

LOS EKA Y DVI METALES DEL SIGLO XIX (I) : las sistemáticas periódicas

En la segunda mitad del siglo XIX comienza un fenómeno realmente curioso en el mundo de la química que va a tener repercusiones inesperadas: la sistematización y clasificación de los elementos que se habían descubierto, buscando posibles correspondencias entre ellos que permitieran un mejor estudio de sus propiedades. Sin embargo todo empezó mucho antes. A mediados del siglo XIII, a Alberto el Magno, se le ocurrió agrupar las sustancias integrantes básicas de la alquimia, el azufre, el mercurio y la sal, formando la primera triada; la triada prima. Lavoisier en 1786, clasifica las sustancias conocidas en sustancias simples que se pueden tomar como elementos de los cuerpos (la luz, el calórico, el oxígeno, el "azote" y el hidrógeno), sustancias simples no metálicas oxidables o acidificables (azufre, fósforo, carbono, radical muriático, radical fluórico y radical borácico), sustancias simples metálicas oxidables y acidificables (antimonio, plata, arsénico, bismuto, cobalto, cobre, estaño, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, oro, platino, plomo tungsteno y cinc), y sustancias simples salificables y terrosas (la cal, la magnesia, la barita, la alúmina y la sílice).

Ya a comienzos del siglo XIX, Ampère clasifica las sustancias en función de determinadas propiedades, pero será la hipótesis de Prout, al establecer al hidrógeno como la materia prima original, lo que hace que los pesos atómicos de los elementos sean múltiplos del hidrógeno, la que iniciará todos métodos clasificatorios que surgirán en la segunda mitad del siglo XIX, que parten del peso atómico de un elemento químico como hecho diferenciante.

Döbereiner, entre 1817 y 1830, asocia las sustancias conocidas por similitud en el comportamiento químico, en grupos de 3, aislando los elementos constituyentes¹ y formando hasta 5 triadas, con la peculiaridad de que el peso atómico del elemento del medio, era la media aritmética de los valores de los de los extremos. Así $Br = (Cl+I)/2$, $Na = (Li+K)/2$ y $Se = (S+Te)/2$ etc. No pudo generalizar mucho y sólo consiguió 5 triadas, o sea clasificó 15 elementos. Gmelín en 1827, clasifica los elementos en 3 grupos; los que tienen el peso atómico igual o muy próximo, los de peso atómico múltiplo, y los de peso atómico media aritmética. Esta clasificación asociaba elementos sin el menor parecido en su comportamiento químico. Pettenkofer en 1850, amplía la idea de Döbereiner, clasificando 18 elementos y agrupándolos en 5 series de forma que sus pesos atómicos (que denominaba pesos equivalentes), se diferenciaban en 8 unidades o un múltiplo de 8.

La primera clasificación gráfica, surge en 1857² y la hace Hinrich. Los elementos partiendo de un núcleo común, se distribuyen radialmente por familias. Hacia la parte superior, los no metales, y en la inferior los metales. Hay familias perfectamente definidas: Cloroideos (F, Cl, Br, I), Fosfoideos (N, P, As, Sb), Sulfoideos (O, S, Se, Te), Kaloideos (Li, Na, K, Rb) etc. Incurre en errores graves, como agrupar al Zn, Cd y Pb, o incluir al Ti entre el C y el Si, o el V entre el Mo y el W.

1 Estaba haciendo una investigación sobre la celestita (sulfato de estroncio), observando una relación entre los pesos de los sulfatos de estroncio, calcio y bario. Después tomó el peso que llamó "equivalente" del óxido de estroncio (50), y lo comparó con el del óxido de calcio (27,5) y el del óxido de bario (72,5), hallando que era su media aritmética. De ahí surgió todo. Una vez que Berzelius calculó los pesos atómicos de todos los elementos conocidos, aplicó su idea a los elementos.

2 Entre 1850 y 1860, se intentan multitud de clasificaciones, que publican Gladstone, Cooke, Lensen y Carey Lea, sin ninguna importancia. Incluso en alguna de ella se postulan pesos atómicos negativos, para poder cuadrarlos.

La segunda y más famosa, fue la tridimensional del francés Béguyer de Chancourtois, profesor de Geología de la Escuela de Minas de París, en forma de tornillo³. La sección circular del tornillo estaba dividida en 16, pues tomó como unidad de masa atómica la dieciseisava parte de la del oxígeno. Colocó los símbolos de los elementos en alturas proporcionales a sus masas atómicas, tomándolas como ordenadas sobre una generatriz. Sobre la superficie del cilindro trazó una hélice que formaba un ángulo de 45° con el eje, y se encontró que los elementos de la misma familia coincidían en la misma vertical, que englobaba a aquellos que se comportaban de una forma química similar, lo cual corroboraba su teoría de que: "*Las propiedades químicas eran propiedades de números*", frase histórica que se adelantaría en 70 años a la teoría electrónica de la periodicidad química.

La clasificación más denostada, la presentó el inglés Newlands en el Chemical News, en varios trabajos durante 1863 y 1866, con el nombre de "Ley de las octavas". Ordenó los elementos por sus pesos atómicos crecientes, y al observar que las propiedades se repiten cada 8, enunció la ley citada⁴. La tabla que aparece en su ley lo indica todo:

H 1	F 8	Cl 15	Co y Ni 22	Br 29	Pd 36	I 43	Pt y Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba y V 45	Hg 52
B 4	Al 11	Cr 18	Y 25	Ce y La 32	U 39	Ta 46	Tl 53
C 5	Si 12	Ti 19	In 26	Zr 33	Sn 40	W 47	Pb 54
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di y Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro y Ru 35	Te 42	Au 49	Th 56

Como se puede observar, la clasificación está llena de errores, dado que se agrupan elementos nada emparentados y con comportamiento distinto, y el intento de musicalizar a los elementos químicos, tal como se había hecho con metales y sustancias en la época alquímica, realmente no fue un éxito. Sin embargo, posteriormente y en desarrollo de su sistema, fue el primero en postular la existencia de elementos desconocidos, anticipándose al ruso Mendeléev.

