



LA TABLA PERIÓDICA, EVOLUCIÓN Y TENDENCIAS

Jorge A. Cervantes Jáuregui. Departamento de Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato. Guanajuato, Gto., 30950. jauregi@ugto.mx

En este ensayo, se pretenden cubrir algunos aspectos que tienen que ver con la tabla periódica, su evolución y la controversia histórica por nombrar los nuevos elementos y un enfoque a los elementos superpesados, su síntesis y hacia dónde van los estudios relativos a estos, tomando en cuenta que la búsqueda de más elementos químicos continúa y con ello se vuelve a poner como tema de discusión si el arreglo actual de la tabla sigue siendo vigente y a la vez, la importancia de que si ya la tabla periódica actual tiene nombrados a los 118 elementos ¿qué propiedades tienen estos y que hacer para poderlas determinar si su tiempo de vida es brevísimo?

The present essay tends to cover several aspects of the Periodic Table of The Elements in terms of evolution and the historical controversy to name new elements as well as a focus on the synthesis and recent studies regarding the super heavy elements taking into account the search of more elements continues and again is in the center of the discussion if the actual periodic table array covers the modern needs. In the same direction, another important topic is related to the question once the 118 elements have already name: what properties do they have and how to obtain them if the life time is so small?

El impacto histórico de la tabla periódica fue analizado en el extraordinario programa de inauguración del Año Internacional de la Tabla Periódica celebrado el 29 de enero de 2019 en la sede de la UNESCO en París donde algunos de los temas expuestos en las distintas conferencias fueron entre otros: “Los elementos químicos en la vida, la tabla periódica para la sociedad y el desarrollo” impartida por Ben Feringa, premio Nobel 2016, “Los elementos químicos hechos a mano” por Yuri Oragessian, pionero de los elementos químicos sintéticos. Otros más fueron “La tabla periódica, el regalo de Mendeleev a la educación”, “El origen de los elementos químicos en el espacio exterior”, “La tabla periódica y los meteoritos”, “Las estrellas: de la cuna a la tumba”, “La tabla periódica y sus conceptos multidisciplinarios para el desarrollo”, “La tabla periódica y el desarrollo sustentable”. De igual manera, fueron verdaderas opiniones que emanaron de científicos jóvenes invitados de los cinco continentes.

La primera tabla publicada por Dimitri Mendeleev con todos los elementos conocidos entonces (63) muestra uno de los aspectos claves de su propuesta, y que fue la predicción de nuevos elementos dejando espacios que luego fueron descubiertos y como él llamó “un intento para ordenar los elementos químicos en función de sus pesos atómicos y su afinidad química”. La figura 1, muestra la primera tabla periódica propuesta por Mendeleev, a la que si se le da un giro de 90° (figura 2), va tomando sentido con respecto al arreglo de la tabla que aún persiste hasta nuestros días y que no deja de causar polémicas mismas que se acrecientan en este simbólico año de conmemoración. Ya en 1870, apenas un año más tarde,



tenía otra reconfiguración respetando ese arreglo proveniente del “giro”. Y en 1904, cuando ya se habían descubierto varios de los gases nobles y que parecían meterían ruido a su arreglo, pero su propia nula reactividad puso las cosas en su lugar y a estos gases se les colocó entonces en el llamado grupo “cero”, todo a la izquierda (figuras 3 y 4).

Fig. 1. Mendeleev's original February 1869 publication of his short-form periodic system, entitled "An Attempt at a System of Elements, Based on Their Atomic Weight and Chemical Affinity."

Fig. 3. Mendeleev's 1904 periodic system, incorporating the noble gases as a left hand column. Elements a dash at the top of that column are predictions related to the hypothetical lanthanide series.

Reihenr.	Gruppe I. — R'O	Gruppe II. — R'O	Gruppe III. — R'O ³	Gruppe IV. RH ⁴ R'O ²	Gruppe V. RH ⁵ R'O ³	Gruppe VI. RH ⁶ R'O ³	Gruppe VII. RH R'O ⁷	Gruppe VIII. — R'O ⁴
1	H=1							
2	Li=7	Be=4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fe=56, Co=59, Ni=59, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—68	—72	As=75	Se=78	Br=80	
6	Rb=85	Sr=87	?Y=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Cs=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140				
9	(—)		?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184		
10								Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208			
12				Th=231		U=240		

Figuras 3. Tabla Periódica de 1870.

