Representación del sistema periódico: una tabla basada en tríadas[1]

Representation of the periodic system: a table based on triads

Alfio Zambón[2]

Resumen

En este artículo presentaremos una representación del sistema periódico basada en dos pilares fundamentales: las tríadas de número atómico y la concepción de los elementos químicos como sustancias básicas. En la última década, la noción de tríada ha sido rescatada y sugerida por Eric Scerri como posible criterio categorial para representar la periodicidad química. Mediante esta representación, mostraremos como a través de tríadas es posible reconstruir todas las relaciones entre los elementos que forman los grupos del sistema periódico, sin apelar a las configuraciones electrónicas.

Palabras clave: tríadas, número atómico, sustancia básica, sistema periódico.

Abstract

This article introduces a representation of the periodic system based on two fundamental pillars: the triads of atomic number and the conception of the chemical elements as basic substances. In the last decade, the notion of triad has been recovered and suggested by Eric Scerri as a possible categorical criterion to represent chemical periodicity. By means of this representation it is shown how all the relations among the chemical elements that form the groups of the periodic system can be reconstructed on the basis of triads, without using electronic configurations,

Keywords: triads, atomic number, basic substance, periodic system.

1 Recibido: octubre 7 de 2013. Aceptado: octubre 31 de 2013.

2 Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Argentina. Correo electrónico: azambon@infovia.com.ar

1. Introducción

Si bien se suele hablar de la tabla periódica de los elementos, mejor sería referirse a *las tablas periódicas*. En efecto, cada tabla periódica ordena y clasifica los elementos químicos de acuerdo con algunas propiedades que se adoptan como criterios de clasificación. En particular, las tablas periódicas se construyen a partir de dos criterios: el primario, o dimensión horizontal, que da lugar a los períodos; y el secundario, o dimensión vertical, que permite agrupar los elementos de similares características químicas. En la tabla periódica estándar (en adelante, TPE), el criterio primario, que brinda una secuencia lineal de los elementos, viene dado por el número atómico, y el secundario, que organiza los llamados 'grupos', queda fijado por la configuración electrónica. Según las recomendaciones actuales de la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry, autoridad mundial en terminología y métodos de medición en química)*, los grupos se nombran del 1 al 18. Anteriormente se los nombraba mediante números romanos en dos series: A y B. En este trabajo emplearemos esta última modalidad con el propósito de señalar ciertas relaciones significativas entre los grupos.

El objetivo de este trabajo será proponer una representación alternativa del sistema periódico, en la cual se mantiene el número atómico como criterio primario, pero como criterio secundario se utiliza la capacidad de los elementos de formar tríadas de número atómico. Mostraremos como mediante el uso exclusivo de relaciones tríadicas es posible incluir *todos los elementos* en la clasificación y reconstruir todos los grupos de la TPE, *sin apelar en ningún momento a las configuraciones electrónicas*. El propósito final de esta representación consiste en contribuir a las discusiones acerca del estatus epistemológico de las tríadas y de la propia naturaleza del concepto de elemento químico.

2. La distinción entre sustancia básica y sustancia simple

Si bien suele afirmarse que todas las sustancias están compuestas de elementos, no existe un consenso completo acerca del estatuto ontológico de los elementos y de cómo se los debe individualizar. Históricamente, se han ofrecido dos respuestas a la pregunta acerca de qué es un elemento químico (Weisberg, Needham & Hendry):

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

Estas dos tesis describen a los elementos de formas distintas. La primera es una caracterización de carácter operacional: los elementos se identifican explícitamente mediante un procedimiento. La segunda concepción es más teórica, ya que postula a los elementos como constituyentes de los cuerpos compuestos.

La segunda concepción se remonta a los filósofos presocráticos, con la idea de la existencia de ciertos elementos de los cuales está compuesto todo lo real. Esta idea pasa a Aristóteles con su doctrina de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego), y se instala en el pensamiento occidental con la preeminencia de la filosofía aristotélica hasta entrada la Modernidad. Para la aparición del primer sentido, fue necesario esperar a Antoine Lavoisier en el siglo XVIII, quien consideraba los elementos como el producto último del análisis químico. De este modo, se otorgaba prioridad a las propiedades observables y medibles.

