

Artículo invitado

LOS ARBOLES DE PERIODICIDAD Y LOS ELEMENTOS DEL BLOQUE D DE LA TABLA PERIÓDICA ESTÁNDAR

Alfio Zambon

Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Argentina.

E-mail: alfiozambon@gmail.com

Resumen. El sistema periódico basado en triadas de número atómico, propone una representación donde el criterio principal es el orden creciente de los números atómicos, y el criterio secundario se establece mediante la formación de triadas de números atómicos, sin apelar a las configuraciones electrónicas ni ninguna consideración cuántica. Aunque la tabla propuesta se basa en triadas de números atómicos, la relación fundamental en la arquitectura de la tabla está dada por los "árboles de periodicidad": sistemas simétricos de elementos interrelacionados por medio de las triadas, que contienen 20 elementos cada una y toman el lugar de los grupos tradicionales. En este trabajo, desarrollaremos la propuesta de "árboles de periodicidad" y la aplicaremos a discusiones actuales en la tabla periódica, particularmente a los elementos que integran el bloque d de la tabla periódica estándar.

Palabras clave: Triadas de número atómico, Árboles de periodicidad, Bloque d

The periodicity trees and the elements of block d of the standard periodic table

Abstract. The periodic system based on triads of atomic number, proposes a representation where the main criterion is the increasing order of atomic numbers, and the secondary criterion is established through the formation of triads of atomic numbers, without appealing to electronic configurations or any quantum consideration. Although the proposed table is based on triads of atomic numbers, the fundamental relationship in the architecture of the table is given by the "periodicity trees": symmetric systems of interrelated elements by means of the triads, which contain 20 elements each and they take the place of traditional groups. In this work, we will develop the "periodicity trees" proposal and apply it to current discussions in the periodic table, particularly to the elements that make up block d of the standard periodic table.

Key words: Triads of atomic number, Periodicity trees, Block d

"La biblioteca es ilimitada y periódica. Si un eterno viajero la atravesara en cualquier dirección, comprobaría al cabo de los siglos que los mismos volúmenes se repiten en el mismo desorden (que, repetido, sería un orden: el Orden). Mi soledad se alegra con esa elegante esperanza."

Jorge Luis Borges¹

¹ Extraído del cuento "La biblioteca de Babel" (Borges (2005)).

INTRODUCCIÓN

Las tablas periódicas se construyen con base en dos criterios: a) un criterio primario, generalmente horizontal, que ordena los elementos químicos de forma secuencialmente creciente; y b) un criterio secundario, generalmente vertical, que permite agrupar los elementos en familias químicamente similares. El primero da lugar a los períodos y el segundo a los grupos en la tabla periódica estándar (TPE). Las primeras tablas periódicas desarrolladas a fines del siglo XIX o principios del siglo XX (como Mendeleev, Meyer o Werner) tenían como criterio principal el peso atómico, y los criterios secundarios se utilizaron como la valencia máxima en la formación de óxidos, o similitudes en la reactividad química (van Spronsen 1969). Desde el descubrimiento del número atómico por Henry Moseley, y el desarrollo de configuraciones electrónicas y los números cuánticos en las primeras décadas del siglo XX, las tablas desarrolladas tomaron como criterio principal el número atómico, y como secundario una combinación de los números cuánticos.

El primer indicio de una regularidad numérica subyacente a los elementos químicos fue propuesto a principios del siglo XIX por el químico alemán Döbereiner, quien señaló que ciertos elementos en grupos de tres presentaban semejanza química y una particular relación aritmética: el peso atómico (o peso equivalente) del segundo elemento, era casi exactamente el promedio de los otros dos, llamando a esta agrupación *tríada*. Este autor encontró cuatro tríadas de pesos atómicos.

Scerri (2007, 2008) reformuló el concepto de tríadas, pasando del peso atómico al número atómico para su definición, dando como resultado tríadas precisas. También sugirió el uso de tríadas de números atómicos como un posible criterio categórico secundario, basado en el hecho de que el número atómico es la única propiedad esencial de los elementos químicos si se consideran sustancias básicas y no sustancias simples. Zambon (2018) propuso una representación del sistema periódico donde el criterio primario está dado, como es usual en las tablas actuales, por el orden creciente de los números atómicos, y el criterio secundario se establece por la formación de tríadas de números atómicos, aunque la tabla propuesta se basa en tríadas de números atómicos, la relación fundamental en la arquitectura de la tabla está dada por los "árboles de periodicidad": sistemas simétricos de elementos interrelacionados por medio de las tríadas, que contienen 20 elementos cada una y se proponen como alternativa a los grupos tradicionales.

En este trabajo, presentaremos de manera resumida la propuesta del sistema periódico basado en tríadas de número atómico, y discutiremos su posible aplicación para la enseñanza de la periodicidad química, particularmente para discutir los elementos del llamado bloque d.

EL CONCEPTO DE ELEMENTO

No existe actualmente un consenso acerca del estatus ontológico de los elementos y de cómo se los debe individualizar. Históricamente, se han ofrecido dos respuestas a la pregunta acerca de la naturaleza de un elemento químico (Weisberg, Needham y Hendry 2011):

- 1) Un elemento es una sustancia que puede existir aislada y que no admite ulterior análisis.
- 2) Un elemento es una sustancia componente de una sustancia compuesta.

