

## AS PREDICCIÓNES DE MENDELEEV

MANUEL R. BERMEJO

ANA M. GONZÁLEZ NOYA

ROSA PEDRIDO

*Departamento de Química Inorgánica,  
Universidade de Santiago de Compostela*

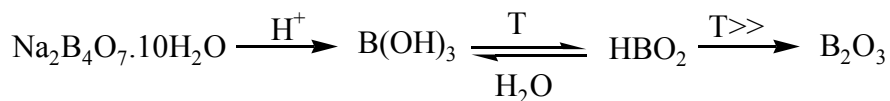
### 1. INTRODUCCIÓN

O 21 de xuño do ano 1808 os químicos Joseph Louis Gay-Lussac (1778-1850) e Louis Jacques Thénard (1777-1857) prepararon un po branco a partires dun minerais ben coñecido dende a antigüidade, o bórax ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ). O tetraborato sódico é ben coñecido e utilizado dende a antigüidade e sabemos del, e dos seus usos, polos escritos do máis famoso alquimista árabe: Jabir Ibn Hayyan al-Sufi (721-803) coñecido en occidente como Geber.

A manipulación do bórax (termo que procede do árabe *bauraq*, unha derivación do termo persa *burah*) permitía a obtención de distintos ácidos bóricos, entre outros o chamado metabórico citado anteriormente coma un po branco:  $\text{HBO}_2$ .

A realidade histórica é que hai moitísimos boratos (sales dos ácidos bóricos) nos que coexisten estruturas nas que o “B” está tri ou tetracoordenado por átomos de osíxeno, e todas esas estruturas xunguidas entre si por enlaces B-O-B de diferentes lonxitudes e distintos ángulos de enlace. Todos eses boratos se coñecían na antigüidade, e por suposto hai 100 anos, como bórax.

O bórax podía producir ácido ou ácidos bóricos, e mesmo o seu óxido, en función do pH e da temperatura; de modo que unha transición podería exemplificarse como:



Moitos de cantos traballastes no laboratorio, nas prácticas con nós, sabedes da dificultade de obter o boro puro e cristalino por un método pirometalúrxico; pero todos tivestes a oportunidade de ver boro microcristalino. Unha maneira semellante, pero máis rudimentaria, foi empregada por Thenard e Gay-Lussac para preparar o boro.

Todo o anterior ven a conto porque, cando esteades a ler este artigo, estaremos a celebrar o bicentenario do descubrimento deste elemento: un auténtico “xano” (o deus bifronte) da química:

- É metal ou non metal? Metaloide?

- Forma sales, haluros e óxidos; mais, como é o seu carácter? Metálico?

- Como son os boruros? Son sales coma os haluros, teñen carácter non metálico?
- Que son os boranos? Compórtanse como os alcanos? A que se debe a súa estrutura?
- Que son e como se comportan os carboranos? Que son os ácidos borónicos?
- A que se debe a actividade catalítica de moitos dos compostos de boro?

Como vedes moitas e moitas máis preguntas nos pode orixinar o estudo da química do boro.

Coidamos que pagaba a pena comezar este artigo lembrando o bicentenario de tan singular elemento e animando a cantos queirades saber máis sobre el, a que volvades ás nosas clases da facultade ou, como contraoferta, que leades máis química deste singular elemento.

Todo isto ven a conto porque un dos elementos que Mendeleev predí no seu sistema periódico é o eka-boro. Velaquí as circunstancias da química que xuntan nun mesmo ano aos descubridores do boro e a un dos obxectos do noso artigo, Mendeleev. Por certo, que din que a afección de Dimitri pola química procede das súas frecuentes visitas ás industrias de vidro da súa familia e, tal vez, do feito de preguntarse por como tiñan lugar as transformacións dos silicatos e dos boratos no vidro.



*Retrato de Dimitri Mendeleev*

Mais vaiamos por partes ata chegar á gran contribución de Dimitri Mendeleev, a súa lei de periodicidade química, explicitada no que hoxe chamamos o sistema periódico dos elementos químicos e, tamén, a táboa periódica de Mendeleev.