El mismo año, formó un sistema más completo Odling, en el cual dispone los 57 elementos de los 60 conocidos, en orden creciente de peso atómico, invirtiéndolo si fuera necesario, a fin de acomodarlos según analogías químicas. Por eso adelantó el telurio al yodo. También dejó huecos, para elementos por descubrir, en los pesos atómicos entre 40 y 60 y entre 65 y 75.

Vemos, pues que la sistematización de los elementos químicos a través de sus pesos atómicos, va a abrir una puerta para el descubrimiento de nuevos elementos, a partir de similitudes con los ya conocidos, cuyos huecos se deberían cubrir.

3 Fue presentada el 7 de abril de 1862, con el título de "Mémoire sur un classement naturel des corps simples ou radicaux appelé vis tellurique". En forma de tornillo se hicieron posteriormente varias clasificaciones, como la Helix Chemica de Emerson, y el tornillo del geólogo español Macpherson, fallecido en 1902.

4 En el Chemical News (1866, 13, 113), se describe la reunión de la Sociedad Química donde se produjo el evento: "*El Sr. John A.R. Newlands, leyó un artículo titulado La ley de las octavas y las causas de las relaciones numéricas entre los pesos atómicos. El autor pretende haber descubierto una ley según la cual los elementos de propiedades análogas presentan características peculiares semejantes a las que existen en música entre una nota y su octava. Tomando como partida los pesos atómicos de Cannizzaro, el autor ordena los elementos conocidos en forma de sucesión empezando en el hidrógeno y terminando en el torio, sin embargo coloca al níquel, cobalto, platino e iridio, cerio y lantano etc, en posiciones de igualdad absoluta, esto es en la misma línea. Los 56 elementos dispuestos en esta forma se dice que forman un conjunto armónico de ocho octavas, y el autor encuentra que el cloro, bromo, yodo y flúor se hallan en la misma línea, ocupando los lugares correspondientes de su escala....El Dr. Gladstone se opuso a que se admitiera que ya no quedaban elementos por descubrir. Durante los últimos cinco años habían surgido el talio, indio, cesio y rubidio y a partir de ahora, el hallazgo de uno sólo desecharía todo el sistema. El orador opinaba que existía la misma analogía entre los metales colocados en la última columna vertical que entre cualquiera de los elementos de la misma línea horizontal.... El Prof.Foster, preguntó humorísticamente al señor Newlands si se le había ocurrido examinar los elementos según el orden de sus iniciales, pues creía que cualquier ordenación presentaría coincidencias accidentales, aunque condenaba a ésta que colocaba tan apartados al manganeso y al cromo, o al hierro del níquel y el cobalto... El Sr. Newlands dijo que había ensayado otros muchos esquemas antes de llegar a éste que proponía ahora. Uno basado en la gravedad específica de los elementos había fracasado totalmente...*".

Por fin en 1868, se presenta una gráfica periódica que se va a usar durante 128 años, y que se sigue usando actualmente; la de volúmenes atómicos del alemán Julius Lothar Meyer, complemento de una sistemática que sólo publicaría en 1870, aunque se concibiera dos años antes. Se basó en la semejanza de los elementos por su atomicidad⁵ con respecto al hidrógeno. Había 44 elementos dispuestos en 6 columnas, con diferencia de masa entre los elementos de cada una de ellas de aproximadamente 16, 45 y 90 unidades, como se puede apreciar.

atomicidad 4	atomicidad 3	atomicidad 2	atomicidad 1	atomicidad 1	atomicidad 2	dif.de masa
				Li (7)	Be (8,3)	prop 16
C (12)	N (14)	O (16)	F (19,9)	Na (23)	Mg (24)	prop 16
Si (28)	P (31)	S (32)	Cl (35,5)	K (39,1)	Ca (40)	prop 16 y 45
HUECO	As (75)	Se (79)	Br (80)	Rb (85)	Sr (87,6)	prop 45
Sn (117,6)	Sb (120,6)	Te (128,3)	I (126,8)	Cs (133)	Ba (137)	prop 45 y 90
Pb (207)	Bi (208)	HUECO	HUECO	Tl (204)	HUECO	

También se contemplaba en ella la existencia de huecos, a cubrir por elementos que previsiblemente se irían descubriendo. En la tabla de volúmenes atómicos, relacionaba éstos con los pesos atómicos, y al dividirla en 6 secciones, los máximos y mínimos prácticamente coincidían. Igualmente preparó gráficas que relacionaban otras propiedades como la volatilidad, fusibilidad, fragilidad, y comportamiento electroquímico con el peso atómico.