Estas dos tesis describen a los elementos de formas distintas. La primera surge en el siglo XVIII, cuando Antoine Lavoisier (1743-1794), propone una definición operacional de elemento, este autor considera a los elementos como el producto último del análisis químico. De este modo, se otorga prioridad a las propiedades observables y medibles. La visión de Lavoisier impregnó fuertemente el desarrollo científico hasta nuestros días.

El segundo sentido proviene de la filosofía presocrática, donde el concepto de elemento se refería a aquello que resulta primario, fundamental y persistente, en oposición a lo que es secundario, derivado y transitorio, y tenía el sentido de un principio originario de todo lo real abstracto, este sentido fue revalorizado por Dimitri Mendeleev (1834-1907), al afirmar que los elementos químicos, además de poder ser concebidos como cuerpos o sustancias simples (aislables), los elementos son sustancias básicas, abstractas (inobservables), con una única propiedad: su peso atómico. De acuerdo con Mendeleev, el cuerpo o sustancia simple queda junto al compuesto, relegado al mundo de las apariencias. El elemento entendido como sustancia básica es el único principio explicativo, los elementos como sustancias básicas no tienen existencia fenoménica, se encuentran siempre "ocultos" en un cuerpo simple o compuesto. Se trata de esa manera de una realidad fundamental, claramente abstracta, que explica la conservación y permanencia de los elementos a pesar de las reacciones químicas (Bensaude-Vincent, 1989). Sobre la base de esta distinción, que manifiesta prioridad ontológica a los elementos entendidos como sustancias básicas, Mendeleev sostuvo que la clasificación periódica debía basarse en esta concepción y no en las apariencias fenoménicas de los elementos.

Con el gran avance de la física cuántica a principios del siglo XX, en el ámbito de la química se consolidó la teoría atómica, comenzándose a asimilar el concepto de elemento al de átomo. No obstante, a partir del descubrimiento de los isótopos por parte de Soddy (1913), los elementos parecieron "multiplicarse", y la duda acerca de si se trataba o no de elementos nuevos desató la llamada "crisis de la tabla periódica" (Scerri, 2005).

Es en el contexto de esta crisis que Friedrich Paneth (1931) retoma la naturaleza dual del concepto de elemento, diferenciando entre los

elementos como sustancias simples de acuerdo a sus manifestaciones fenomenológicas, y los elementos considerados en un sentido abstracto como sustancias básicas, a los que les otorgó como única propiedad, ya no su peso atómico—como Mendeleev—, sino su número atómico, en consonancia con la nueva mecánica cuántica (para detalles, véase Scerri, 2005). Para Paneth, no se trata de dos descripciones de una misma entidad, producto de una limitación epistémica a ser superada en el futuro por su mejor conocimiento; según el autor, el concepto de elemento químico presenta en sí mismo una doble naturaleza (Paneth, 1931).

El estatus epistemológico de la sustancia básica forma parte de las discusiones actuales en torno a la naturaleza del concepto de elemento, han sido abordadas en años recientes por historiadores, químicos, educadores y filósofos de la química. Estas discusiones ponen en evidencia el desacuerdo existente: si bien existe un amplio consenso acerca de la extensión del concepto, no sucede lo mismo respecto de su intensión, ni con la terminología empleada (cfr., por ejemplo, Bent, 2006, Hendry, 2006, Schwarz, 2007, Earley, 2009, Ruthenberg, 2009, Scerri, 2012).

EL SISTEMA PERIÓDICO BASADO EN TRIADAS DE NÚMERO ATÓMICO

Uno de los pilares a partir de los que se construyó el sistema periódico fue el concepto de tríada propuesto por Döbereiner (Scerri, 2007)². A principios del corriente siglo Eric Scerri (2008, 2010) reformuló el concepto de tríada, empleando el número atómico en lugar del peso atómico para su definición, de esta manera las tríadas resultaron de números enteros. También este autor sugirió el uso de tríadas de número atómico como posible criterio secundario. Scerri empleó este criterio para pronunciarse acerca de problemas sobre los fundamentos de la clasificación periódica, como la posición del hidrógeno y el helio, o la discusión acerca de los elementos que deben integrar el grupo tres. A pesar que en la TPE (y en las representaciones directamente derivadas de ella) existe un gran número de tríadas, que puede aumentarse con el desplazamiento del hidrógeno al grupo de los halógenos, en esas representaciones no es posible considerar a la formación de tríadas como un criterio secundario propiamente dicho, ya que no incluye a todos los elementos.

En el sistema periódico basado en triadas (SPT) (Zambon, 2018) se presenta una representación del sistema periódico, donde el criterio primario está dado, como es usual, por el orden creciente de números atómicos, y el criterio secundario queda establecido por la formación de tríadas de número atómico. La representación se basa en tres factores que actuarán como criterios para la construcción de la tabla: la concepción de los elementos en su carácter de sustancias básicas, las tríadas

2 Según Scerri (2007) el otro pilar fue la hipótesis de Prout.

de número atómico y la información química sobre el comportamiento de los elementos como sustancias simples.