El segundo sentido de elemento químico fue revalorizado por Dimitri Mendeleev en el siglo XIX, al afirmar que, 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, el sustrato de todo lo observable. 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, netamente abstracta, que explica la conservación y permanencia de los elementos a pesar de los cambios químicos (Bensaude-Vincent). Sobre la base de esta distinción, que brinda prioridad ontológica a los elementos como sustancias básicas, Mendeleev sostuvo que la clasificación periódica debía basarse en esta concepción de los elementos químicos, 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. En efecto, incluso hasta el día de hoy la IUPAC define elemento químico como una sustancia pura compuesta de átomos con el mismo número de protones. No obstante, a partir del descubrimiento de los isótopos por parte de Soddy, 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 Fritz Paneth 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, cf. 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.

El estatus epistemológico de la sustancia básica forma parte de las discusiones actuales en torno a la naturaleza del concepto de elemento, tal como han sido abordadas en años recientes por historiadores, químicos 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 aun con la terminología empleada (*cf., e.g.*, Bent, Hendry, Schwarz, Earley, Ruthenberg, Scerri 2012, Labarca & Zambón).

En este trabajo asumiremos la naturaleza dual del concepto de elemento, considerando que si bien cada elemento, en tanto sustancia básica, tiene el número atómico como única propiedad esencial, puede también poseer otras propiedades representativas que enriquecerían la distinción de Paneth y permitirían dar cuenta de muchas de las características y relaciones entre los elementos.

3. La historia de las tríadas

Uno de los primeros químicos que intentó agrupar los elementos químicos tomando como criterios sus propiedades macroscópicas similares, y relacionando la agrupación con los pesos atómicos, fue el químico alemán Johann Döbereiner. En 1817, Döbereiner informó 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. Döbereiner halló que el estroncio, en el grupo formado por calcio, estroncio y bario, tenía un peso atómico que era el promedio aproximado de los pesos de los otros dos elementos. Posteriormente, hasta 1827, descubrió otros grupos de tres elementos donde se daba la misma relación (litio, sodio y potasio, cloro, bromo y yodo, azufre, selenio y telurio). Estos grupos de tres elementos fueron denominados tríadas; hacia 1850 ya se habían encontrado aproximadamente veinte. Estos hallazgos fueron el

primer indicio de una regularidad numérica subyacente que relacionaba a los elementos químicos (Scerri 2007).

En 1869, Mendeleev publicó su primera tabla periódica, en la cual todos los elementos conocidos quedaban ordenados en orden creciente de sus pesos atómicos, y agrupados por propiedades química similares. A la luz de este importantísimo aporte, la relación de los elementos en tríadas, parcial y limitada a unos pocos elementos, quedó prácticamente olvidada.

A su vez, a partir de los trabajos en difracción de rayos X realizados por Henry Moseley a principios del siglo XX, se comienza a pensar que el orden de los elementos en la tabla periódica debe reflejar alguna propiedad de la estructura del átomo. Actualmente, esa propiedad se identifica con el *número atómico Z*, que describe el número de cargas positivas (protones) del núcleo, y los elementos se organizan en la tabla periódica ya no por su peso atómico, sino por su número atómico.

Uno de los problemas que permanece hasta el presente es el que se refiere a la ubicación del hidrógeno en la tabla periódica. En algunas tablas el hidrógeno se incluye entre los no metales, con los halógenos, debido a sus propiedades atómicas: en estado natural son gases que se encuentran como moléculas diatómicas químicamente activas. En otras tablas, el hidrógeno aparece en el grupo I A junto con los metales alcalinos, debido a su propiedad química de ser reemplazado en los ácidos por los metales. En la última década la noción de tríada ha sido rescatada por Eric Scerri (2008a) para enfrentar precisamente este problema. Este autor reformula la noción en términos de números atómicos en lugar de pesos atómicos; de este modo, el promedio de los números atómicos elementos extremos de la tríada adquiere un valore numérico exacto que corresponde al número atómico del elemento medio. Sobre esta base, las tríadas han sido sugeridas como posible criterio categorial para representar la periodicidad química (Scerri 2008a, 2011), aunque no hay consenso aún con respecto de su estatus epistemológico (*cf.* Laing, Schwarz & Rich).