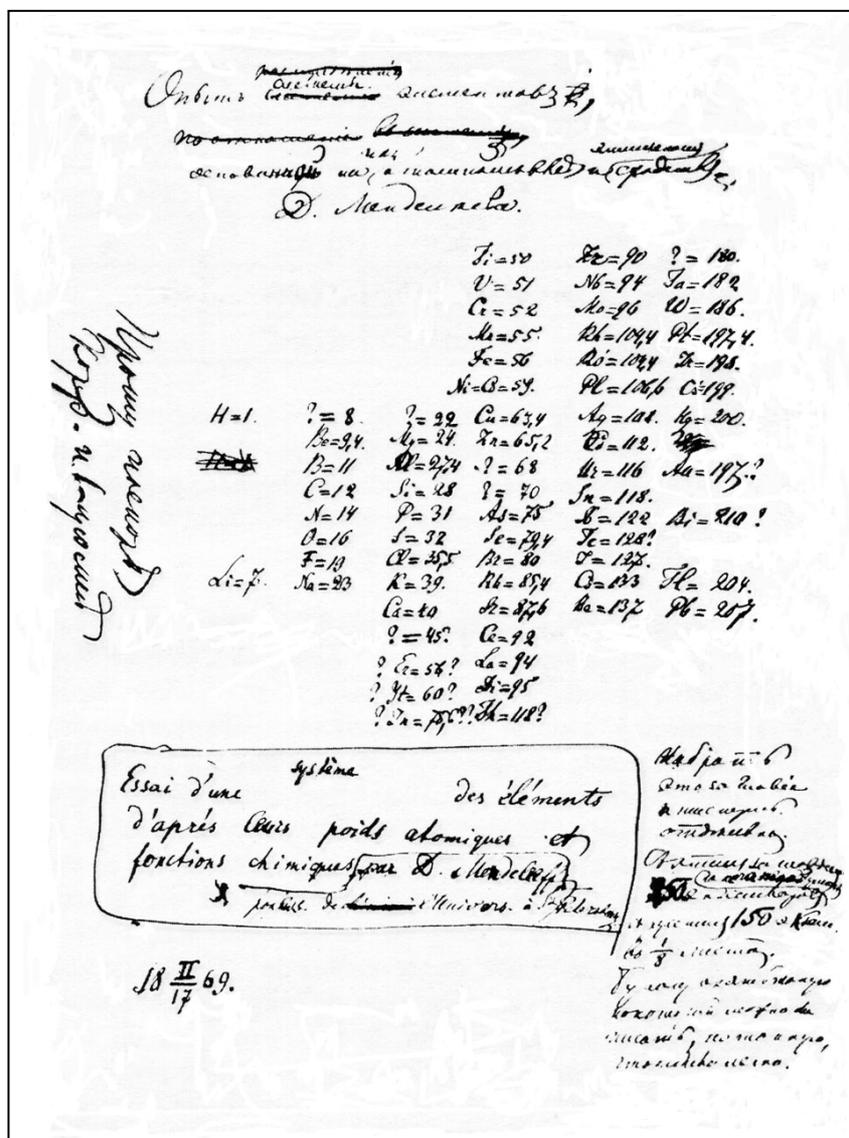
Así Döbereiner, Pettenkofer, Cooke, Odling, Hinrichs, Chancourtois, Newlands y Lothar Meyer contribuyeron a estas primeras sistematizaciones. Ahora bien, va a ser el ruso Mendeléev el que no sólo ordena los 63 elementos conocidos hasta aquel entonces, de los que 47 eran metales, sino que llega a predecir y "bautizar" nuevos metales sin haberlos aislado, rellenando los huecos existentes en su clasificación, estudiando no sólo sus posibles propiedades sino incluso pronosticando las de sus combinaciones. Tanto Lothar Meyer como Mendeléev, conciben su ley periódica, como núcleo fundamental de un libro sobre fundamentos de química. Ambos se basan en una estructura que auna la línea ascendente de las masas atómicas de los elementos químicos, con las características químicas repetitivas de sus combinaciones con el oxígeno y con el hidrógeno, fundamentalmente. Los dos la pergeñan en el mismo año; 1869. La primera de Mendeléev, surge el 17 de febrero de 1869⁶ con el nombre de: "Ensayo de sistematización de los elementos sobre la base de sus pesos atómicos y de sus semejanzas químicas" y precedió en un año a la publicación de la primera edición de sus "Principios de Química", libro revolucionario en la forma de entender la química y que recibió el premio Demidoff, de la Academia Rusa de San Petersburgo⁷

⁵ El concepto de atomicidad sería sustituido posteriormente por el de valencia. En 1865, Hoffman, en su "Introducción a la Química moderna", propone el término de "quantivalencia", que tres años después Wichelhaus acertó hasta el actual de valencia (Ann.Supp. 1868, 6, 257), término que generalmente se atribuye a Frankland que desde 1852 había desarrollado la teoría de la capacidad combinativa de los elementos químicos.

⁶ Los últimos estudios, indican como fecha más probable, el 1 de marzo de 1869. Se hicieron 200 copias impresas, de las cuales 150 en ruso y 50 en francés. El manuscrito llevaba originalmente el título de "Clasificación de Elementos" y "Distribución de elementos", posteriormente pasó a ser "Sistema de elementos" y "Sistematización de elementos".

⁷ De este texto se hicieron en vida del científico, ocho ediciones. Curiosamente Mendeléev, nunca llegó a ser nombrado miembro de la Academia Imperial Rusa. Su candidatura, con gran escándalo de Butlerov, fue rechazada cuatro veces, al parecer por su formación

El facsímil del manuscrito (borrador), en el que presentó Mendeléev el 17/02/1869, su ensayo de un sistema de los elementos químicos, se encuentra en el museo de la Universidad de Leningrado, y es éste:



Como se puede observar en el manuscrito, con las tachaduras propias de un borrador, muchos símbolos de los elementos químicos no corresponden a los actuales, como pueden ser los del rutenio, rodio y paladio, aparte claro está del didimio. Sin embargo es curioso que incluyera el del berilio, cuando en el texto: "Principios de Química", lo considera como glucinio. En esta primera tabla, los elementos se clasificaban en 19 series reuniendo los que tenían comportamiento parecido y privando en ocasiones este hecho sobre la línea ascendente de masas atómicas, y seis columnas⁸:

⁸ Mendeléev organizó a los elementos, jugando con ellos como si fueran cartas, pues se hizo con cartones, en los que inscribió los símbolos, y los fue disponiendo hasta conseguir una periodicidad, por eso la solía llamar "tabla de los solitarios de cartón".