## 2. A TÁBOA PERIÓDICA DE MENDELEEV

Cómpre lembrar que Mendeleev chamou á súa ordenación dos elementos químicos: Táboa periódica dos elementos químicos. *Periódica*, querendo sinalar que atopara unha periodicidade entre todos os elementos coñecidos que lle ía permitir a súa ordenación. Seguindo as verbas do propio Dimitri:

*“Nun sonho vin unha táboa na que todos os elementos encaixaban no seu lugar. Cando espertei tomei nota nun papel”.*

Dimitri publica a súa táboa para dar conta da lei de periodicidade dos elementos e dos seus pesos atómicos. Na Táboa 1 vese na súa esquerda como os elementos se van ordenado en columnas, de arriba a abaixo, seguindo os seus pesos atómicos (Be, B, C, N, O, F, Na, ...). As filas horizontais ordenan os elementos en grupos con propiedades similares (Li, Na, K, Rb, Cs).



### 3. AS PREDICCIÓNS DE ELEMENTOS QUÍMICOS NA HISTORIA DA CIENCIA

Mendeleev non foi o primeiro científico con capacidade predictiva sobre a posible existencia de elementos químicos aínda non descubertos: Newland adiantóuselle.

No ano 1864 Newland foi quen de predicir a existencia dun “esquecido elemento”, situado entre o silicio e o estaño, para o que propuxo un valor do seu peso atómico de 73. Dito elemento sería chamado xermanio por Winkler no ano 1886 e o valor actual do seu peso atómico é de 72.59.

Newland empecinouse na formulación de triadas, semellantes á sinalada de Si, Xe e Sn; mais o seu método manifestouse en pouco tempo inviable. Non se coñecía e hoxe podemos dicir que non pode existir ningún elemento entre rodio e iridio ou entre paladio e platino; como Newland predicía. Logo o seu método predictivo era falso. Funcionou co xermanio e máis nada. Máis adiante estableceu a súa famosa lei das “oitavas” facendo referencia á escala musical.

Mendeleev fixo as súas importantes predicións nos seus famosos artigos publicados entre os anos 1869-1871. Lido dende o coñecemento de hoxe, na súa táboa periódica faltaban 29 elementos. Dimitri non podía saber da existencia dos gases nobres (nin os coñecía nin lle cumprían na súa táboa periódica) e non podía saber cantos eran os elementos lantánidos (coñecía o lantano e o cerio, pero ata o período 1879-1907 non foi posible separar inequivocamente toda a serie lantánida); con todo, foi quen de predicir a existencia de 10! novos elementos químicos. A súa fe, a súa clarividencia, a potencialidade do seu método predictivo permanece incompreensible mesmo para o coñecemento de hoxe. As súas predicións son un descubrimento monumental, dado o estado da cuestión da táboa periódica, na altura de 1869. Hai 140 anos!

Seleccionaremos algún dos elementos preditos por Mendeleev para comprender canto estamos a dicir.

#### Predicións

O 1 de marzo de 1869 publicou o seu famosísimo artigo coa súa lei periódica ou *profecías de Mendeleev?*, co título de “As propiedades dos elementos son unha función periódica dos seus pesos atómicos”. Coñecíanse nese tempo 63 elementos químicos e Mendeleev publicou diversas táboas periódicas, a primeira e máis coñecida recóllese na táboa 1.

Dimitri non soamente elaborou unha táboa periódica que aínda hoxe se sigue a utilizar, senón que foi modificando e mellorando as súas diversas táboas chegando a predicir a futura existencia de moitos elementos. Mendeleev foi quen de predicir a existencia de 10 novos elementos, hoxe perfectamente identificados (Sc, Ga, Ge, Tc, Re, Po, Fr, Ra, Ac e Pa).

Para comprender a grandeza do descubrimento de Dimitri Mendeleev, sinalemos que na táboa de 63 elementos, que abrangúa dende o hidróxeno ata o uranio (con número atómico 92) faltaban 29 elementos. Como xa indicamos Dimitri sinalou a necesaria existencia de 10 novos, insistimos en que non podía pensar na existencia dos gases nobres e, tampouco, era quen de decidir cantos serían os elementos hoxe chamados lantánidos, ao non saber como nin onde colocalos no sistema periódico. Aínda descoñecía a química precisa para poder encher eses espazos. Teríamos que agardar ata comprender que a lei de periodicidade non a define o peso atómico, senón que a goberna o número atómico. Mais para elo teríamos que descubrir como estaban constituídos os átomos e que era o número atómico; Moseley, 44 anos despois, pecharía o proceso completando as predicións de elementos químicos aínda inexistentes no sistema periódico.