4. Las tríadas en la tabla periódica estándar

Como señalamos, en la TPE (Figura 1) los elementos se ordenan por número atómico creciente. Sin embargo, la forma de tabla se obtiene de acuerdo con las siguientes características:

Gr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	I A	II A	III B	IV B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B									
Per.																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	7 0 Yb
89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No

Figura 1. Tabla periódica estándar. Sombreados en gris los elementos que forman tríadas, en gris oscuro los que forman dos tríadas.

Los elementos del mismo *grupo* (columna) tienen la misma valencia, esto es, el mismo número de electrones en la misma capa. Puesto que las propiedades químicas de un elemento dependen de tales electrones, los elementos pertenecientes a un mismo grupo tienen propiedades químicas similares. Sobre esta base, la tabla cuenta con 18 grupos.

Los elementos del mismo *período* (fila) poseen el mismo número de niveles energéticos. Los períodos tienen diferente longitud: el primero es de 2 elementos, el segundo y el tercero de 8, el cuarto y el quinto de 18, el sexto y séptimo de 32.

En definitiva, la *configuración electrónica* -el modo en que los electrones del átomo se disponen alrededor del núcleo- determina el lugar de cada elemento en la tabla periódica.

Como resultado de esa disposición, en la TPE pueden encontrarse en el sentido vertical muchas tríadas de número atómico, 27 en total (ver Fig. 1), en particular, las comprendidas:

- entre el 1º y 3º período del grupo VIII A.
- entre el 2º y 4º período de los grupos I y II A.
- entre el 3º y 5º período de los grupos III a VIII A.
- entre el 4º y 6º período de los grupos I y II A.
- entre el 5º y 7º período de los grupos III a VIII A, y todos los grupos B.

De esa manera, el único grupo que contiene la totalidad de sus elementos formando relaciones triádicas es el de los gases nobles (VIII A). Resulta destacable que, en la representación estándar, los primeros elementos de los grupos (tanto A como B) no se encuentran formando parte de ninguna tríada; esta situación restringe el uso de las tríadas como criterio secundario para clasificar los elementos en un mismo grupo.

Scerri (2008b) observa que todo intento de formular nuevas tríadas resulta muy importante, ya que esta relación está basada únicamente en el número atómico, el único criterio de los elementos considerados como sustancias básicas en lugar de como sustancias simples. Es precisamente a partir de esta posición que Scerri propuso ubicar al hidrógeno junto a los halógenos (tríada 1-9-17) y mantener al helio dentro de los gases nobles (tríada 2-10-18).

5. La construcción de una tabla periódica basada en tríadas

Continuando el programa iniciado por Scerri, para la construcción de la tabla periódica propuesta en este trabajo (Figura 2) utilizaremos como criterio principal el número atómico creciente, y como criterio secundario la formación de tríadas de número atómico. De esta manera:

- El primer período se inicia con un elemento hipotético de número atómico 0 (volveremos sobre este punto en la próxima sección), y continúa hasta llegar al elemento 7.
- El segundo período se inicia con el elemento 8, y continúa hasta llegar al 15.
- El tercer período se inicia con el elemento 16 y continúa hasta el elemento 33. Aquí se forman las tríadas de primera generación, representadas por las líneas oblicuas a la izquierda entre el segundo y tercer período (desde 0-8-16 hasta 7-15-23).
- El cuarto período comienza con el elemento 34 y termina con el 51. Aquí se forman las tríadas de segunda generación, representadas por las líneas oblicuas a la derecha entre el segundo y tercer período (desde 8-26-44 hasta 15-33-51).
- El quinto período se inicia con el elemento 52 y termina en el 83. Aquí se forman las tríadas de tercera generación, representadas por las líneas oblicuas a la izquierda entre el cuarto y quinto período (desde 16-34-52 hasta 33-51-69).
- El sexto período comienza con el elemento 84 y se extiende hasta el 115, formándose las tríadas de cuarta generación, representadas por las líneas oblicuas a la derecha entre el cuarto y quinto período (desde 34-67-99 hasta 51-83-115).
- Finalmente, el séptimo período comienza con el elemento 116, incluye al 117 y 118, y a los hipotéticos aún no descubiertos del 119 al 147, formándose la quinta generación de tríadas (desde 52-84-116 hasta 83-115-147).