Para la construcción de la tabla se emplea el número atómico de manera creciente como criterio principal, y la formación de tríadas de número atómico como criterio secundario, de manera que una tríada es todavía una colección de tres elementos, donde el número atómico del elemento central es la media aritmética de los otros dos. Sin embargo, deja de ser identificada por el hecho de que los tres elementos tienen necesariamente propiedades macroscópicas similares. Ahora, dos de los elementos de la tríada pertenecen a períodos consecutivos con la misma longitud, es decir, del mismo bloque³, y la tercera pertenece a un bloque diferente, por lo que, pertenece a un período de diferente longitud. En este enfoque, los elementos de un mismo bloque presentarán similitud en sus propiedades químicas, y el tercer elemento, o elemento "conector", desempeña la función de vincular bloques consecutivos. La idea de un elemento conector sólo cobra sentido cuando se consideran a los elementos además de como sustancias simples, como sustancias básicas. Mediante los elementos conectores, se forman las bifurcaciones en los árboles de periodicidad (véase la próxima sección). Esta forma de concebir tríadas muestra que es posible organizar los elementos químicos sin apelar a las configuraciones electrónicas, pero, simultáneamente, sin tener que aferrarse exclusivamente a las propiedades macroscópicas de las sustancias simples. La periodicidad química puede ser caracterizada de manera formal y abstracta por sí misma, y ser compatible al mismo tiempo con el conocimiento empírico acumulado (Zambon, 2018).

La tabla está estructurada de la siguiente manera: los períodos de esta tabla se obtienen mediante la organización de los elementos según el aumento de número atómico. En cada período se forma una nueva generación de tríadas, y cada generación tendrá tantas tríadas como elementos tenga el período (figura 1) donde la generación comienza, de tal manera que:

- El primer período contiene únicamente el elemento 0.
- El segundo uno contiene únicamente el elemento 1.
- El tercer período comienza con el elemento 2 y continúa hasta el elemento 9. En este punto se obtiene la tríada de la generación cero (0-1-2).
- El cuarto período comienza con el elemento 10 y continúa hasta el elemento 17. En este punto se obtiene la tríada de la primera generación (1-9-17).
- El quinto período comienza con el elemento 18 y continúa hasta

3 En el SPT el término "bloque" se emplea de manera diferente a la TPE.

el elemento 35. En este punto se obtienen las ocho tríadas de la segunda generación, representadas por las líneas a la izquierda, entre los bloques B y C (de 2-10-18 a 9-17-25).

- El sexto período comienza con el elemento 36 y continúa hasta el elemento 53. Aquí obtenemos las tríadas de la tercera generación, representadas por las líneas a la derecha entre los bloques B y C (de 10-28-46 a 17-35-53).
- El séptimo período comienza con el elemento 54 y continúa hasta el elemento 85. Aquí obtenemos las tríadas de la cuarta generación, representadas por las líneas a la izquierda entre los bloques C y D (de 18-36-54 a 35-53-71).
- El octavo período comienza con el elemento 86 y continúa hasta el elemento 117. Aquí obtenemos las tríadas de la quinta generación, representadas por las líneas a la derecha entre los bloques C y D (de 36-68-100 a 53-85-117).
- El noveno período comienza con el elemento 118, incluye a los elementos hipotéticos aún no descubiertos 119 a 135. Aquí obtenemos las tríadas de la sexta generación, representadas por las líneas a la derecha entre los bloques D y E (de 54-86-118 a 71-103-135).