## Erros subsanados por Mendeleev na súa táboa como auténticas predicións

É ben sabido que Mendeleev publicou a súa primeira táboa periódica no ano 1869, nun traballo enviado á Sociedade Química de Rusia, e que ía ser defendido en público no mes de marzo. Na realidade o traballo titulado “Sobre a relación entre as propiedades dos elementos químicos e os seus pesos atómicos” non puido ser defendido por Dimitri, que se atopaba enfermo, e foi lido e mal explicado polo seu amigo Nicolai Menshutkin. Este traballo pasou desapercibido a pesares de ser tamén publicado no *Zeitschrift für Chemie* do mesmo ano. Será o traballo publicado no ano 1871, titulado “O sistema natural dos elementos”, no que publica a súa segunda táboa periódica, o que o ha lanzar cara a consideración científica universal; mais tamén para colocalo no ollo do furacán dos ataques de todos cantos non cren na súa fe de visionario.

No seu primeiro traballo, e mais no segundo e definitivo, hase amosar coma un mago descendente dos antigos alquimistas cunha fe total nas súas ideas e lanzando unha xeira de predicións auténticamente inauditas para o coñecemento químico do seu tempo.

Non é este artigo o lugar para explicar como chega a idear e planificar a súa táboa periódica, pero si interesa afondar na súa fe de visionario: retocando e recalculando pesos atómicos; recolocando os elementos no seu grupo (por mor do seu comportamento químico); deixando ocios para seren ocupados por elementos aínda non coñecidos, ...

Antes de analizar e explicar a grandeza das predicións de Dimitri cómpre presentar algúns dos erros presentes nas súas primeiras táboas para, así, poder comprender os posibles motivos dos ataques dos seus moitos detractores.

1. Na familia do titanio fai a predición dun novo elemento descoñecido con peso atómico 180. Na segunda táboa di que ese elemento debe ser o lantano (descuberto por Mosander no ano 1838) pero que ten de peso atómico 139. Hoxe sábese que ese era o lugar do hafnio, descuberto en 1923.
2. O rodio está descolocado, pero na segunda táboa di que o lugar dese elemento será o do eka-manganeso (o tecnecio).
3. Na última das columnas (ver Táboa 1) están descolocados a maioría dos elementos, particularmente os da mena do platino; pero tamén o mercurio, o ouro e o talio. Refaí un chisco a súa colocación na táboa do ano 1871 colocándoos nun grupo VIII.
4. O uranio está tamén descolocado e con símbolo incorrecto. Non só o coloca no grupo do boro, senón que lle asigna un valor do seu peso atómico incorrecto, pero que non cuestiona. Na súa seguinte táboa recalcula o peso, asigna un valor correcto, e recolócao no grupo máis axeitado para o coñecemento do tempo.
5. Os elementos químicos colocados nas 4 últimas filas están colocados ao chou. Algúns deles pertencen ao grupo das chamadas terras raras (lantánidos), que eran mal coñecidos, con pesos atómicos mal calculados e, consecuentemente, serios problemas para ubicalos correctamente na súa táboa. O indio e o torio son tamén colocados nese grupo. O indio será reubicado no grupo do boro cando recalcula o seu peso atómico, dos 75,6 iniciais aos 113 que lle correspondían. Na táboa de 1871, con novos coñecementos, Mendeleev reubica este elemento con moito máis tino. Todos van ao grupo III, do boro, e cerio e torio van ao grupo IV, do carbono: como se ve, con moito máis siso na súa colocación.

Os acertos de Mendeleev, na súa ordenación periódica dos elementos, van moito máis alá dos seus erros. As predicións, e o asalto á gloria, serán analizadas seguidamente, pero cómpre facer algunha precisión máis sobre a gran intuición de Dimitri:

1. Na súa táboa non sabía onde colocar o berilio. O seu peso atómico era no tempo, 14; logo cumpría colocalo nun grupo entre o carbono e o nitróxeno, mais non había sitio. Dimitri pensou que ese valor debía ser erróneo e recalculouno dándolle un valor de 9: podía colocalo onde o magnesio co que era moito máis afín. Como chegou a esta solución?. Foi serendipia, intuición...?. Non, foi traballo, coñecemento e fe na súa lei de periodicidade. O peso atómico calculábase pola expresión  $P.at. = P.equivalente \times valencia$ .

O berilio tiña 4,6 de peso equivalente e como se comportaba coma o aluminio asinóuselle erroneamente valencia 3; logo  $P.at. = 4,6 \times 3 = 13,8$ . Dimitri supuxo que a valencia era 2, logo  $P.at. = 4,6 \times 2 = 9,2$ . Perfecto!.