Los períodos de esta nueva tabla van llenándose según número atómico creciente de los elementos partiendo del 0. Los períodos 1 a 6 contienen 8, 8, 18, 18, 32 y 32 elementos, respectivamente. En el séptimo se incluyen 32 elementos con el fin de contener todos los elementos del sexto período en al menos una tríada. No obstante, si se extrapola la construcción de la tabla, el séptimo período debería contener 50 elementos.

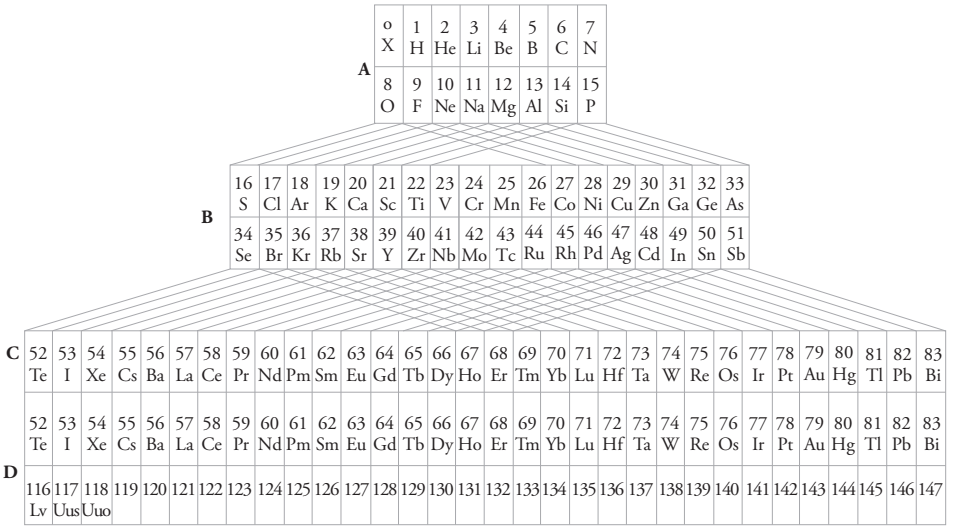


Figura 2. Tabla periódica basada en tríadas de número atómico. Las líneas a la izquierda entre los bloques A y B unen los elementos que forman la primera generación de tríadas, las líneas a la derecha unen las tríadas de segunda generación. Las líneas a la izquierda entre los bloque B y C unen las tríadas de tercera generación y las líneas a la derecha unen las tríadas de cuarta generación. Las líneas que unen los bloques C y D conforman las tríadas de quinta generación.

De esta manera las tríadas de primera generación van desde 0-O-S hasta N-P-V. Las de segunda generación, desde O-Fe-Ru hasta P-As-Sb. Las de tercera generación, desde S-Se-Te hasta As-Sb-Tm. Las de cuarta generación, desde Se-Dy-Cf hasta Sb-Bi-Uup y las de quinta generación, desde Te-Po-Lv hasta Bi-Uup-147. Todas las tríadas se listan en la Figura 3.

Tríadas 1G.	**Tríadas 2G.**	**Tríadas 5G.**
0-O-S	O-Fe-Ru	Te-Po-Lv
H-F-Cl	F-Co-Rh	I-At-Uus
He-Ne-Ar	Ne-Ni-Pd	Xe-Rn-Uuo
Li-Na-K	Na-Cu-Ag	Cs-Fr-119
Be-Mg-Ca	Mg-Zn-Cd	Ba-Ra-120
B-Al-Sc	Al-Ga-In	La-Ac-121
C-Si-Ti	Si-Ge-Sn	Ce-Th-122
N-P-V	P-As-Sb	Pr-Pa-123
Tríadas 3G.	**Tríadas 4G.**	Nd-U-124