Tabla periódica de 1904

Los elementos químicos han sido motivo de controversia por distintos motivos, pues encontramos que en nuestros tiempos representan hasta armas políticas (China poseedora de los principales yacimientos y además de los métodos para beneficiar a las llamadas tierras



raras, las usa de arma respecto a los aranceles que Trump pretende aplicarles). Han servido o sirven igualmente, como moneda de cambio en las guerras intestinas de algunos sitios del África: elementos químicos por armas. Y otra controversia más lo es el hecho de ponerse de acuerdo para nombrar a los elementos que se van descubriendo y aquí hay también muchas historias pues representan etapas de la vida del mundo contemporáneo tal como “la Guerra Fría”, en la que no había manera de ponerse de acuerdo entre los científicos de los bandos rusos, alemanes y norteamericanos para bautizarlos. Las tablas que se comentan a continuación son sólo una pequeña muestra. Veamos. En la tabla que publicó en una de sus ediciones de 1980 del libro de química inorgánica Purcell y Kotz, se plasma hasta el elemento 105 que ahí aparece con el símbolo Ha (para honrar al científico alemán Hassio). El 104 aparece sin nombre, pues los rusos le llamaban Kurchatovio (Kf) y los norteamericanos Ru (Rutherfordio).

En el famosísimo libro de química inorgánica de Huheey también edición 1980, pone al elemento 104 como Rutherfordio y al 105 como Hassio (Ha) aún y cuando la IUPAC no los había autorizado. Mucho más congruentes con las condiciones de la época fueron nuestros profesores de química mexicanos Chamizo y Garritz, que en su libro de Química (1994) plasmaron lo correcto: aún no se reconocían oficialmente esos nombres por lo que usaron los nombres en latín para el 104 (Unp, unilquatio) y para el 105 (Unp, unilpentio), nombres en latín que para estos y otros elementos han sido empleados en años subsecuentes a los descritos mientras se oficializaba el nombre. Al final de cuentas con los años hubo decisiones salomónicas: el 104 quedó como Rutherfordio (Rf) que habían propuesto los norteamericanos y nada de Ha (Hassio), pues como Hassio había sido un científico alemán que participó en los proyectos de bomba atómica frustrados de los alemanes, simplemente hubo corrientes fuertemente opositoras a ello. Quedó como Dubnio (Db) para dar gusto a los rusos y en honor a Dubna, ciudad cerca de Moscú donde se encuentra el famoso laboratorio Flerov en el que se han sintetizado varios de los elementos químicos artificiales que hoy conocemos.

Es conveniente recordar las reglas establecidas por la IUPAC para nombre los elementos químicos que consideran cinco categorías: 1) Un concepto mitológico, 2) El carácter de un mineral o sustancia, 3) Un lugar o región geográfica, 4) Una propiedad de un elemento y 5) En honor a un científico. Se ponen como ejemplo los últimos cinco elementos que han sido bautizados y la razón asociada con la categoría: **Nihonio**, descubierto en Japón (Laboratorio RIKEN). Primer elemento descubierto en país asiático. Nihon, es una de las dos formas de decir Japón en japonés. **Moscovio**, propuesto por sus descubridores del instituto de investigaciones nucleares de Dubna, muy cerca de Moscú. **Teneso**, por haber sido descubierto por investigadores asociados con la Universidad de Tennesy y con el laboratorio nacional de Oak Ridge. **Oganesón**, descubierto en colaboración de los grupos de Rusia (ciudad de Dubna) y el laboratorio Lawrence Livermore National Laboratory en California y que se nombró en honor al físico ruso Yuri Oganessian, pionero en el descubrimiento de los elementos superpesados. Las figuras 5 y 6 ilustran la tabla periódica previa y la actual



con los nombres pendientes y con los últimos 4 elementos descubiertos y nombrados. .

The Periodic Table

This is a standard periodic table from 1989. It features several gaps in the lower right quadrant, which were predicted by Dmitri Mendeleev. These gaps are highlighted with red circles and labels: 'A', 'B', 'C', 'D', 'E', 'F', 'G', 'H', 'I', 'J', 'K', 'L', 'M', 'N', 'O', 'P', 'Q', 'R', 'S', 'T', 'U', 'V', 'W', 'X', 'Y', 'Z'. The table includes elements from Hydrogen (1) to Oganesson (118).

2011

This is the current periodic table as of 2011. It includes the four newly discovered and named elements: Tennessine (Ts, 117), Oganesson (Og, 118), Nihonium (Nh, 113), and Moscovium (Mc, 115). These elements are highlighted with red circles. The table also shows the lanthanide and actinide series at the bottom.