2. Estudou o telurio e viu que o seu peso atómico era de 12, e supuxo tamén que había ser incorrecto. Se fora 123-126, podería colocalo no grupo do O, S e Se, cos que tiña moito parecido. Deste xeito alternou a posición de telurio e iodo; non atendendo exclusivamente ao seu peso atómico e si tendo en consideración, tamén, as súas propiedades químicas.
3. O caso xa citado do uranio é un exemplo de erro que logo conduce a un acerto no recálculo do seu peso atómico, e a súa reubicación na táboa.
4. Por último, o seu gran e transcendental acerto: deixar “ocós”, na súa táboa primeira, para os elementos que, polo momento, non se coñecían.

Sinalamos antes de nada que o mérito de Dimitri non está na ordenación dos elementos coñecidos, nin sequera na súa lei de periodicidade: radica na súa fe na lei de periodicidade.

## Profecías

Esta fe nas súas ideas imbuíuno dun espírito profético de modo que, sen ningún tipo de fundamento químico existente no seu tempo, levouno a facer un feixe de xeneralizacións que, co tempo, resultaron ser certas.

Estas xeneralizacións foron o resultado dos oito principios que, a modo de conclusión, redactou no seu famoso artigo de marzo de 1869.

Algunhas xeneralizacións que cómpre sinalar foron:

- As propiedades físicas e químicas dos elementos pódense deducir da súa posición na táboa periódica.
- Algúns pesos atómicos dos elementos están mal calculados e cómpre recalcalos. Esta afirmación profética fíxoa por mor de que algúns elementos químicos coñecidos (Y, In, Dy, Ce, Er, La, Th, U) non atopaban posición axeitada na súa táboa. Dimitri púxolles (?) a algúns deles e a outros colocounos mal na primeira táboa para logo reubicalos.

Mendeleev e outros científicos dedicáronse a recalcar os pesos atómicos e comprobaron o profético da súa afirmación. O tempo, na forma de correcto coñecemento químico, veulle dar de novo a razón sobre a ubicación que fixo dos elementos químicos:

- Deixou ocós na táboa e afirmou que axiña serían descubertos novos elementos que irían ocupar esas posicións.
- Colocou axeitadamente o Te e o I. A pesares das alteracións nos pesos atómicos ( $I = 127$  e  $Te = 128$ ) e téndose recalcalos os pesos atómicos moitas veces; Mendeleev colocounos correctamente indo en contra da súa lei de periodicidade.

Poderíamos indicar algunha outra xeneralización, mais abonda coas indicadas para comprendermos o seu espírito profético e, visto dende o coñecemento de hoxe, o seu enorme

acerto. Mais que pasou no seu tempo?. As chanzas que se facían sobre as ideas e as profecías, como se lles chamaba ás súas afirmacións, son doadas de entender.

Dicíase que “nada bo podía vir dun país onde a química non existía e nin sequera tiñan libros da materia”. Argumentábase que “como se ía crer na palabra dun descoñecido que non tiña feito nada de química”.

Mais na medida que medraba o desprezo internacional máis se afianzaba Dimitri nas súas ideas e máis fe ía tendo nas súas xeneralizacións. Esta fe levouno a realizar as súas famosas predicións sobre algúns dos elementos que debían ocupar os ocos. Ao longo dos anos 1870-71 e 72 foi publicando, baseándose nas xeneralizacións do artigo de 1869, as súas extraordinarias predicións sobre os elementos Escandio, Galio e Xermanio. As chanzas ían en aumento pero ao final, no ano 1875, a súa fe tivo os seus froitos.

Con mentalidade de hoxe é absolutamente imposible comprender as súas predicións partindo dos datos que Mendeleev tiña. Só contaba coa súa fe, as súas profecías e enormes doses de *precuencia*: non lle cumpría máis.

Velaí como foi realizando as súas predicións.

### 3. AS XENIAIS PREDICCIÓNS

#### A) EKA-ALUMINIO: GALIO

Mendeleev fixo a proposta da existencia do eka-aluminio no ano 1870 e, no ano 1871, publicou as súas propiedades (ver Táboa 2).