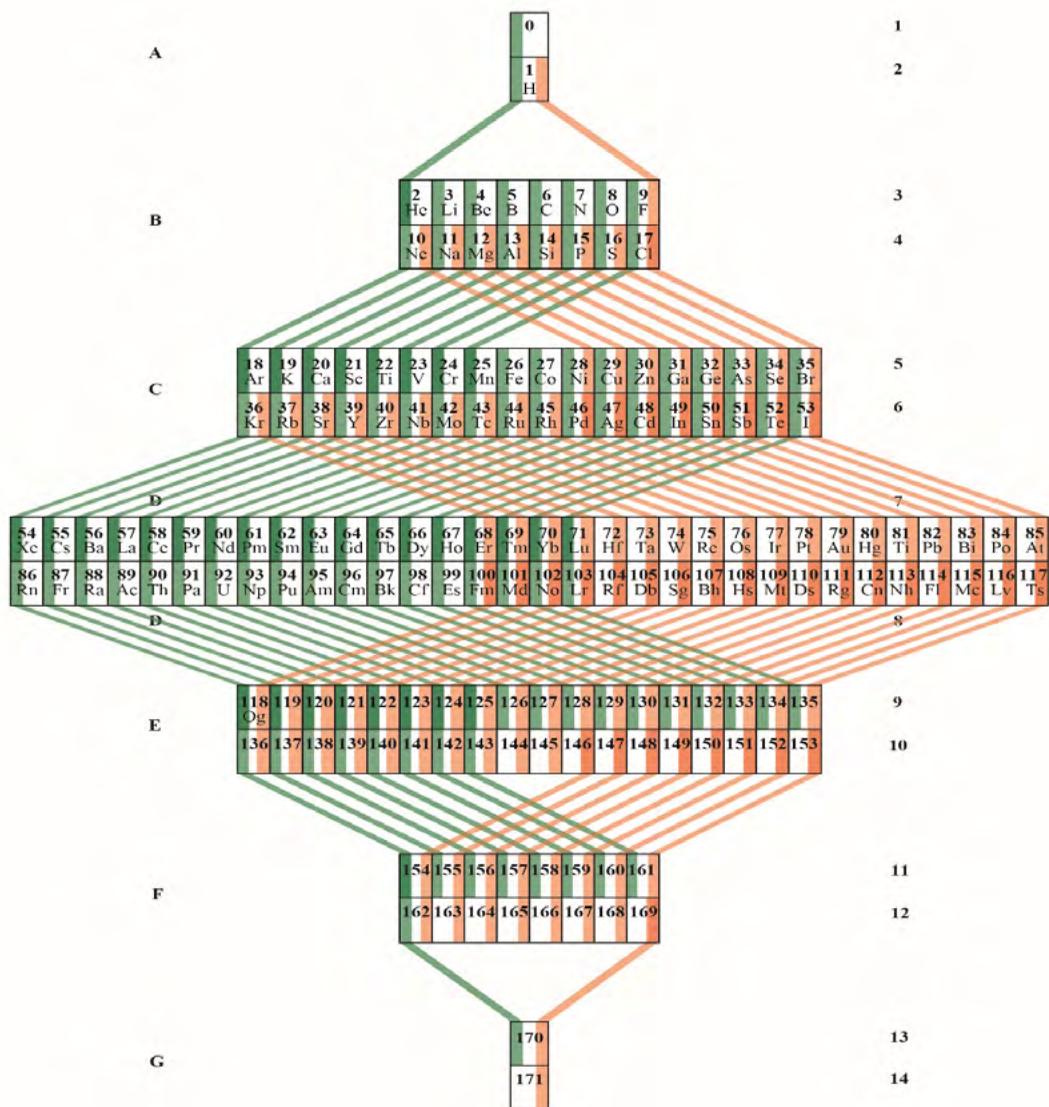


Figura 1. Triadas de número atómico, en verde las de generación pares, en naranja las de generación impares (Zambon, 2018)

El décimo período comienza con el elemento 136 y continúa hasta el elemento 153, todos ellos elementos hipotéticos aún no descubiertos. Aquí obtenemos las triadas de la octava generación, representadas por las líneas a la izquierda, entre los bloques D y E (de 100-118-136 a 117-135-153).

El undécimo período comienza con el elemento 154 y continúa hasta el elemento 161, todos ellos elementos hipotéticos aún no descubiertos. Aquí obtenemos las triadas de la novena generación, representadas por las líneas a la derecha entre los bloques E y F (de 118-136-154 a 125-143-161).

El duodécimo período comienza con el elemento 162 y continúa hasta el elemento 169, todos ellos elementos hipotéticos aún no descubiertos. Aquí obtenemos las tríadas de la novena generación, representadas por las líneas a la izquierda entre los bloques E y F (de 146-154-168 a 153-161-169).

El período de trece contiene sólo el elemento 170. Aquí obtenemos la tríada de la décima generación, representada por la línea entre los bloques F y G (sólo 154-162-170).

Por último, el período decimocuarto contiene sólo el elemento 171 (final). Aquí se obtiene la tríada de la undécima generación, representada por la línea a la izquierda entre los bloques F y G (sólo 169-170-171).

Los períodos de esta nueva tabla van llenándose según número atómico creciente de los elementos partiendo del 0. Los períodos contienen 1,1, 8, 8, 18, 18, 32 y 32 elementos, respectivamente, si se extrapolara la serie para la construcción de la tabla, el séptimo período debería contener 50 elementos. Sin embargo, las anomalías en algunos elementos de séptimo período, sugieren una reversión, lo que da lugar a la propuesta de una sucesión que se invierte a partir del octavo período. En esta propuesta los elementos se agrupan de manera que todos quedan involucrados en al menos una tríada, en la figura 1 se marcan las tríadas de las sucesivas generaciones, pudiendo entonces este criterio, ser adecuadamente considerado un criterio secundario de clasificación. Al conjunto de elementos relacionados mediante tríadas se lo llama "árbol de periodicidad", encontrándose 9 estructuras de este tipo (véase figura 2), este concepto se propone como alternativo al concepto de "grupo" tradicional en la TPE. En los árboles de periodicidad es posible relacionar elementos que se encuentran en los mismos grupos de las series A y B⁴ de la SPT mediante la formulación de elementos "conectores". Esto posibilita abordar problemas actualmente en discusión, como la ubicación del hidrógeno y el helio, y presentar una solución alternativa para la ubicación de los elementos integrantes del grupo tres (véase más adelante). También sobre la posición de los elementos recientemente sintetizados y los aún no descubiertos.

LOS ÁRBOLES DE PERIODICIDAD

Aunque el sistema desarrollado en la sección anterior se basa en tríadas de números atómicos, y parte del principio que las tríadas manifiestan

4 La IUPAC recomienda nombrar los grupos del 1 a 18 en lugar de series A y B, en este trabajo empleamos simultáneamente la convención anterior, porque permite resaltar relaciones químicas entre los grupos A y B, que resultan más fácil de visualizar de esa manera.

las conexiones abstractas entre los elementos, las cuales sólo cobran sentido en el plano de la sustancia básica. De este modo, cada tríada no debe ser pensada