S-Se-Te	Se-Dy-Cf	Pm-Np-125
Cl-Br-I	Br-Ho-Es	Sm-Pu-126
Ar-Kr-Xe	Kr-Er-Fm	Eu-Am-127
K-Rb-Cs	Rb-Tm-Md	Gb-Cm-128
Ca-Sr-Ba	Sr-Yb-No	Tb-Bk-129
Sc-Y-La	Y-Lu-Lr	Dy-Cf-130
Ti-Zr-Ce	Zr-Hf-Rf	Ho-Es-131
V-Nb-Pr	Nb-Ta-Db	Er-Fm-132
Cr-Mo-Nd	Mo-W-Sg	Tm-Md-133
Mn-Tc-Pm	Tc-Re-Bh	Yb-No-134
Fe-Ru-Sm	Ru-Os-Hs	Lu-Lr-135
Co-Rh-Eu	Rh-Ir-Mt	Hf-Rf-136
Ni-Pd-Gd	Pd-Pt-Ds	Ta-Db-137
Cu-Ag-Tb	Ag-Au-Rg	W-Sg-138
Zn-Cd-Dy	Cd-Hg-Cp	Re-Bh-139
Ga-In-Ho	In-Tl-Uut	Os-Hs-140
Ge-Sn-Er	Sn-Pb-Fl	Ir-Mt-141
As-Sb-Tm	Sb-Bi-Uup	Pt-Ds-142
		Au-Rg-143
		Hg-Cp-144
		Tl-Uut-145
		Pb-Fl-146
		Bi-Uup-147

Figura 3. Lista completa de tríadas

6. El elemento cero

Recientemente, Philip Stewart (2004) propuso una representación del sistema periódico en forma de espiral, conocida como "galaxia química", que tiene en el centro al *elemento químico número cero*, cuyos "átomos" serían los neutrones. La posibilidad de un elemento "cero" puede rastrearse ya en los trabajos de Mendeleev, quien creía en la existencia de un elemento de "grupo cero" en el "período cero", que esperaba fuera el éter (Stewart 2007). Andreas Von Antropoff acuñó la palabra 'neutronio' seis años antes del descubrimiento del neutrón, para referirse a un hipotético elemento cero. Este autor propuso una representación del sistema periódico con el elemento 0 ubicado a la izquierda

del hidrógeno en su tabla periódica de formato helicoidal. También hay antecedentes del elemento cero en Janet, Emerson y Clark.

La idea de un elemento cero puede resultar extraña si los elementos químicos se consideran únicamente como sustancias simples, caracterizados por sus propiedades fenomenológicas. Si, en cambio, se admite su doble naturaleza, como en este trabajo, es posible aceptar la existencia de un elemento cero definido de una manera teórica siguiendo la misma progresión que ordena a todos los elementos: se trataría de un elemento que posee cero electrones y cero protones, sin por ello perder su carácter de entidad real. Así caracterizado como sustancia básica, entonces, queda claro que el elemento cero es el *neutrón*, que corresponde al elemento con número atómico 0, número másico 1 y configuración electrónica nula. Este elemento forma la primera tríada en la tabla propuesta en este trabajo, con el oxígeno (8) y el azufre (16).

El neutrón no sólo es una entidad que puede definirse de un modo teórico, sino que su presencia efectiva se manifiesta en las llamadas "reacciones nucleares", donde interviene, por ejemplo:

- en la producción de nuevos elementos:

$$_{42}Mo_{94} + {}_{1}H_{2} \rightarrow {}_{43}Tc_{95} + {}_{0}n_{1}$$

- en la producción de distintos isótopos de un mismo elemento:

$$_{4}Be_{9} + {}_{2}He_{4} \rightarrow ({}_{6}C_{13}) \rightarrow {}_{6}C_{12} + {}_{0}n_{1}$$

Este caso del neutrón tiene una analogía con la especie "protón" que, al igual que el "neutrón", tampoco tiene electrones. Ambas partículas intervienen en los procesos conocidos como captura de protones y captura de neutrones; por ejemplo:

$$_{90}Zr + p \rightarrow {}_{91}Nb + \gamma$$

$$_{209}Bi + n \rightarrow {}_{210}Bi + \gamma$$

El protón, como sustancia básica, tiene número atómico 1 y se encuentra dentro de las manifestaciones posibles del hidrógeno. A su vez, participa de las reacciones ácido-base y se encuentra combinado con moléculas del disolvente. Otra analogía que puede hallarse es la que se establece con las partículas alfa, que tampoco poseen electrones; estas partículas pueden considerarse como una de las manifestaciones posibles del elemento helio, entendido como sustancia básica.