O elemento con  $Z=31$  foi descuberto no ano 1875 por Lecoq de Boisbaudran por medio dun espectroscopio. O traballo de Boisbaudran foi longo e tedioso: tiña unha propia teoría, hoxe descoñecida, para atopar o elemento chamado eka-aluminio. A fe na súa teoría levouno á busca deste elemento por varios anos. Os primeiros indicios de atoparse na presenza dun novo elemento químico os tivo analizando o espectro de chama dunha mostra que contiña cinc: observou dúas novas liñas de cor violeta. En palabras de Boisbaudran:

*“Hai dúas noites, o 24 de agosto de 1875, entre as 3 e as 4 da madrugada, descubrín un novo elemento nunha mostra de sulfuro de cinc procedente da mina Pierrefitte dos Pirineos”.*

Partindo de varios centos de kilos desa blenda cinc moi impura, foi quen de illar 1g dun novo elemento metálico. O novo elemento illado foi nomeado Gallio (do latín Gallia, o nome de Francia en latín; ou tal vez do seu apelido Le Coq?).



Paul E. Lecoq de Boisbaudran



Predicións de Mendeleev (1871) para eka-aluminio, M		Propiedades observadas (1877) para o Galio (descuberto en 1875)	
Peso atómico	≈ 68	Peso atómico	69,72
Densidade ( $\text{g}\times\text{cm}^{-3}$ )	5,9	Densidade ( $\text{g}\times\text{cm}^{-3}$ )	5,904
Volume molar ( $\text{cm}^3\times\text{mol}^{-1}$ )	11,5	Volume molar ( $\text{cm}^3\times\text{mol}^{-1}$ )	11,52
$P_f$ (°C)	Baixo (Non volátil)	$P_f$ (°C)	29,78
Valencia	3	Valencia	3
M probablemente descubriuse por análise espectroscópica		O Galio descubriuse por espectroscopia de chama	
M terá un óxido de fórmula $M_2O_3$ con $\rho = 5,5 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ , soluble en ácidos para dar $MX_3$		Galio ten un óxido $Ga_2O_3$ , $\rho = 5,88 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ , soluble en ácidos para dar sales do tipo $GaX_3$	
M disolverase lentamente en ácidos e álcalis e será estable ao ar		O Galio metal disólvese lentamente en ácidos e bases e é estable ao ar	
$M(OH)_3$ disolverase tanto en ácidos coma en bases		$Ga(OH)_3$ disólvese tanto en ácidos coma en bases	
Os sales de M tenderán a formar sales básicos; o sulfato debería formar alumes; os $M_2S_3$ débense precipitar con $H_2S$ ou con $(NH_4)_2S$ . O $MCl_3$ anhidro debería ser máis volátil que o $ZnCl_2$		Os sales de Ga rapidamente se hidrolizan e forman sales básicos; son coñecidos os seus alumes; $Ga_2S_3$ pode ser precipitado baixo condicións especiais con $H_2S$ ou $(NH_4)_2S$ ; o $GaCl_3$ é máis volátil que o $ZnCl_2$	

Táboa 2. As predicións do Galio.

A gran similitude entre as propiedades preditas por Dimitri e as reais de hoxe, son tan extraordinarias que de inmediato se aceptou a veracidade da súa lei de periodicidade química. As súas profecías pasaron a ser acertadas predicións na busca de confirmación experimental.

Como unha mostra da fe de Mendeleev no seu método de predición de propiedades, sinalemos o feito de que a densidade calculada experimentalmente por Boisbaudran para o seu elemento foi  $\rho = 4,7 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ ; pero Dimitri retrucoulle que estaba mal calculada, que procedera a revisar os seus cálculos, pois tiña que ser  $5,9 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ .

A seguranza de Dimitri na súa predición era tal que Lecoq, moi obediente, partiu de máis cantidade de mostra, purificouna canto puido e cando repetiu a medida obtivo o valor que Mendeleev dicía: a densidade era  $5,9 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$ .

O éxito acadado por Mendeleev foi fabuloso; pero cumpriu que pasaran algúns anos máis para que se ratificara o éxito: pasaron 10 anos máis!.

## B) EKA-SILICIO: XERMANIO

Indicamos xa como este elemento con número atómico 32 foi predito por Newlands, no ano 1864, e posteriormente por Mendeleev no ano 1871.

Tardáronse 15 longos anos ata que Winkler, analizando un novo mineral chamado Arexyrodita ( $4\text{Ag}_2\text{S}\times\text{GeS}_2$ ) foi quen de illar e identificar un novo elemento químico que chamou Xermanio (derivado de Xermania, o nome latino de Alemaña).