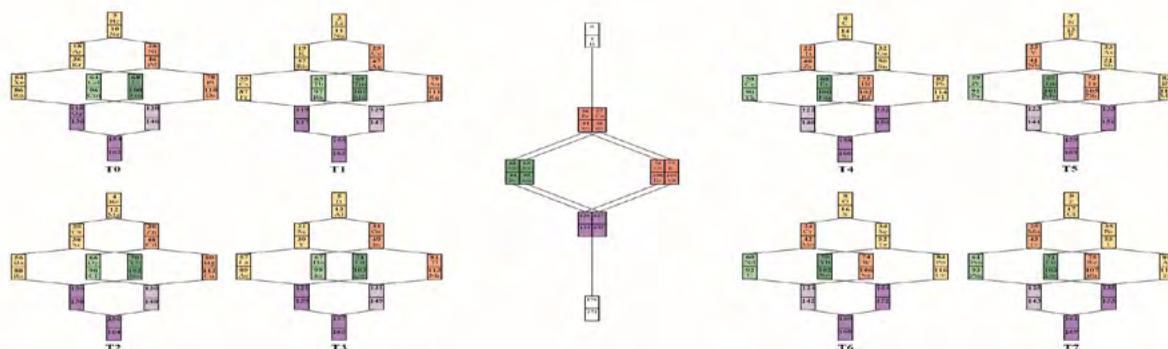


Figura 2. Los nueve árboles de periodicidad (Zambon, 2018)

individualmente, sino dentro de un conjunto de tríadas anidadas al que se denomina "árbol de periodicidad" (sistemas simétricos de elementos interrelacionados por medio de las tríadas, que pertenecen a diferentes generaciones). Estas estructuras, son las que conforman a relación fundamental en la arquitectura de la tabla, por eso cada tríada es concebida como una parte de un árbol, de tal manera que se vuelve significativa sólo dentro de ese conjunto de relaciones, y no como una entidad individual. Hay dos tipos de árboles de periodicidad: 8 árboles de similar simetría de 20 elementos y un árbol de 20 elementos que se forma a partir de los elementos no incluidos en los arboles anteriores que se llama "árbol central", en la figura 2 se muestran los nueve árboles de periodicidad.

Los 8 árboles simétricos incluyen a todos los elementos que inician o finalizan periodos en la TPE, también contienen como primer elemento a todos los que inician grupos representativos o grupos de la serie A (menos el hidrógeno). Todos los elementos están relacionados mediante una sucesión de tríadas concatenadas (para detalles véase Zambon, 2018).

La conjugación de los nueve árboles de periodicidad (figura 3), permite construir una tabla periódica sin recurrir a las configuraciones electrónicas ni a los números cuánticos y también refleja todas las relaciones entre elementos contenidas en los grupos de la TPE, además de otras relaciones químicamente significativas como la conexión entre los grupos A y B. En la figura 2 es posible observar que en los primeros 4 árboles, la rama izquierda corresponde a los elementos de los correspondientes grupos representativos (A) de la PTE, y los de la derecha, a

los que forman los grupos B (salvo el árbol 3). En los 4 últimos la rama derecha reconstruye los correspondientes grupos A, mientras que los de los grupos B se forman en la rama derecha interna. En el árbol central se encuentran los elementos que forman la primera y segunda columna del grupo VIII B, los elementos iniciales (0 y H) y los finales (para detalles véase Zambon, 2018).

