

# A TÁBOA PERIÓDICA, MÁIS QUE QUÍMICA

**CID MANZANO, RAMÓN**

*IES de Sar (Santiago de Compostela)*

*Departamento de Didácticas Aplicadas (USC)*

*Para min tamén, a Táboa Periódica era unha paixón. ... Cando era neno, permanecía de pé fronte a ela durante horas, pensando no marabilloso que era que cada unha desas láminas de metal e frascos de gas tivesen a súa propia personalidade.*

Freeman Dyson<sup>1</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN<sup>2</sup>

Como todos sabemos, e así se ten posto de manifesto este Ano Internacional da Táboa Periódica, a carta dos elementos químicos é moito máis ca Química. As posibilidades didácticas que se poden atopar a partir dela son innumerables, e deben permitir a creación na aula da necesaria conexión entre as "frías" columnas e filas desa táboa e o excitante e apaixonante escenario humano que estivo detrás da súa construción.

Neste artigo preséntanse algúns feitos vencellados ao descubrimento, síntese e clasificación dos elementos químicos, coa intención de que o lector ou lectora que os descoñeza poda coñecelos e utilízalos na aula. Achegaremos así esa extraordinaria concreción científica a un alumnado que na maioría síntese alleo a ela, diante de nomes e símbolos que lles parecen moi afastadas da súa

---

<sup>1</sup> Freeman John Dyson é un físico teórico e matemático, nacido en 1923 en Inglaterra e con nacionalidade norteamericana. Na actualidade é profesor emérito en Princeton. É coñecido polas súas contribucións en electrodinámica cuántica, física do estado sólido, astrofísica e enxeñaría nuclear.

<sup>2</sup> Parte das reflexións que se fan nesta Introducción e no apartado final están baseadas nas presentadas no artigo: Cid R., (2018). A beleza como motor da construción da Física." *Boletín das Ciencias*. Ano XXXI, nº 85. pp 27-49. ENCIGA. Santiago, 2018.

realidade e intereses. Abórdanse soamente algúns deses casos, seleccionados con o único criterio de ser considerados de especial valor divulgativo por quen isto escribe, e estando seguro de que no resto destas páxinas aparecerán outros moitos recursos que completarán esta intencionalidade didáctica.

Einstein dicía que a alegría de ver e entender é o máis perfecto don da natureza, pero como afirmaba Schrödinger, é extraordinario que, a pesar da perturbadora complexidade do universo, poidamos descubrir certas regularidades nos fenómenos naturais. Un exemplo, indicado nesta liña por Eugene Wigner<sup>3</sup>, é a regularidade descuberta por Galileo de que dúas pedras, deixadas caer simultaneamente, cheguen ao chan ao mesmo tempo. E non importa o lugar da Terra onde se leve a cabo, da forma, tamaño e constitución das pedras, ou da época do ano en que se faga. Pode que alguén, lendo isto un tanto distraído, poida pensar que estamos ante un exemplo ben comprendido hai séculos e, porén, tivo que ser a Relatividade Xeral a que establecese de xeito definitivo esta “*aparente casualidade*”.

Volvendo a Schrödinger<sup>4</sup>, non é en absoluto “natural” que existan leis da natureza, e moito menos que sexamos quen de descubrilas. En efecto, parece un auténtico milagre que se poidan unir no mesmo cadro de reflexión aspectos da natureza tan distantes como as leis universais que gobernan os constituíntes últimos da materia, e aquelas, por exemplo, que están detrás da evolución dos seres vivos, e o desenvolvemento das súas habilidades.