Na Táboa 3 recóllese a correspondencia entre as predicións realizadas por Mendeleev no ano 1871 e as propiedades recoñecidas no ano 1977 (100 anos despois!).

Hoxe sorprende a enorme similitude existente entre os valores reais e os atopados, pero a “Historia” ten máis historias.

Cando Winkler preparou o elemento con  $Z = 32$  pensou que era un metaloide semellante ao arsénico e ao antimonio e que, Mendeleev, debía cambiarlle o nome polo de eka-stibium, e aparecería colocado no S.P. entre o antimonio e o bismuto xa coñecidos. Dimitri retrucou que non podía ser, que os datos iniciais obtidos por Winkler non eran correctos; pero quedoulle unha dúbida de que puidera ser un “eka-cadmio” [este elemento fora incorrectamente proposto por Mendeleev pensando que era un descoñecido elemento entre o cadmio ( $Z = 48$ ) e o mercurio ( $Z = 80$ ), un lantánido!]; a súa fe era moi elevada e mantívose na idea do eka-silicio como verdadeiro elemento. H. T. von Richter e Lothar Meyer comprobaron a corrección das ideas de Dimitri.

A transcendencia desta achega foi total: por vez primeira tíñase a comprobación experimental da validez da lei de periodicidade. Este descubrimento fixo que todos esqueceran o erro inicial de Winkler e se colocara a Mendeleev como unha das figuras máis sobranceiras da Química. Remataron as chanzas e chegaron os honores para Dimitri.



Winkler



Predicións de Mendeleev (1871) para eka-silicio, M		Propiedades observadas (1977) para o Xermanio (descuberto en 1876)	
Peso atómico	72	Peso atómico	72,59
Densidade ( $\text{g}\times\text{cm}^{-3}$ )	5,5	Densidade ( $\text{g}\times\text{cm}^{-3}$ )	5,35
Volumen molar ( $\text{cm}^3\times\text{mol}^{-1}$ )	13,1	Volumen molar ( $\text{cm}^3\times\text{mol}^{-1}$ )	13,57
$P_f$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Alto	$P_f$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	947
Calor específico ( $\text{J}\times\text{g}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ )	0,305	Calor específico ( $\text{J}\times\text{g}^{-1}\times\text{K}^{-1}$ )	0,309
Valencia	4	Valencia	4
Cor	Gris escura	Cor	Gris clara
M obtense do $\text{MO}_2$ ou do $\text{K}_2\text{MF}_6$ por reacción con Na		M obtívose do $\text{K}_2\text{GeF}_6$ reducíndoo con Na	
M, cando se quente, formará $\text{MO}_2$ que terá alto $P_f$ e $\rho = 4,7 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$		Ge reacciona con $\text{O}_2$ para dar $\text{GeO}_2$ con $P_f = 1086 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\rho = 4,228 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$	
M será atacado lixeiramente por ácidos como HCl e resistirá os álcalis como NaOH		Ge non se dissolve nin en HCl nin en NaOH diluído, pero reacciona con $\text{HNO}_3$ concentrado e quente	
M dará $\text{MO}_2$ hidratado soluble en ácido, que é doadamente reprecipitado		“ $\text{Ge}(\text{OH})_4$ ” disólvese en ácido concentrado e reprecipita por dilución ou adición de base	
$\text{MS}_2$ será insoluble na auga, pero soluble en sulfuro amónico		$\text{GeS}_2$ é insoluble en auga ou ácido diluídos, pero rapidamente soluble en sulfuro amónico	
$\text{MCl}_4$ será un líquido volátil con $P_{\text{eb}}$ algo por debaixo de $100^{\circ}\text{C}$ e con $\rho = 1,9 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$		$\text{GeCl}_4$ é un líquido volátil con $P_{\text{eb}} = 84 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $\rho = 1,8443 \text{ g}\times\text{cm}^{-3}$	
M formará $\text{MH}_4$ con $P_{\text{eb}} = 160^{\circ}\text{C}$		$\text{GeH}_4$ ten $P_{\text{eb}} = 185^{\circ}\text{C}$	

Táboa 3. As predicións do Xermanio.

### C) EKA-BORO: ESCANDIO

O derradeiro elemento dos preditos completamente por Mendeleev foi o eka-boro. Mendeleev predicía as propiedades físicas e químicas do eka-boro no ano 1871; pero o descubrimento e, sobre todo, o recoñecemento das propiedades deste elemento tardaron moito tempo en coñecerse. O Escandio foi illado no ano 1879. Nese momento xa non cumpría volver a comprobar a validez dos postulados da *Lei de Periodicidade Química*. Xa era aceptada por toda a comunidade científica.