SERIE	PERÍODO 1	PERÍODO 2	PERÍODO 3	PERÍODO 4	PERÍODO 5	PERÍODO 6
1				Ti = 50	Zr = 90	? = 180
2				V = 51	Nb = 94	Ta = 182
3				Cr = 52	Mo = 96	W = 186
4				Mn = 55	Rh = 104	Pt = 197
5				Fe = 56	Ro = 104,4	Ir = 198
6				Ni=Co=59	Pl = 106,6	Os = 199
7	H = 1			Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
8		Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
9		B = 11	Al = 27,4	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
10		C = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
11		N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 118	Bi = 210?
12		O = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
13		F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
14	Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 87,6	Cs = 133	Tl = 204
15			Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207
16			? = 45	Ce = 92		
17			?Er = 56	La = 94		
18			?Yt = 60	Di = 95		
19			?In = 75,6	Th = 118?		

Como se puede observar en esta clasificación había muchas incógnitas, así como cuatro huecos con interrogantes que corresponderían a elementos todavía no descubiertos. Igualmente modificó algunos pesos atómicos para que cuadrasen en su sistemática, suponiendo que debería existir algún error en procedimiento empleado para calcular el conocido en aquella época.

Para la nominación de elementos "no natos" al mundo científico, emplea el nombre de su inmediato superior, esto es, el de su elemento hermano en la familia química o grupo. A veces con una posición no llega y tiene que remontarse dos lugares por debajo. A la hora de optar por un prefijo indicativo del lugar respecto al elemento de referencia, no utiliza los latinos, normales en la época; el latín era el idioma científico por antonomasia, ni los especialmente cultos griegos, sino que elige el sánscrito como lengua de referencia⁹.

Así aparecen los **EKA** y los **DVI** metales¹⁰. Los **EKA** (uno en sánscrito¹¹), corresponden a aquellos situados en la sistemática periódica un lugar por debajo del elemento a que hacen referencia, mientras que los **DVI** (dos en sánscrito), lo estaría dos posiciones.

9 Mendeléev era el hijo número catorce (algunos biógrafos dicen que diecisiete) de un profesor y director de periódico en Tobolsk, Siberia. El padre perdió la vista cuando aquél era niño, a causa de unas cataratas, muriendo poco después, y la madre, María, tuvo que reintegrarse al trabajo en una fábrica de vidrios montada por la familia. El origen de esta predisposición contra las habituales lenguas clásicas, parece ser debida a las bajas calificaciones obtenidas en las mismas, en su época de estudiante.

10 El mismo lo explica así: "Para no introducir en la ciencia los nuevos nombres de los elementos esperados, los denominaré por el nombre del próximo análogo inferior del número de elementos pares o impares del mismo grupo añadiendo al nombre del elemento las palabras sánscritas del cálculo: eka, dwi, tri, chatur etc."

Dado que no está contento con la primera clasificación, trabaja año y medio en perfeccionarla, y juntamente con la primera edición de sus Principios de Química¹² publica en 1870 lo que llamó: "Sistema natural de los elementos". La distribución era diferente a la primera, pues el ordenamiento de las series era vertical, duplicándolas dentro de cada familia.

GRUPOS	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Elementos típicos	Li	Be	B	C	N	O	F	
PERIODO ser.1	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	
1 ser.2	K	Ca	EKA B	Ti	V	Cr	Mn	Fe,Co,Ni
PERIODO ser.3	Cu	Ln	EKA Al	EKA Si	As	Se	Br	
2 ser.4	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	EKA Mn	Ru,Rh,Pd
PERIODO ser.5	Ag	Cd	In	Ce	Sn	Sb	Te	I
3 ser.6	Cs	Ba						
PERIODO ser.7							DVI Mn	Os,Ir,Pt
4 ser.8					Ta	W		
PERIODO ser.9	Au	Hg	Tl	Th	Pb	Bi	DVI Te	DVI I
5 ser.10	DVI Cs	DVI Ba	TRI Y			EKA Ta	Ur	?
ÓXIDOS	R ₂ O	R ₂ O ₂ RO	R ₂ O ₃	R ₂ O ₄ RO ₂	R ₂ O ₅	R ₂ O ₆ RO ₃	R ₂ O ₇	R ₂ O ₈ RO ₄

Para que cuadrasen en su sistemática, modificó nada menos que los pesos atómicos de 20 elementos, predijo la existencia de hasta 11 nuevos elementos, e incluso la de los transuránidos. De los 11, cinco estaban perfectamente definidos, inclusive con sus propiedades atómicas.

Todos ellos eran metales, y sus nombres y símbolos serían: el **EKA ALUMINIUM** (Ea), el **EKA BORON** (Eb), el **EKA SILICIUM** (Es), el **EKA MANGANESIVM** (Em) y el **DVI MANGANESIVM** (Dm).