7. Las relaciones tríadicas

La representación del sistema periódico propuesta en este trabajo permite que todos los elementos químicos formen al menos una tríada. Si se consideran las primeras cinco columnas a la izquierda de todos los bloques de la nueva tabla, se observa que se conservan los siguientes grupos de la TPE: el grupo del oxígeno (VI A), con el agregado del elemento 0, el grupo de los halógenos (VII A), donde se ubica el hidrógeno, y los grupos de los gases nobles (VIII A), de los alcalinos (I A) y de los alcalinos térreos (II A), en ese orden. En las tres últimas columnas a la derecha de todos los períodos, es posible reconstruir los elementos que integran los grupos del boro (III A), del carbono (IV A) y del nitrógeno (V A) de la TPE.

Los grupos I, II, III, IV y V de las series A y B de la TPE se encuentran relacionados mediante tríadas que tienen un sentido claro en la manifestación de los elementos como sustancias simples, ya que poseen propiedades fenomenológicas similares. Éste es el caso, por ejemplo, de las tríadas B-Al-Sc, C-Si-Ti y N-P-V entre las de primera generación, o de las tríadas Na-Ag-Cu y Mg-Zn-Cd entre las de segunda generación. Estas relaciones coinciden con las propuestas en la tabla de Mendeleev de 1905 (Figura 4).

Grupo I	**Grupo II**	**Grupo III**	**Grupo IV**	**Grupo V**	**Grupo VI**	**Grupo VII**	**Grupo 0**	**Grupo VIII**
H = 1							He = 4	
Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	Ne = 20	
Na = 23	Mg = 24	Al = 27,4	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	Ar = 39,9	
K = 39	Ca = 40	Sc = 44	Ti = 50?	V = 51	Cr = 52	Mn = 55		Fe = 56, Co = 59, Ni = 59 Cu = 63
(Cu = 63)	Zn = 65	Ga = 68	Ge = 72	As = 75	Se = 78	Br = 80	Kr = 83	
Rb = 85	Sr = 87	?Yt = 88?	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96	? = 100		Ru = 104, Rh = 104, Pd = 104Ag = 108
(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 128?	J = 127	Xe = 131	
Cs = 133	Ba = 137	? = 137	Ce = 138?					

Grupo I	Grupo II	Grupo III	Grupo IV	Grupo V	Grupo VI	Grupo VII	Grupo 0	Grupo VIII
				Ta= 182	W= 184			Os =199, Ir= 198?,Pt=197Au=197
(Au= 197)	Hg= 200	TI= 204	Pb= 207	Bi= 208				
			Th= 232		Ur= 240			

Figura 4. Tabla de Mendeleev de 1905. Obsérvese que en los grupos I, II, III, IV y V se incluyen elementos que en la tabla de este trabajo están relacionados mediante tríadas.

La tabla aquí propuesta también permite pronunciarse acerca del problema de los elementos que deberían integrar el grupo III B. La controversia se refiere a cuáles elementos deben figurar luego del Sc y del Y: La y Ac o Lu y Lr (*cf.* Scerri 2009, 2011). Los argumentos se sustentan en presuntas configuraciones electrónicas o en la formación de la tríada Y-Lu-Lr (Scerri 2011). En la tabla presentada en este trabajo, mediante relaciones tríadicas se conectan todos los elementos citados; además, esta representación permite relacionar todos los elementos integrantes de los grupos III A y III B que poseen características químicas similares en el plano, en lugar de requerir una representación tridimensional, como es el caso de la tabla de Dufour (*cf.* Scerri 2008b).

