átomos pueden tener vidas de millones de años. Necesitaremos nuevas máquinas para alcanzarlo.*

Resumiendo, desde finales de la Segunda Guerra Mundial se realizaron una importante cantidad de experimentos de síntesis en Estados Unidos, Unión Soviética (Rusia), Alemania y Japón donde se han sintetizado respectivamente, 11, 8, 6 y 1 nuevos elementos, algunos de ellos resultado de investigaciones compartidas (Tablas 1 y 2). Lo anterior es una indicación del final de la frenética carrera en la que se enfrentaron los diversos grupos involucrados, herencia de la Guerra Fría.

Tabla 1. Instituciones en las que se han sintetizado los elementos artificiales

Abreviatura	**Institución (País)**
UC-B	Universidad de California en Berkeley (EU)
UC	Universidad de Chicago (EU)
LBNL	Laboratorio Nacional Lawrence en Berkeley (EU)
LLNL	Laboratorio Nacional Lawrence en Livermore (EU)
ORNL	Laboratorio Nacional de Oak Ridge (EU)
GSI	Centro de Investigación de Iones Pesados (Alemania)
JINR	Instituto Conjunto de Investigación Nuclear (Unión Soviética-Rusia)
RIKEN	Instituto de Ciencias Naturales (Japón)

Tabla 2. Reacciones de síntesis y tiempos de vida media de los elementos transuranidos

NA	Símbolo	Nombre	Fecha y reacción de síntesis	$t_{1/2}$*	Detalles…algunos de ellos químicos
93	Np	Neptunio	1940 (UC-B); ^{238}U con ^{1}n	^{237}Np:2 **	Químicamente similar al U
94	Pu	Plutonio	1940 (UC-B); ^{238}U con ^{2}H	^{244}Pu:80**	Se ha estimado que la cantidad total que hay en la Tierra es de 9g
95	Am	Americio	1944 (UC); ^{239}Pu con ^{1}n	^{243}Am: 473a	AmO_2. Se han sintetizado varios kilogramos.
96	Cm	Curio	1944 (UC-B); Pu con He	^{243}Cm:29a	CmF_4
97	Bk	Berkelio	1949 (UC-B); Am con He	^{247}Bk:1380a	La producción total de berkelio es un poco mayor a 1g.
98	Cf	Californio	1950 (UC-B); Cm con He	^{251}Cf:898a	CfI_2. Se conocen 20 isótopos. Uno de ellos se utiliza para “encender” reactores nucleares
99	Es	Einstenio	1952; U con ^{1}n ***	^{252}Es:471d	Se uso para producir Md
100	Fm	Fermio	1952; U con ^{1}n ***	^{257}Fm:101d	Otras síntesis: U con O (Suecia)
101	Md	Mendelevio	1955(UC-B); Es con He	^{258}Md:52d	17 átomos
102	No	Nobelio	1958 (JINR); Pu con O	^{259}No:58m	Otras síntesis: Cm con C (Suecia)
103	Lr	Laurencio	1961 (LBNL); Cm con B	^{266}Lr:11h	Otras síntesis: Am con O (JINR)
104	Rf	Rutherfordio	1964 (JINR); Pu con Ne	^{267}Rf:1.3h	Otras síntesis: Cu con O (LBNL)
105	Db	Dubnio	1965 (JINR); Am con Ne	^{268}Db:29h	Otras síntesis: Cf con Ne (LBNL)
106	Sg	Seaborgio	1970 (LBNL); Cf con O	^{271}Sg:1.9m	Otras síntesis: Pb con Cr (JINR)
107	Bh	Bohrio	1975 (JINR); Bi con Cr	^{270}Bh:61s	Su inequívoca síntesis fue realizada en 1981 en el GSI