11 El **EKA** sánscrito, proviene de la raíz indoeuropea *oi-ko, *oi-wo y *oi-no, que dará también el **οἶκη** griego, el unus latino, el un galés, el gótico ains el avéstico aeva y aiva. Prefijado con vi o con jed, aparece en el lituano vi-enas, el letón vi-ens, el checoslovaco jed-inu, polaco jed-en, y serbocroata jed-an. El **DVI**, procede de una raíz indoeuropea todavía más divulgada, que aparece en griego y latín como duo, en lituano du, en albanés dy, en hitita twi, tal como el inglés actual two.

12 El texto, un poco extraño porque tenía más notas al pie que contenido normal, estaba dedicado a su madre con estas palabras que reproducen la historia de su niñez: "Esta investigación la dedica a la memoria de una madre, su retoño más joven. Llevando una fábrica, ella pudo educarlo tan sólo con su propio trabajo. Le instruyó con el ejemplo, le corrigió con cariño y para dedicarlo a la ciencia dejó la Siberia con él, gastando así sus últimos recursos y fuerzas. Cuando agonizaba dijo: Líbrate de ilusiones, persevera en el trabajo y deja las palabras. Busca con paciencia la verdad divina y científica. Ella comprendía cuan a menudo los métodos dialécticos deslumbran, cuanto queda por saber todavía y como con la ayuda de la ciencia, sin violencia, con amor pero con firmeza, puede apartarse toda superstición, falsedad y error, poniendo en su lugar la seguridad de la verdad descubierta, la libertad para el progreso, el bienestar general y la satisfacción interior".

De esta forma en 1871, formula la siguiente ley que aparece en la segunda edición de sus Principios de Química:

"Las propiedades de los cuerpos simples así como la forma y propiedades de los compuestos de los elementos se encuentran en una relación periódica con respecto a la magnitud de los pesos atómicos de los elementos".

Todavía Mendeléev, propondría nuevas formas para su tabla, mucho más en consonancia con las que aparecen normalmente en los textos actuales, siempre con la división en dos grupos, la de los elementos típicos, cabeceras de las distintas familias, y los grupos divididos en dos series, la de los elementos pares y la de los impares, equivalentes a los dos tipos de series que aparecían en la anterior.

En 1886, se publicó la primera sistemática periódica americana, del profesor Gibbes, con el nombre de Synoptical Table of the Chemical Elements. Su génesis data de 1870, totalmente independiente de la de Mendeléev, tomó la forma de cuadro, y también de una espiral parecida a la de Chancourtois, pero con pendiente de 25°, en vez de 45. No ordenó los elementos según pesos atómicos crecientes, sino por familias, en función de sus combinaciones químicas, con atomicidad de -4 hasta +3. Reconoció la existencia de huecos pero no se arriesgó a predecir propiedades ni a "bautizar" nuevos elementos, aunque supuso una atomicidad 0. Así era:

SERIES

at.	A	B	C	D	E	F	G	H,J	K	GRUPOS
-4		C=12	Si=28	Ti=50			Sn=118			Silicon
-3		N=14	P=31	V=51,3	As=75	Cb=94	Sb=122	Ta=182	Au=196	Phosphorus
-2		O=16	S=32	Cr=52,5	Se=79	Mo=96	Te=128	W=184		Sulphur
-1		F=19	Cl=35,5		Br=80		I=127			Chlorine
0										
+1	Li=7	Na=23	K=23		Rb=85	Ag=108	Cs=133		Tl=204	Kalium
+2	Gl=9,3	Mg=24	Ca=40	Zn=65	Sr=87,5	Cd=112	Ba=137		Pb=207	Calcium
+3	B=11								Bi=210	
	Al=27	Cr=52	Mn=55	Fe=56	Co=59	Ni=59	Cu=63,5	U=120		Iron
	Y=61,7			Zr=86,5	Ce=92	La=92	D=96	Er=112	Th=115	
	In=74				Ru=104	Ro=104	Pd=106	Pt=197	Ir=197	Iridium
					H=1		Hg=200			

Como se observa empleó símbolos de elementos actualmente inexistentes como el glucinium (también lo había considerado así Mendeléev, aunque empleó el símbolo Be). Para el didymium, empleó la D, e introdujo el Cb, el columbium en lugar del niobio Nb que usa Mendeléev.

A partir de 1871, Mendeléev hace las primeras predicciones sobre las propiedades posibles de los nuevos elementos, que él había bautizado y que en teoría deberían existir aunque todavía no se habían descubierto. Comienza con el eka aluminium, Ea

PROPIEDADES FÍSICAS	Masa atómica, 68 Punto de fusión bajo No deberá ser volátil Densidad próxima a 6g/cc
PROPIEDADES QUÍMICAS	No se oxidará espontáneamente en el aire Reaccionará lentamente con ácidos y bases Formará óxidos de fórmula Ea_2O_3 , que deberán reducirse fácilmente. Formará alumbres con mayor dificultad que el Al

El elemento no estaba descubierto ni aislado, por lo tanto no se podía comprobar la veracidad de sus teorías que también se extendieron a los otros elementos, Eb y Es. Por otra parte la comunidad científica europea, desconfiaba de las aportaciones de un científico ruso. Sin embargo existían unas investigaciones paralelas; las que desde 1863 desarrollaba el francés Lecoq de Boisbaudran, que de destilador de vinos pasó a científico de renombre.