A su vez, los elementos correspondientes a los metales de transición se reconstruyen mediante las tríadas de las tercera y cuarta generación, que se forman a partir de la 6ª a la 15ª columna de los períodos 3º y 4º, es decir desde Sc-Y-La hasta Cu-Ag-Tb y desde Y-Lu-Lr hasta Ag-Au-Rg, respectivamente. Tómese, por ejemplo, el grupo I B de la TPE, formado por los elementos Cu, Ag, Au y Rg. En la TPE, los tres últimos están conectados mediante la tríada 47-79-111, lo que deja fuera al Cu de las relaciones tríadicas. En esta representación aquí propuesta, en cambio, mientras que la citada tríada se mantiene como una de las tríadas de la 4º generación, en la 3º generación se encuentra la tríada Cu-Ag-Tb. Combinado las dos tríadas, queda reconstruido el grupo I B (con el agregado del Tb). De esta manera, el elemento Ag actúa como "conector" para relacionar tríadas. De manera análoga, todos los elementos comprendidos entre el 39 y el 47 (entre Y y Ag) actuarían como "conectores" para la reconstrucción de los grupos de la serie B de la TPE.

Éste es precisamente otro aspecto importante de la representación propuesta en el presente trabajo: los elementos que forman dos tríadas (los que integran

los períodos 2, 4 y 6) pueden actuar de "conectores", de modo tal que la noción de grupo de la TPE, definido en un sentido vertical unidireccional, podría considerarse una de las líneas o ramas de una relación multidireccional que interconecta un conjunto de elementos mediante tríadas; en otras palabras, puede identificarse una especie de "árbol", cuyas ramas quedan conformadas por las tríadas. Esto permite enlazar elementos químicamente relacionados, como los de los grupos I, II, III, IV, y V (tanto A como B) de la TPE en el plano. El análisis exhaustivo de esas conexiones excede el objetivo del presente artículo y será objeto de estudio en un trabajo futuro.

8. Conclusiones

En este artículo se ha presentado la construcción de una tabla periódica que adopta el número atómico como criterio primario, y como criterio secundario las tríadas de números atómicos. Partiendo de la postulación de un hipotético elemento de número atómico 0, los demás elementos se organizan según número atómico creciente en cada período; a su vez, se pasa de un período al siguiente cuando se puede formar una tríada de números atómicos con sentido químico. La tabla presentada incluye la totalidad de los elementos conocidos, el elemento 0, que se identifica con el neutrón, y los hipotéticos elementos aún no descubiertos, desde el 119 hasta el 147, formando al menos una tríada.

Es claro que cualquier criterio o combinación de criterios que se utilice para construir una tabla periódica debe ser tal que dé cuenta de la ubicación de todos los elementos químicos. En el caso de las tríadas como criterio secundario, todos los elementos deben estar contenidos en alguna tríada. Esta condición se logra, en efecto, en la tabla aquí propuesta.

Además, al utilizar como criterio primario el número atómico y como secundario la capacidad de formar tríadas de número atómico, se recurre a una única propiedad para ordenar los elementos, en particular, la única propiedad esencial de la sustancia básica en los términos propuestos por Paneth. En este sentido, la tabla aquí desarrollada constituye una continuación de la propuesta iniciada por Scerri para la ubicación del hidrógeno, pero extendida a todos los elementos químicos. En definitiva, esta representación del sistema periódico permite reflejar todas las relaciones contenidas en los grupos de la tabla periódica estándar sin recurrir en absoluto a las configuraciones electrónicas. Esta forma de ordenamiento de los elementos químicos puede constituir un aporte a la discusión acerca de la posibilidad o imposibilidad de reducción de la tabla

periódica a la mecánica cuántica, cuestión ésta que se encuentra más allá de los alcances de este artículo.

En la tabla periódica presentada en este trabajo se muestran 84 tríadas (incluidas las formadas con el elemento 0 y con los hipotéticos elementos aún no descubiertos). Entre ellas se mantienen todas las tríadas de la tabla periódica estándar. Muchas de las nuevas tríadas generadas mediante esta representación muestran significativas similitudes entre las propiedades químicas de los elementos que las componen, considerados como sustancias simples, principalmente en los bloques A y B. En otros casos, las tríadas muestran una relación más difusa entre sus propiedades químicas conocidas, como en el caso del bloque C, o incluso casi no muestran similitudes, como en el bloque D. Esta observación abre dos posibles líneas de reflexión. Por un lado, puede pensarse que los elementos químicos entendidos como sustancias básicas tienen conexiones sumamente abstractas que no siempre se manifiestan en el plano fenomenológico cuando se los concibe como sustancias simples. Por el contrario, puede considerarse que todas las tríadas deben manifestar similitudes en las propiedades fenomenológicas de sus miembros, pero a medida que se pasa de los bloques A, B, al C y al D se incrementa el número de las propiedades desconocidas de los elementos, precisamente aquéllas que pondrían de manifiesto tales similitudes; el descubrimiento de tales propiedades fenomenológicas podría constituir un nuevo programa de investigación en la química macroscópica.