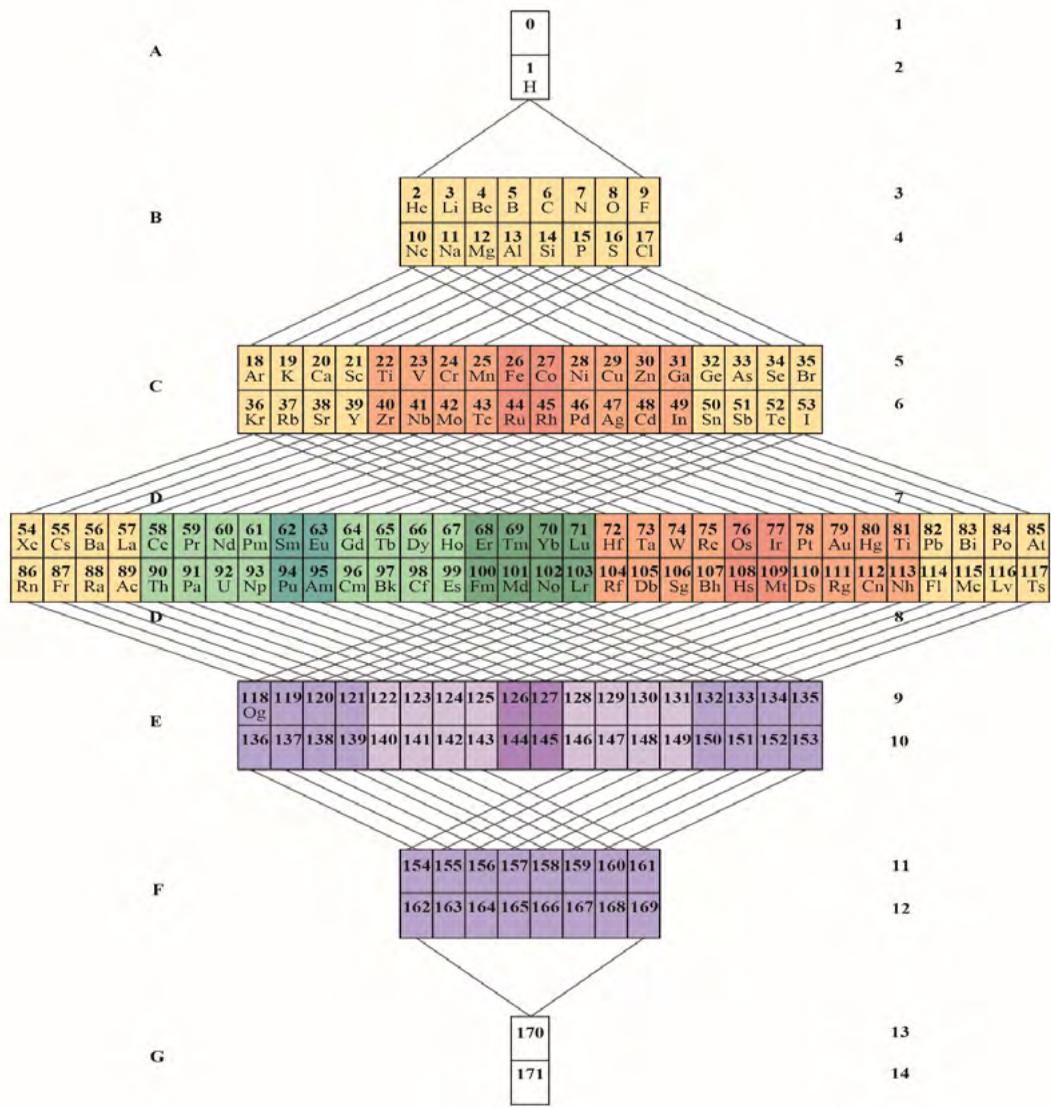


Figura 3. Tabla periódica basada en tríadas (Zambon, 2018)

LOS ELEMENTOS DEL BLOQUE D Y LOS ARBOLES DE PERIODICIDAD

La TPE, suele dividirse en bloques, en función de la clase de orbitales que se van completando al avanzar el número atómico, según la configuración electrónica del átomo neutro del elemento, de esa manera tenemos el bloque s para las 2 primeras columnas, el bloque d, para las 10 siguientes, el bloque p para las 8 restantes y el f para los elementos de transición interna, que generalmente se ubican separados debajo (figura 4). Los elementos del bloque d de los periodos cuarto, quinto y sexto de la TPE se encuentran en la naturaleza (salvo el Tc) y los del séptimo periodo son artificiales (salvo el Ac, véase más adelante).

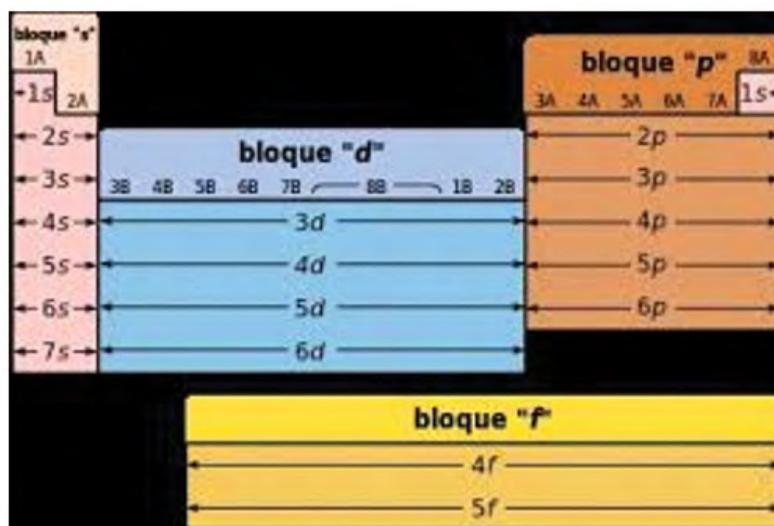


Figura 4. Bloques en la tabla periódica estándar

Todos los elementos que forman parte de este bloque son metales. En general tienen volúmenes atómicos pequeños (con la excepción del mercurio que es líquido a temperatura ordinaria), y presentan conductividades térmica y magnética elevadas. En cuanto a sus propiedades químicas, los elementos de este bloque tienen una electronegatividad relativamente baja (entre 1,10 y 2,54). Suelen formar cationes estables, y en general presentan varios estados de oxidación estables. En los estados de oxidación más bajos suelen formar compuestos iónicos, que muchas veces forman sólidos cristalinos, en los estados de oxidación más altos, suelen formar compuestos covalentes estables (Valenzuela Calahorro, 1999).

Actualmente, los 2 grupos extremos de bloque d presentan discusiones relevantes. En el caso del grupo 3, la controversia está relacionada con los elementos que deben integrar el grupo. En particular, el desacuerdo se refiere a qué elementos deben colocarse debajo de Sc e Y: algunas tablas colocan el par La y Ac, y otras el par Lu y Lr. (Lavelle, 2008, Scerri, 2009). En el caso del grupo 12 o 2B, pueden considerarse metales de transición (Wilberg, 2001) o representativos (Cotton y Wilkinson,

1988). Observa Jensen que muchos textos de química general y algunos introductorios de química inorgánica, son ambiguos en el tratamiento de estos elementos, considerándolos a menudo como de transición en una parte del texto, y como representativos en otro (Jensen, 2003).