Al igual que Mendeléev, que sugería que las propiedades de los elementos dependían de sus pesos atómicos, comienza a relacionar las propiedades espectroscópicas con las familias de los elementos; esto es, los elementos de la misma familia poseen rayas espectroscópicas características, con un ligero corrimiento según el aumento del peso atómico. Lo comprueba en el boro, aluminio e indio. Pero algo no encaja; le falta un elemento entre el aluminio y el indio, y se pone a buscarlo. Debería ser escaso, porque sino ya se hubiera encontrado. Comienza a buscar entre los minerales de aluminio y los de cinc, elemento de peso atómico muy próximo al que se suponía para el desconocido. En febrero de 1874, analiza unas blendas de cinc de la zona de altos Pirineos. Las investigaciones duraron año y medio, y el agosto de 1875, escribe en el Chemical News:

"Entre las 3 y 4 de la tarde del día 27 de agosto de 1875, encontré indicios de la probable existencia de un nuevo cuerpo elemental en los productos del análisis químicos de una blenda de Pierrefitte. El óxido o tal vez una subsal se separa de la solución que contiene cloruros y sulfatos por la acción del cinc metálico. La cantidad extremadamente pequeña de la sustancia a mi disposición, me ha impedido realizar los experimentos necesarios, pero las pocas gotas de cloruro de cinc, donde concentré la nueva sustancia daban bajo la acción de la chispa eléctrica, un espectro compuesto principalmente por una raya violeta, estrecha, fácilmente visible y situada hacia los 417 de la escala de longitudes de onda. Percibí también un rayo muy tenue a los 404".

Sin embargo la cantidad aislada no era suficiente, porque lo que pone en marcha un método analítico¹³, terminando con la electrólisis del hidróxido que le permite disponer un mes más tarde de cerca de un gramo del nuevo elemento que bautiza como **GALLIUM** en honor a su patria francesa¹⁴, que generará el **GALIO** español entre otros, y el símbolo Ga.

13 Trata la blenda con agua regia, empleando el cinc para separar los otros elementos como Cu, As, Pb, Cd, In, Tl y Hg, por electrodeposición. Separa por filtración el sólido esponjoso, precipitando después los hidróxidos de Al, Fe, Co y Cr. Arrastrado por el sulfuro de cinc (siempre va a acompañar al Zn), es separado por acetato amónico y ácido acético. Se precipita como hidróxido, disolviéndose en potasa y electrolizándose. Así obtiene por primera vez galio, en noviembre de 1875.

14 Hay historiadores que piensan que nombrándolo así lo que hacía era introducir una forma de su apellido familiar (Le Coq, gallo en francés) aunque latinizado (Gallium, gallo en latín).

Dado que la investigación era completamente independiente de la teórica de Mendeléev, tendremos dos nuevos elementos y dos símbolos Ga y Ea, para el mismo hueco en la familia del boro. ¿El galio y el ekaluminio eran el mismo elemento?

A finales de septiembre y a mediados de octubre, publica Boisbaudran las primeras propiedades del galio¹⁵. Algunas coinciden con las propuestas teóricamente por Mendeléev para el ekaluminio, pero no su densidad (4,7g/cc). La comunicación llega un mes más tarde a Moscú, allí Mendeléev asume el descubrimiento del galio, como comprobante de su ley, aseverando que el Ga era el Ea¹⁶, y que posiblemente Boisbaudran se hubiera equivocado en el cálculo de la densidad, por estar contaminado el metal por sodio, mucho más ligero. Repite la experiencia Boisbaudran, y efectivamente tenía razón Mendeléev, la densidad era 5,9g/cc; su ley estaba comprobada¹⁷. Los dos nombres y símbolos se funden en uno; el **GALLIUM**. Podría parecer que a partir de estos hechos surgiría una determinada rivalidad o enemistad entre ambos, pero no fue así. A finales de 1876, Lecoq le envió su fotografía, con la siguiente dedicatoria: "*En señal del respeto más profundo y mi deseo más vivo de considerar a Mendeléev entre mis amigos. L.de B.*". Debajo de la cual, escribió Mendeléev: "*Lecoq de Boisbaudran. París. En 1875 descubrió el **EKA ALUMINIUM** denominado **GALLIUM**, Ga=69,7*".

Su dicha fue muy corta ya que en una ortita de Bandel (un silicato completo de Ca, Ce, Fe y Al), aparecerá un nuevo metal que se parecía al **GALLIUM** en sus características espectroscópicas y que siguiendo la moda patriótica inaugurada con el elemento anterior, en seguida fue bautizado por Pribrán como **AUSTRIUM** o **AUSTRIO** en español, en honor de Linnemann, su descubridor, proponiendo como símbolo At. Su vida fue muy efímera puesto que resultó ser una mezcla de Galio e Indio, que no habían podido ser convenientemente separados y purificados. Hechos como éste se darán continuamente hasta la primera mitad del siglo XX, pese a los avances tecnológicos en los métodos analíticos, todo ello debido a la fiebre nominadora que se había apoderado de los científicos.

La ley de Mendeléev estaba comprobada, y trazado el camino para la investigación de nuevos elementos¹⁸. Se conocían unas propiedades teóricas, se sabía el peso atómico, luego habría que buscarlos a fin de ir cubriendo los huecos de la tabla. El siguiente elemento sería el eka boron, Eb. Para él había previsto Mendeléev las siguientes propiedades:

15 La comunicación en Comp.Rend, con fecha de 20/09/75, lleva por título:" Caractères chimiques et spectroscopiques d'un nouveau métal, le Gallium, découvert dans une blende de la mine de Pierrefitte, vallée d' Argeles (Pyrénées)", el mismo título que el publicado en octubre de 1875 en Am.Chemist. Incluso Boisbaudran, publica el 6/12/75, en Comp.Rend, otro nuevo artículo con el título:"Sur quelques propriétés du gallium". Lo característico para identificarlo eran las dos rayas espectroscópicas a 4172 y 4033D.