Agradecimientos

A Olimpia Lombardi por su generoso e invalorable apoyo, sin el cual este trabajo no hubiera sido posible. A Martín Labarca, quien me inició en el estudio de los problemas epistemológicos de la tabla periódica. A Graciela Pinto Vitorino y Diego Walicki, por la detallada lectura, comentarios y sugerencias. Este trabajo fue posible gracias al apoyo de la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco de Argentina.

Trabajos citados

Bensaude-Vincent, B. "Mendeleiev: historia de un descubrimiento". *Historia de las Ciencias.* Ed. M. Serres. Madrid: Ediciones Cátedra, 1989. 503-525.

Bent, H. *New Ideas in Chemistry from Fresh Energy for the Periodic Law,* Bloomington: AuthorHouse, 2006.

Clark, J.D. "A modern periodic chart of the chemical elements". *Science*, 111 (1950): 661-663.

Earley, J. "How chemistry shifts horizons: element, substance, and the essential". *Foundations of Chemistry*, 11 (2009): 65-77.

Emerson, E.I. "A new spiral form of the periodic table". *Journal of Chemical Education*, 22 (1944): 111-115.

Hendry, R. "Substantial confusion". *Studies in History and Philosophy of Science,* 37 (2006): 322-336.

Janet, C. "The helicoidal classification of the elements". *Chemical News,* 138 (1929): 372-374, 388-393.

Labarca, M. & Zambón, A. "Una reconceptualización del concepto de elemento como base para una nueva representación del sistema periódico". *Educación Química,* 24 (2013): 63-70.

Laing, M. "The role of triads". *Journal of Chemical Education*, 86 (2009): 1183-1184.

Ruthenberg, K. "Paneth, Kant and the philosophy of chemistry". *Foundations of Chemistry*, 11 (2009): 79-91.

Scerri, E. "Some aspects of the metaphysics of chemistry and the nature of the elements". HYLE – *International Journal for Philosophy of Chemistry*, 11 (2005): 127-145.

—. *The Periodic Table – Its Story and Its Significance*, New York: Oxford University Press, 2007.

—. "The role of triads in the evolution of the periodic table: past and present". *Journal of Chemical Education*, 85 (2008a): 585-589.

—. "The past and future of the periodic table". *American Scientist*, 96 (2008b): 52-58.

—. "Which elements belong in group 3?", *Journal of Chemical Education*, 86 (2009): 1188.

—. *The Periodic Table. A Very Short Introduction*, New York: Oxford University Press, 2011.

—. "What is an element? What is the periodic table? And what does quantum mechanics contribute to the question?". *Foundations of Chemistry*, 14 (2012): 69-81.

Schwarz, E. "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 (2007): 139-188.

Schwarz, E. & Rich, R. "Theoretical basis and correct explanation of the periodic system: review and update", *Journal of Chemical Education*, 4 (2010): 435-443.

Soddy, F. "Intra-atomic charge". *Nature*, 92 (1913): 399-400.

Stewart, P. "A new image of the periodic table", *Education in Chemistry,* 41 (2004): 156-158.

—. "A century on from Dimitri Mendeleev: tables and spirals, noble gases and Nobel Prizes", *Foundations of Chemistry*, 9 (2007): 235-245.

Von Antropoff, A. "Eine neue Form des periodischen Systems der Elementen", *Zeitschrift für Angewandte Chemie*, 39 (1926): 722–725.

Weisberg, M., Needham, P. & Hendry, R. "Philosophy of chemistry". *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Ed. Edward N. Zalta. Winter 2011. URL = <http://plato.stanford.edu/archives/win2011/entries/chemistry/>.