En la tabla de la figura 5, podemos ver los elementos del bloque d, y la columna anterior del bloque s (grupo 2, 2 A o alcalinos-térreos) y posterior (grupo 13, 3 A o del boro) de la TPE. Resulta interesante observar que si trasladamos los 2 primeros elementos del grupo 2 (B y Mg) al 12, se mantiene el criterio primario del número atómico creciente, y el movimiento tendría sentido desde el punto de vista químico.

4 Be											5 B
12 Mg											13 Al
20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga
38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42M °	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In
56 Ba	La- Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl
87 Ra	Ac- Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh

Figura 5. Elementos del bloque d y grupos contiguos

También, si trasladamos los 2 primeros elementos del grupo 13 o 3 A (B y Al) al 3 ocurría lo mismo. Estos movimientos, como dijimos, tendrían sentido químico, ya que implican combinar elementos de las series A y B de un mismo grupo, y existen múltiples analogías en cuanto a la reactividad de los elementos involucrados, pero desde el punto de vista físico, no serían traslaciones adecuadas, ya que las configuraciones electrónicas del último nivel no son coincidentes.

En los 2 grupos extremos del bloque d, los árboles de periodicidad del SPT, que combinan naturalmente elementos de las series A y B de cada grupo, pueden resultar un aporte en el contexto de la enseñanza de la química. Puntualmente, el árbol 2 (figura 6) muestra a los elementos del grupo 2 A (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra en la rama principal, mientras que el Zn, Cd, Hg y Cn en la rama complementaria. En tanto el árbol 3 (figura

7) presenta combinados los elementos de las series A y B, contiene el B, Al, Sc, Y, La y Ac en la rama principal, Ga, In, Tl y Nh en la complementaria. El TBT muestra que, en cierto sentido ambos pares están "debajo" de Sc e Y. Esto es particularmente evidente en el árbol 3: Sc e Y forman una tríada con La; pero, por otro lado, Y forma una tríada con Lu y Lr (figura 7). De esta manera, la estructura de los árboles que conducen a tríadas interconectadas permite concluir que existen buenas razones para las dos soluciones, aunque ambas son manifestaciones parciales de una relación más compleja.

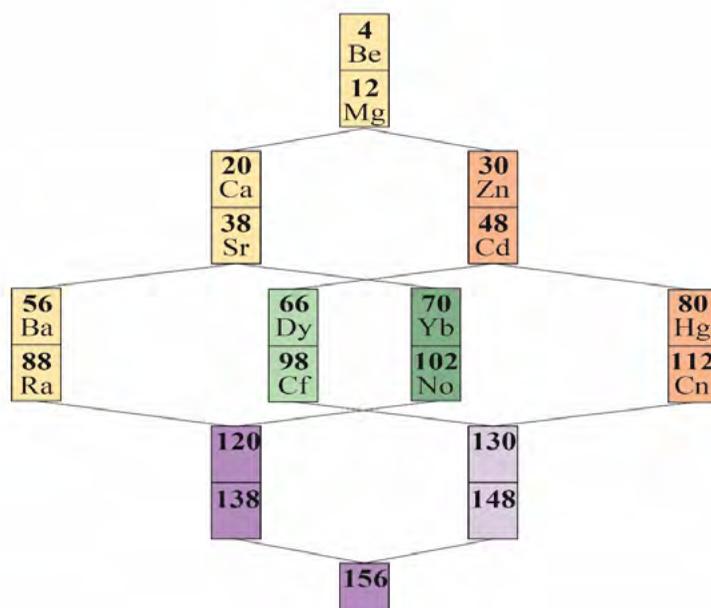


Figura 6. *Árbol de periodicidad 2*

Si bien el criterio secundario del SPT es totalmente diferente al empleado en la TPE, ya que como se vio en la sección 3, prescinde de las configuraciones electrónicas y de toda consideración cuántica, es posible encontrar una analogía entre ramas principales de los árboles, con los elementos representativos de los grupos. Poniendo de esta manera, en relevancia el conocimiento químico en el estudio de los elementos, por sobre una perspectiva física actualmente predominante