16 El 16/11/1875, lee y después publica en la Academia de Ciencias rusa, un trabajo sobre:" Nota acerca del descubrimiento del galio". En él propone a Boisbaudran que observe algunas propiedades, por si coincidieran con las que había propuesto para el Ea. Aparecerá en el Comp.Rend. de 22/11/75, con el título anterior.

17 Durante 1876, fueron surgiendo nuevas propiedades del Gallium. La más curiosa era que fundía simplemente con el calor de la mano.

18 Los primeros sistemas periódicos fueron introducidos en España por los profesores que asistieron al Congreso de Química de Karlsruhe, en 1860. En 1881, Mendeléev, visitó Madrid, dando algunas conferencias, y en 1892, el profesor Muñoz del Castillo, publica su "Clasificación cíclica de los cuerpos simples".

PROPIEDADES FÍSICAS	Masa atómica, 44 No deberá ser volátil Densidad próxima a 3g/cc Volumen atómico, P/d =15
PROPIEDADES QUÍMICAS	Formará óxidos básicos de fórmula Eb_2O_3 , no solubles en agua a la que descompondrá en caliente Formará alumbres con dificultad Las sales serán incoloras produciendo precipitados gelatinosos con KOH. El carbonato será insoluble y el $EbCl_3$, será menos volátil que el de aluminio.

El sueco Nilson, el 12 de marzo de 1879, aísla un elemento con algunas de estas propiedades, a partir de un raro mineral, la euxenita que también dará nombre de **EUXENIUM** a un nuevo metal (no precisamente éste), cuando trataba de aislar algunos elementos de las tierras raras. Lo llama **SCANDIUM** en honor a Escandinavia¹⁹ cuyo nombre antiguo era precisamente **ESCANDIA**²⁰, con símbolo Sc. En principio no cree se trate del ekaboron, por que actuaba como tetravalente ya que su óxido era ScO_2 y su peso atómico era mucho más elevado; entre 160 y 180, lo cual correspondía a un elemento entre el estaño y el torio, suponiendo se tratase de un nuevo elemento de las tierras raras²¹. Theodor Cleve, compatriota de Nilsen, cinco meses después determinaría que el **SCANDIUM**, era el **EKA BORON**²² Sin embargo todavía había un problema: la densidad del metal no coincidía con la prevista por Mendeléev. Sólo en 1937, Fischer encontraría trabajando con un escandio del 98% de pureza, que la densidad era 3g/cc. Seguía comprobándose la tabla de Mendeléev.

Para el eka silicium, había previsto Mendeléev las siguientes propiedades:

PROPIEDADES FÍSICAS	Masa atómica, 72 Densidad próxima a 5,5g/cc Volumen atómico, P/d =13
PROPIEDADES QUÍMICAS	Formará óxidos básicos de fórmula EsO_2 El $EbCl_4$, será un líquido con punto de ebullición de aproximadamente 90°C.

Mendeléev, había supuesto que el eka silicium, sería encontrado en los minerales que contuvieran titanio y circonio. Sin embargo no fue así. En el 85, se había descubierto un mineral en una mina de Friburgo, que recibió el nombre de argirodita, por su contenido en plata. El alemán Winkler, lo analiza y junto a los porcentajes mayoritarios de plata, y una pequeña proporción de azufre, y óxidos de hierro y cinc, se perdía nada menos que un 7% de materia; tenía que deberse a un elemento desconocido.

19 Se podría creer que la raíz de SCANDIA, SCA, es la misma que la del SKER del silicio. Sin embargo existen en el sur de Suecia, numerosos zonas y pueblos con esa raíz, como Skane o Scania, y su origen es el mismo que el del castellano escalón, salto, gradiente, correspondiendo a la zona sur de Suecia, que gradualmente desciende hacia el Báltico.

20 El ESCANDIO, aunque primitivamente fuera un EKA BORO por pertenecer al grupo III, actualmente no está debajo en la distinción de grupos IIIA y IIIB, al estructurar la tabla periódica por el número atómico de los elementos químicos

21 El artículo que fue leído en la Academia de Ciencias de París, el 24/03/1879, llevaba por título: " Sobre el escandio, un nuevo metal raro".

22 Al día siguiente envió Cleve una carta a Mendeléev en la que decía: "*Tengo el honor de comunicarle que el elemento eka boro ha sido separado. Es el escandio descubierto por L.Nilsen en la primavera de este año*".

Comienza a trabajar en su aislamiento, consigue obtener su sulfuro, en forma de escamas blancas. Lo disuelve en hidróxido amónico, lo vuelve a precipitar con exceso de ácido clorhídrico, encontrándose con que el sulfuro del elemento en cuestión era insoluble en ácidos concentrados, y soluble en agua y ácidos diluidos. Somete el sulfuro a corriente de hidrógeno y obtiene el elemento. Lo piensa bautizar como **NEPTUNIUM**, con símbolo Np, ya que era el nombre previsto el año anterior, pero que desechó pues ya se había empleado en un elemento descubierto por Hermann en 1876, dentro de los elementos parecidos al niobio y tantalio que se encontraron entre sus impurezas²³. Por fin el 6 de febrero de 1886, envía el comunicado a la Sociedad Química alemana, nombrándolo **GERMANIUM**. Días después expide un comunicado a la Sociedad Química rusa, con el siguiente texto:

"El abajo firmante, tiene el honor de informar a la Sociedad Físico Química rusa que encontró en la argirodita un nuevo elemento NO METÁLICO, próximo por sus propiedades al ARSÉNICO y al ANTIMONIO, el cual fue denominado GERMANIUM. La argirodita es el nuevo mineral descubierto por Welsbach en Friburgo, el cual consiste en plata, azufre y germanio".