Na primeira táboa periódica publicada por Mendeleev o 6 de marzo de 1869 Dimitri escribe, debaixo do Co = 40, ? = 45. O peso atómico do escandio é 44,6 e aínda cando poidan existir dúbidas sobre Si, nese momento, Mendeleev estaba pensando no escandio, pouco tempo despois, nas seguintes táboas, si que non quedaba dúbida de que está a falar do elemento que se había descubrir anos despois.



Lars Fredrick Nilson



Predicións de Mendeleev (1871) para eka-boro, M		Propiedades observadas (1977) para o Escandio (descuberto en 1879)	
Peso atómico	≈ 45,0	Peso atómico	44,95
Densidade (g×cm <sup>-3</sup> )	3,9	Densidade (g×cm <sup>-3</sup> )	3,90
Volumen molar (cm <sup>3</sup> ×mol <sup>-1</sup> )	15,0	Volumen molar (cm <sup>3</sup> ×mol <sup>-1</sup> )	15,041
P <sub>f</sub> (°C)	Alto	P <sub>f</sub> (°C)	1541
Calor específico (J×g <sup>-1</sup> ×K <sup>-1</sup> )	2,95	Calor específico (J×g <sup>-1</sup> ×K <sup>-1</sup> )	2,98
Valencia	3	Valencia	3
Cor	Metálica	Cor	Gris metálica
M terá un óxido de fórmula M <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Escandio forma un óxido branco Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
M <sub>2</sub> O <sub>3</sub> disolverase en ácidos para dar sales MA <sub>3</sub>		Sc <sub>2</sub> O <sub>3</sub> disólvese nos ácidos para dar lugar á formación das súas sales ScA <sub>3</sub>	
Os sales de M serán sales básicas		Os sales ScA <sub>3</sub> disólvense, con hidrólise, dando lugar a formación de hidroxos e especies polimerizadas	

Táboa 4. As predicións do Escandio.

Este elemento atópase nas menas escandinavas como a ceria e a itria; pero en tan escasas cantidades que a súa separación se fixo moi dificultosa. No ano 1879 o sueco L. F. Nielsen foi quen de conseguir separar un óxido, dentro da terra chamada iterbia, que identificou como un novo óxido (a terra chamada escandia). Neste óxido identificou, malamente, un novo elemento metálico ao que chamou escandio, en loubanza da península escandinava. Pouco tempo despois, o sueco P. T. Cleve, logo de preparar máis metal puro, comprobou que as súas propiedades tanto físicas como químicas, coincidían co chamado por Mendeleev eka-boro.

Mais a historia non remata aquí, dado que este metal non era doado de obter e as súas propiedades non eran ben coñecidas. Ata o ano 1937 non foi posible realizar a preparación pura deste metal. O metal está ben representado na codia terrestre, pero moi espallado en menas con baixa concentración e acompañado de moitos metais, o que dificulta extraordinariamente a súa beneficiación. As menas máis importantes son: a xenotima, un fosfato de lantánidos; a gadolinita, un silicato de lantánidos; e a euxenita, un óxido mixto de metais moi variados.

A beneficiación do escandio implica un amplo e variado proceso de concentración da mena e posterior transformación en óxidos para, finalmente, realizar a redución pirometalúrxica con calcio, magnesio ou aluminio. Mais en todos os casos se obteñen aliaxes metálicas que cómpre separar. Ata que non se perfeccionou a técnica dos procesos pirometalúrxicos non foi posible obter o escandio con gran pureza. Na actualidade esta técnica implica a obtención de haluros do tipo MX<sub>n</sub>, o escandio como ScCl<sub>3</sub>, separalos por destilación fraccionada e, logo, reducilos electroliticamente con sodio.

Ata a década dos sesenta do século pasado non foi posible preparar algúns quilos de escandio con pureza superior ao 99 %.

Cando se preparou o escandio puro púidose comprobar unha vez máis a precisión das predicións realizadas por Mendeleev case 100 anos antes.

Estudamos só as predicións máis significativas das realizadas por Mendeleev; pero chegou a predicir como xa indicamos 10 novos elementos.

O eka-manganeso colocado debaixo do manganeso no lugar que hoxe ocupa o tecnecio ( $Z = 43$ ), elemento sintético como indica o seu nome. Foi preparado no ano 1936 polo físico italiano E. G. Segré.