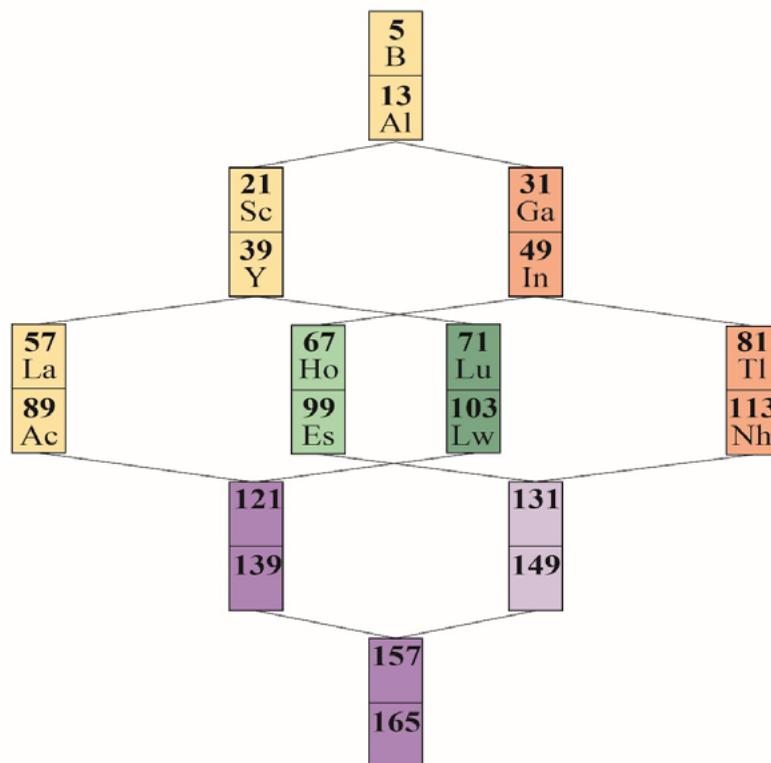


Figura 7. *Árbol de periodicidad 3 (T3)*

CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

La presentación del sistema periódico en los cursos introductorios de química generalmente está ubicada a continuación de la enseñanza de la estructura atómica, y las relaciones de periodicidad entre los elementos se basan en la combinación de los números cuánticos correspondientes. Esta forma de enseñanza omite, o limita a un lugar secundario, la perspectiva química sobre los elementos. El SPT, está concebido desde una perspectiva química, puede ser una opción plausible para integrar no solo al estudio del sistema periódico, sino también otros conceptos derivados. En este trabajo, mostramos puntualmente su aplicación para la enseñanza de los problemas inherentes al bloque d de la TPE.

Esta perspectiva ofrece un enfoque muy diferente al del punto de vista físico predominante en la actualidad basado en la mecánica cuántica, claro está, la perspectiva cuántica es importante en los cursos superiores, y claramente debe estudiarse en los primeros cursos para poder abordar esos desafíos. Sin embargo, basar la enseñanza exclusivamente en ella deja de lado la visión química de los elementos, y esto causa

grandes dificultades en la comprensión de muchos temas químicos. De esta manera, la perspectiva de la química clásica resulta ser meramente anecdótica, lo que es paradójico, especialmente cuando el objetivo es precisamente formar profesionales en química. De hecho, la forma actual de enseñar la clasificación de los elementos no solo está desconectada del desarrollo histórico del sistema periódico, sino que también está desconectada de una gran parte de la práctica de la química.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bensaude-Vincent, B. (1989). Mendeleiev: historia de un descubrimiento. En M. Serres (ed.). *Historia de las Ciencias*, Madrid: Ediciones Cátedra.
- Bent, H. (2006). *New Ideas in Chemistry from Fresh Energy for the Periodic Law*, Bloomington: Author House.
- Borges, J. L. (2005). *Obras completas*, Buenos Aires: Emecé.
- Cotton, F. y Wilkinson, G. (1988). *Advanced Inorganic Chemistry*. Nueva York: Wiley-Interscience.
- Earley, J. (2009). How chemistry shifts horizons: element, substance, and the essential. *Foundations of Chemistry*, 11, 65-77.
- Hendry, R. (2006). Substantial confusion. *Studies in History and Philosophy of Science*, 37 (2), 322-336.
- Jensen W. (2003). The place of Zinc, Cadmium, and Mercury in the Periodic Table. *Journal of Chemical Education*, 80 (8), 952-961.
- Lavelle, L. (2008). Lanthanum (La) and actinium (Ac) should remain in the d-block. *Journal of Chemical Education*, 85 (11), 1482-1483.
- Paneth, F. A. (1931). The epistemological status of the concept of element, [reimpreso en *Foundations of Chemistry*, 5, 113-145 (2003)].
- Ruthenberg, K. (2009). Paneth, Kant and the philosophy of chemistry. *Foundations of Chemistry*, 11 (2), 79-91.
- Scerri, E. (2005). Some aspects of the metaphysics of chemistry and the nature of the elements. *HYLE – International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11 (2), 127-145.
- Scerri, E. (2007). *The Periodic Table – Its Story and Its Significance*, Nueva York: Oxford University Press.
- Scerri, E. (2008). The role of triads in the evolution of the periodic table: past and present. *Journal of Chemical Education*, 85 (4), 585-589.
- Scerri, E. (2009). Which elements belong in group 3? *Journal of Chemical Education*, 86 (10), 1188.
- Scerri, E. (2010). Explaining the periodic table, and the role of chemical

- triads. *Foundations of Chemistry*, 12 (1), 69-83.
- Scerri, E. (2012). What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question? *Foundations of Chemistry*, 14 (1). 69-81.
- Schwarz, E. (2007). Recommended questions on the roads towards a scientific explanation of the periodic system of the chemical elements with the help of the concepts of quantum physics. *Foundations of Chemistry*, 9 (2), 139-188.
- Soddy, F. (1913). Intra-atomic charge. *Nature*, 92, 399-400.
- Velenzuela Calahorro, C. (1999). *Introducción a la Química Inorgánica*. Madrid: Mc Graw-Hill Interamericana.
- Van Spronsen, J. W. (1969). *The Periodic System of Chemical Elements - A History of the First Hundred Years*. Amsterdam: Elsevier Publishing Company.
- Weisberg, M., Needham, P. y Hendry, R. (2011). Philosophy of chemistry. En E. N. Zalta (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford: Stanford University, Recuperado de: <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/chemistry>
- Wiberg, N. (2001). *Inorganic Chemistry*. Berlín: Academic Press.
- Zambon, A. (2018). A Representation of the Periodic System based on atomic-number triads. *Foundations of Chemistry*, 20 (1), 51-74.