Figura 5. Tabla periódica previa a la actual

Figura 6. La tabla periódica actual

El tema de los elementos superpesados es apasionante pues entra en el último grupo de los procesos que han dado origen a los elementos químicos de acuerdo a diferentes teorías. Esto es, del helio al litio, el proceso de obtención se asocia con teoría del “Big-Bang”, así mismo la participación de rayos cósmicos para sintetizar elementos ligeros como litio, berilio y boro. Posteriormente, la fusión en estrellas, o llamada nucleosíntesis estelar en la que a partir de helio se obtiene hasta el hierro, proceso que se detiene pues no es posible obtener elementos más pesados mediante la fusión. Vendrán luego el llamado proceso “S” (slow, por lento) donde átomos capturan neutrones y a través de decaimiento beta, se producen isotopos de nuevos elementos (entre el cobalto y el bismuto). Otro nombre muy ingenioso, el proceso “R” (fast, por rápido) formándose del galio al plutonio. Finalmente, los elementos sintéticos obtenidos bien en reactores nucleares o en aceleradores de partículas (del americio al oganesón).

En el caso del elemento que fue nombrado con el gran protagonista de este año internacional de la Tabla Periódica, el mendelevio (Md) en honor a Mendeleev, fue obtenido en un ciclotrón bombardeando átomos de estenio (Es-253) con partículas alfa para dar el Md-256 y un neutrón:



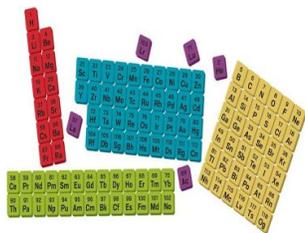
Pero ¿cuál es la actualidad y las tendencias en la búsqueda de elementos superpesados más allá del elemento 118? La respuesta es que uno de los personajes centrales, Yuri Oganessian, de 85 años y su laboratorio, el famoso laboratorio Flerov han desarrollado un nuevo sistema al que han llamado “La Fábrica de elementos Superpesados” dedicada exclusivamente a la síntesis de nuevos elementos y al estudio de sus propiedades. Para ello, conviene hacer mención de cuáles fueron las razones por las que existe esta “fábrica”. La problemática de la obtención del elemento 113 (nihonio) por los científicos japoneses, que tardaron 7 años en comprobar su existencia, llevó a que se modificara la estrategia de síntesis para los elementos más pesados. Se recurrió a la fusión caliente, desarrollada por Flerov a inicios de los años



90's. Este método emplea rayos de energía mucho mayor que van hacia un átomo objetivo muy especial, siendo el escogido el calcio-48, que se describe como un isótopo que debe de aislarse por un proceso muy laborioso a partir del calcio natural. Y eso no es todo, su costo es de \$250,000 dólares el gramo. Sin embargo, se hace saber que valió la pena pues mientras al laboratorio japonés le costó 9 años obtener tres átomos del elemento 113, con la estrategia citada en el laboratorio Flerov se obtuvieron muchos átomos del elemento 114 en un periodo de 6 meses. Ello dio lugar a que la síntesis de los siguientes elementos hasta el 118 fuera asunto aritmético como es descrito en reciente artículo de Science (febrero de 2019): Al ser el calcio elemento con número atómico 20 más americio (elemento 95) dio lugar al 115. Calcio más curio (elemento 96) generó el 116 y así hasta el 118.

Sin embargo ¿es la ruta para llegar al 119, 120 y más allá? La estrategia citada se encuentra limitada para llegar por esa ruta al elemento 119 ya que al requerirse bastantes miligramos del átomo objetivo y obtener suficiente cantidad del elemento 99 (einstenio) no es posible por esta ruta. No se han descubierto nuevos elementos desde el año 2010 y es ahí es donde entra en acción la nueva fábrica cuyo costo fue de 60 millones de dólares y se supone que en este mes de marzo pasado debió de iniciar los experimentos en la búsqueda de los elementos 119 y 120, esperando que en los próximos 5 años haya noticias. Brevemente ¿en qué consiste? En la fuente de iones en la que se producen 6 trillones de grupos de átomos por segundo que irán a un deflector electrostático que gira a 90 grados el rayo y lo direcciona hacia el ciclotrón que consta de un magneto de 1000 toneladas donde serán aceleradas a una velocidad cercana a un décimo de la velocidad de la luz. El rayo es dispersado y redireccionado hacia el átomo objetivo. El rayo de átomos choca con el átomo objetivo que se encuentra colocado en una lámina delgada. Si ocurre la fusión, el átomo superpesado atraviesa la lámina y es separado del grupo de átomos extraños. Luego, el átomo llega al detector donde el átomo pierde partículas alfa, que son detectadas permitiendo que la identidad del átomo sea reconstruida. Esto es un proceso al que los científicos han denominado como “un matrimonio forzado”. Debe considerarse que para que un elemento sea considerado como tal en función de los resultados de los experimentos, un núcleo debe de sobrevivir al menos 10^{-14} s, y tomando en cuenta que no duran mucho y que los isótopos con más neutrones para tratar de estabilizarlos son difíciles de preparar, la determinación de sus propiedades o de sus compuestos es todo un reto, pues debe de tener un tiempo de vida de más de un segundo.