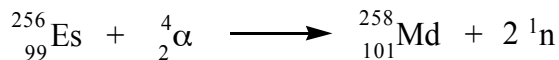
O div-manganeso colocado dous lugares por debaixo do manganeso. Hoxe chamámoslle renio polos seus descubridores, os xermanos Tacke, Nodack e Berg. O primeiro en preparar este elemento foi un xaponés, Ogawa; mais logo de atinar no máis complicado (a súa beneficiación) errou no máis doado (confundiuno co Ta, pensando que era el).

O eka-cesio foi predito por Mendeleev, no ano 1871, coma un metal dos alcalinos. Tardáronse 70 anos en descubri-lo. Foi un metal dos alcalinos. Foi a francesa M. Perey quen no ano 1939 o descubriu.

Os elementos hoxe chamados polonio, radio, actinio e protoactinio estaban sinalados na táboa periódica de Mendeleev, mais tardáronse moitos anos en descubrirse.

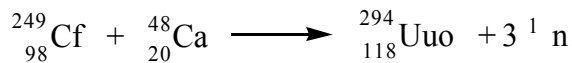
## CODA

No ano 1955 obtívose, de forma artificial, un elemento con  $Z = 101$  polo equipo dirixido por A. Ghiorso en Berkeley. Este novo elemento preparouse bombardeando átomos de Einsteinio-256 con ións helio (partículas  $\alpha$ ).



O novo elemento chamouse Mendelevio (Md) para inmortalizar a un dos máis grandes traballadores sobre o sistema periódico.

En agosto do ano 2006 deuse conta da preparación de 3 novos átomos do elemento con  $Z = 118$ . O experimento realizado en Dubna (Rusia) e Berkeley (USA) consistiu en bombardear átomos de californio-249 cun feixe de átomos de calcio-48, segundo o proceso:



¿Ata cando continuaremos a encher a táboa periódica que Mendeleev construíu? ¿Terá fin esa táboa?

Quen isto ledes tedes as ferramentas e a instrución precisa para atopar respostas a esas preguntas e, sen dúbida, prantexarédesvos moitas outras interesantes e novas cuestións que seguirán a ensanchar o S.P. con elementos de número cuántico principal  $n=8$ .

**BIBLIOGRAFÍA**

1. M. Amorim da Costa. Boletín da Sociedade Portuguesa de Química, nº 107, páx. 25, **2007**.
2. E. Aragón de la Cruz. "Historia de la Química". Ed. Síntesis, Madrid, **2004**.
3. J. A. Babor e J. Ibarz. "Química General Moderna". Ed. Marín S.A, 6ª Edición. Barcelona, 1958.
4. a) M. R. Bermejo, A. M. González-Noya, M. Vázquez. "O nome e o símbolo dos elementos químicos", ed. Xunta de Galicia, Secretaría Xeral de Política Lingüística, Centro Ramón Piñeiro para a Investigación en Humanidades, Santiago de Compostela, **2006**; b) M. R. Bermejo, A. M. González-Noya, M. Vázquez. "El nombre y el símbolo de los elementos químicos". Ed. Síntesis, Madrid, **2008**.
5. J. R. Partington. "A History of Chemistry", vol. 4, Ed. The McMillan Press Ltd., Londres, **1972**.
6. P. Roman. "Mendeleev, el profeta del orden químico". Ed. Nivola, 2ª Ed., Madrid, **2002**.
7. E. R. Scerri. "The periodic table: its story and its significance". Ed. Oxford University Press, Londres, **1972**.
8. M. Serres. "Historia de las Ciencias". Ed. Cátedra, Madrid, **1991**.
9. C. Solans. "Dimitry Ivanovich Mendeleev: su vida. El descubrimiento de la Tabla Periódica". Química e Industria, páx. 751, **1997**.
10. P. Strathern. "El sueño de Mendeleev, de la alquimia a la química". Siglo veintiuno de España Editores, Madrid, **2000**.
11. D. I. Mendeleev. "The principles of chemistry". London. Longmans, Green, **1891**.
12. J. A. R. Newlands. *Chem. News.*, **1865**, 12, 83.
13. L. Victory. "La Relació entre les propietats dels elements I llur pes atómic". Classics de la Química 2. Societat Catalana de Química, **2005**.
14. N.N. Greenwood and A. Earnshaw. "Chemistry of the Elements". Pergamon Press Oxford, **1984**.