108	Hs	Hassio	1978 (GSI); Pb con Fe	^{277}Hs:12m	Otras síntesis: Ra con Ca (JINR)
109	Mt	Meitnerio	1982 (GSI); Bi con Fe	^{278}Mt:7.6s	El isotopo inicialmente sintetizado, ^{266}Mt tiene un $t_{1/2}$ = 5ms
110	Ds	Darmstatio	1994 (GSI); Pb con Ni	^{281}Ds:11s	****
111	Rg	Roentgenio	1994 (GSI); Bi con Ni	^{281}Rg:26s	En la síntesis de este elemento y del Cn participaron físicos de Dubna
112	Cn	Copernicio	1996 (GSI); Pb con Zn	^{285}Cn:29s	Su símbolo inicial fue Cp
113	Nh	Nihonio	2004 (RIKEN); Bi con Zn	^{286}Nh:20s	Su nombre quiere decir literalmente: La tierra del Sol naciente
114	Fl	Flevorio	1998 (JINR); Pu con Ca	^{289}Fl:2.6s	Este elemento y el Lv fueron resultado del trabajo compartido con LLNL
115	Mc	Moscovio	2010 (JINR)	^{289}Mc:0.220$_s$	Los elementos Z=115 al Z=118 fueron asignados y ratificados por la IUPAC a medidos del 2017.
116	Lv	Livermorio	2000 (JINR-LLNL)	^{293}Lv:0.061s	Con el Lv el estado de California ha sido honrado con el nombre de tres elementos
117	Ts	Téneso	2010 (ORNL-JINR-LLNL)	^{294}Ts:0.078s	Se han predicho compuestos como TsH y TsF_5…que no se han encontrado

* Del isótopo con vida más larga (a= años; d=días; h=horas; m=minutos; s= segundos). Este isótopo no necesariamente es el que primero se sintetizó de dicho elemento.

** Millones de años. Cantidades muy pequeñas se han descubierto en minas de U.

*** Estos elementos fueron descubiertos en los restos de la explosión de las bombas de fisión realizadas por el ejercito norteamericano en los atolones del océano Pacífico.

**** S. Hoffman uno de los responsables de la síntesis relató la intensa dinámica del proceso posterior: *Cerca del mediodía de ese mismo día (13/11/1994) quedó claro que teníamos que publicar nuestro resultado tan pronto como fuera posible debido al experimento semejante que se estaba llevando a cabo en Dubna…A la mañana siguiente, el 14 de noviembre, se terminó la versión final del documento y uno de los choferes de nuestro Instituto lo entregó directamente a los editores [del Zeitschrift für Physik]. A continuación informamos oficialmente al resto del personal del GSI y un comunicado de prensa se emitió el 17; al día siguiente leímos sobre nuestros resultados en los periódicos.*

A manera de conclusión

Los elementos transuránidos fueron sintetizados o creados, pero no descubiertos. La actividad científica de síntesis, que consiste en construir algo nuevo con partes ya existentes previamente, fue desarrollada inicialmente por la química para extenderse posteriormente a la física y a partir del siglo XXI a la biología.

La vertiginosa carrera por sintetizar elementos transuránidos, los primeros artificiales, fue y es motivo de orgullo personal, institucional y nacional en el que los científicos han invertido tiempo, las instituciones su prestigio, y los países participantes el equivalente a cientos de millones de dólares. Además de las carreras científicas, los galardones internacionales y las noticias de prensa que presumen del mayor conocimiento de la estructura nuclear o del "incremento de elementos en la Tabla Periódica", la finalidad última es una herencia de la Guerra Fría y su secuela industrial de producción de bombas nucleares.

Las síntesis fueron reportadas en revistas de física, una vez que los instrumentos para detectar los fragmentos de los pocos átomos obtenidos de los nuevos elementos en su casi inmediato camino a su destrucción son de origen físico… Poca química se ha desarrollado con ellos y con los más pesados, ninguna. Químicamente son una curiosidad.

A partir de la Segunda Guerra Mundial la radioquímica, disciplina construida por M. Curie a principios del Siglo XX durante la segunda transformación química, cedió su lugar a la química nuclear que terminó convirtiéndose en una rama de la física nuclear. Lo anterior se constató en 1985 durante la cuarta y última transformación química, en medio de las disputas sobre la prioridad de la síntesis de los nuevos elementos. En esa fecha se estableció el TWG (Grupo de trabajo sobre los elementos transfermio), integrado en ese momento por nueve científicos, dos de ellos procedentes de la IUPAC y siete de la IUPAP, para corroborar la existencia y el lugar de la síntesis de los elementos del Z=104 al Z=109. El grupo original de TWG estaba integrado sólo por físicos, que son en realidad a los que les interesa el asunto y, como ya se indicó, quienes publican los detalles técnicos de la síntesis.

Contrario a lo que pensaba Rutherford, al sintetizar los elementos artificiales, los físicos aprendieron a hacer química…¡y también filatelia!