Quiere decir que no creía que fuera un eka silicio²⁴, y tampoco Mendeléev²⁵, para el que las fuentes naturales donde se encontró no coincidían con las que suponía. Realmente no todas las propiedades predichas por Mendeléev se cumplían en los elementos encontrados. Así por ejemplo la capacidad del **GERMANIO** para fundirse y volatilizarse era muy diferente a las que se preveían para el **EKA SILICIUM**. Serían los químicos alemanes Richter y Lothar Meyer, los que demostrarán, meses más tarde que el **GERMANIUM** era el **EKA SILICIUM**²⁶, permaneciendo aquél nombre, que producirá el **GERMANIO** español, y el símbolo Ge. En japonés, el germanio tiene un nombre muy curioso: **JIH CHI TE**, que quiere decir Japón y Alemania.

Como podemos apreciar los tres elementos descubiertos, incluso podríamos decir cuatro, tienen nombres geográficos latinos antiguos de los países de sus respectivos descubridores: **GALIA**, **ESCANDIA**, **GERMANIA**.

Animado por el éxito inicial de sus primeras predicciones y aprovechando la invitación de la Sociedad Química de Londres, a las Lecturas Faraday de 1889, lanza Mendeléev allí otras, surgiendo los **EKA CESIUM** (Ec), **EKA TANTALIUM** (Et), **EKA IODINE** (Ei) y **DVI TELLURIUM** (Dt). Éste debería presentar un peso atómico de 212, y formar un óxido de fórmula DtO₃. El elemento tendría que ser un metal no volátil de color gris, aunque fácilmente fusible, con una densidad de 9,3g/cc, capaz de dar DtO₂. Su hidruro sería mucho menos estable que el de Tellurium, sus compuestos serían fácilmente reducidos, y podrían producir aleaciones características con otros metales.

23 Como veremos más tarde Hermann, entre los años 1846 y 1876, investiga en las columbitas una serie de elementos químicos entre los que encuentra el **ILMENIO** y el **NEPTUNIO**, que más tarde no serían tales, sino niobio y tantalio impuros.

24 En carta dirigida a Mendeléev, de 26/02/86, declaraba: *"Principalmente yo soy de la opinión que ese elemento llena el espacio entre el antimonio y el bismuto en su sistema periódico tan admirablemente construido, y que el elemento coincide con su eka antimonium".*

25 Precisamente, Mendeléev, el 26/02/86, conocido el trabajo de Winkler, publicó una relación de propiedades que cabría esperar de un eka antimonium, las cuales no coincidían con las explicadas por aquél. Es más, creyó que por la solubilidad de su cloruro en agua y el color blanco del sulfuro, debería tratarse de un eka cadmio, que ocuparía un hueco entre el Cd y el Hg.

26 El 2/05/1886, telegrafió Mendeléev a Winkler reconociendo la identidad de ambos elementos.

No tuvo tanta suerte con la segunda predicción, pues como veremos sólo acertó parcialmente en el caso del **DVI TELLURIUM** cuyas características de peso atómico aproximado (212), valencia, volatilidad, fusibilidad, densidad, color y propiedades ácido base previstas, van a coincidir con las del **POLONIO** (Po), descubierto en julio del 1898 por María Sklodowska de Curie. Sin embargo según la posición y la masa debería ser un **EKA TELLURIUM** y no un **DVI TELLURIUM**. Naturalmente en su clasificación periódica en función de la masa atómica, Mendeléev no podía prever la aparición de los elementos de transición interna. Este fallo motivará la no coincidencia de las demás previsiones.

Dado que los elementos se ordenaban por familias en las que el comportamiento químico, que dependía de la estructura electrónica era similar, los elementos del mismo grupo deberían presentar la misma distribución electrónica externa. Los electrones se disponían en los orbitales siguiendo el Principio de Exclusión de Pauli, y las reglas de Hund, en orden creciente de energía. Esta energía según las normativas de Madelung (1936), explicadas por Klechkovskii (1962), por aplicación de la estadística de Fermi Dirac, depende de la suma de los números cuánticos n y l . Por lo tanto después del bario ($Z=56$), quinto metal del grupo 2A, y por lo tanto con 2 electrones en el orbital $6s$ ($n=6, l=0$), con suma $(n+l)=6$, debería ser ocupado el orbital de suma 7, esto es con $n=4, l=3$, o sea el $4f$. Sin embargo para el número atómico 57 tiene más energía que el $(n+l, 7, 5+2)$, por eso aunque el elemento 57 sea un $5d^1$, y por lo tanto se comporte como un elemento del grupo 3B, en este caso un EKA ITRIO, el siguiente ($Z=58$) y los elementos sucesivos, cubren el orbital $4f$, conservándose la estructura $6s^2 5d^1 4f^n$, situación impensable en la época de Mendeléev. Ahora bien según las leyes espectroscópicas el electrón en d , saltará fácilmente al f , a fin de estabilizarlo en función de un mayor número de electrones f desaparejados. Puesto que el orbital f semilleno y completo adquiere una especial estabilidad, no es de extrañar que las disposiciones electrónicas en $5d^1 4f^n$ pasen fácilmente a $5d^0 4f^{n+1}$ como se verá más tarde a la hora de justificar la semejanza de su comportamiento.