En paralelo con la búsqueda de elementos superpesados, en este año de la Tabla Periódica se revisan así mismo varios detalles en referencia a su arreglo, ya que es motivo de discusiones pues se piensa que el arreglo actual no permitirá dar cabida a más elementos. En la siguiente figura se muestra la tabla en fragmentos, como un simbolismo de dichas discusiones pues si bien hay grupos de elementos bien definidos, desde tiempo atrás hay elementos que no tienen una ubicación clara.



El arreglo de la tabla escalonada a la izquierda propuesta por Charles Janet, basada estrictamente en orbitales atómicos y en el orden de llenado de los electrones ya tiene el lugar apartado para los elementos 119 y 120 así como la necesidad de involucrar orbitales g.

Otra propuesta sumamente provocativa lo es la del científico danés Pekka Pyykkö que propuso una tabla periódica hasta el elemento con número atómico 172 basada en las configuraciones electrónicas las cuales calculó tomando en cuenta efectos relativistas.

Dichos efectos relativistas se refieren a que las altas y concentradas cargas de los núcleos superpesados distorsionan los orbitales de los electrones del entorno, lo que afecta su comportamiento y la forma como establecen enlaces. Los electrones en átomos más pesados se mueven más rápido que su comportamiento, y las propiedades de los átomos a los que



pertenecen empiezan a cambiar y estos efectos crecerán a medida que los elementos ganan peso por lo que se piensa que las propiedades de los elementos superpesados son únicas y no se pueden extrapolar tal y como en los orígenes de la tabla periódica Mendeleev lo hizo y que fue una de sus principales aportaciones.

Y surge entonces la pregunta, y los nuevos elementos superpesados ¿dónde se ubicarán? ¿en la columna de sus números atómicos o en la de sus propiedades similares? En esta búsqueda de elementos, al ser de gran magnitud científica pero a la vez de grandísimas inversiones, no dejan de poner en tela de duda si es necesaria, esto es la controversia de seguir buscando y en esta corriente una de las tendencias es realizar ciertos experimentos tratando de agregar neutrones a elementos superpesados existentes a fin de hacerlos más estables y generar versiones de estos elementos de mayor vida y con ello alcanzar la llamada **“isla de estabilidad”**, la supuesta región de elementos superpesados de mayor vida y poder estudiar sus propiedades, siendo el propósito responder preguntas muy básicas relativas a los elementos superpesados, tales como su masa y su forma y como estas propiedades afectan sus propiedades electrónicas. Otra de las corrientes refiere que las tecnologías usadas para sintetizar nuevos elementos pueden ayudar a obtener radioisótopos útiles en medicina y probar entre otras cosas, el comportamiento de los componentes de satélites al ser bombardeados por partículas.

Pensando en los orígenes mismos del universo se considera que algunos elementos superpesados deben estar en la naturaleza ya sea en rayos cósmicos, meteoritos, rocas lunares, en peces ancestrales, sin que al momento nada haya ocurrido. De igual manera se ha investigado o se investiga en las explosiones de supernovas, y en estrellas anómalas como la Przybylski, que se ha reportado muestra señales del einstenio, elemento nunca observado en la naturaleza. Así mismo, el que el hogar de elementos superpesados se encuentre en el interior de estrellas calientes. Sin embargo, los “cazadores” de nuevos elementos señalan que su búsqueda en gran medida “...es el arte por el arte, al ser algo majestuoso incrementar el número de protones, ya que es natural llegar a un límite, pero ir más allá”. En el Año Internacional de la Tabla Periódica se abren nuevas vertientes de investigación, lo que hace cada vez más apasionante el legado de Mendeleev.

Referencias. La escritura de este ensayo se ha basado entre otras en las siguientes referencias: Chem and Eng. News, January 7, 2019, v.97, n. 1. S. Lemonick. The periodic table is an icon. But chemists still can't agree on how to arrange it. Science, February 1, 2019, V. 363, n. 6246 (sección especial sobre la Tabla Periódica): S. Kean. The quest for super heavies. M.C. Gordin. Ordering the elements. Visita al Ciclotrón TRIUMF (Vancouver, Canadá) J. Cervantes J. mayo de 2016. Diversos textos de química general e inorgánica