Murray Gell-Mann<sup>5</sup> sinala a este respecto como o comportamento mecanocuántico das partículas elementais – como os electróns, os quarks ou os fotóns– e a evolución física do universo, dirixida por esas leis cuánticas, foron producindo obxectos particulares espraiaados por todo el: os átomos; e a partir deles, só foi cuestión de tempo para que xurdiran os grandes obxectos, como o noso propio planeta, e despois, a través de procesos como a evolución biolóxica na Terra, esas mesmas leis deron lugar a entidades particulares como un colibrí ou un elefante, capaces de se adaptaren e aprenderen. Por último, apareceron outros obxectos particulares, os seres humanos, capaces de desenvolver a linguaxe e a civilización, e de descubrir esas mesmas leis físicas fundamentais e, tamén, o comportamento periódico dos átomos: a Táboa Periódica.

Esta clasificación, que reduce a inconmensurable variedade química que nos rodea a, algo máis, dun centenar de tipos diferentes de átomos, forma parte desa alegría de ver e entender, á que se refería Einstein, “*constituíndo o máis perfecto don da natureza*”.

Se a idea de que toda a materia está formado por átomos é o pensamento máis fecundo do ser humano, o sistema periódico dos elementos é a explicitación definitiva desa idea.

## 2. SOBRE AS “TERRAS RARAS”, QUEN NON SAN TAN RARAS.

Coincidirá ó lector ou lectora que se algún grupo é o gran ignorado da Táboa Periódica este é o das Terras Raras, que son mesmo máis descoñecidos que os Actínidos, nos que o Uranio, o Plutonio e o resto dos transuránidos -por diferentes razóns- son máis “famosos” cós que se sitúan xusto enriba deles na representación periódica.

<sup>3</sup> Eugene Wigner (1960). *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences*. Communications in Pure and Applied Mathematics, vol. 13, No. I. John Wiley & Sons, New York Inc.

<sup>4</sup> Erwin Schrödinger (1983). *¿Que es la vida?*. Tusquets Editores, Barcelona.

<sup>5</sup> Murray Gell-Mann (1995). *El quark y el jaguar: aventuras en lo simple y en lo complejo*. Metatemáticas Editorial: Tusquets Editores S.A. Barcelona

A verdade é que os nomes dese grupo non axuda moito a se achegar a eles, pero paga a pena facer un pouco de esforzo para os sacar do anonimato, presentalos como un bo recurso á hora de conectar configuración electrónica e propiedades químicas e utilizar a historia dos seus descubrimentos para desenterrar algúns efímeros elementos que gozaron da gloria de ser tales pero soamente por breve tempo. Isto último verémolo nun apartado posterior.

O primeiro de todo é que o nome de *terras raras* provén do feito de que no século XIX os químicos, chamaban terras ou cales aos óxidos. Na realidade, os metais libres deste grupo foron obtidos moito máis tarde do descubrimento dos seus óxidos.

As terras raras representan o grupo dos lantanoides (elementos de números atómicos comprendidos entre 57 e 71, do Lantano ó Lutecio) ós que se engade, ás veces, por mor do feito das propiedades químicas semellantes, o Itrio (Y) e o Escandio (Sc). As Terras Lantánidas pódense clasificar en: Terras Céricas (Lantano, Cerio, Praseodimio e Neodimio) e Terras Ítricas (as outras terras raras).

A pesares do seu clásico nome, os elementos que constitúen as chamadas terras raras non son tan raros. O máis abundante, o Cerio, esta máis difundido na codia terrestre que o cobre, e o máis escaso, o Tulio, é catro veces máis abundante que a Prata. En total forman unha quinta parte de todos os elementos existentes na natureza. En xeral, a forma na que aparecen na codia terrestre é na de óxidos (e de aí, insistimos, o nome de “terras”).

**Táboa 1.** Os óxidos dos lantanoides e a súa abundancia.

Óxidos dos lantánidos	Fórmula	Abundancia na codia terrestre (en ppm)	Lugar que ocupan entre os elementos
Total óxidos		>180	
Lantano	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	35	28
Cerio	CeO <sub>2</sub>	66	26
Praseodimio	Pr <sub>6</sub> O <sub>11</sub>	9,1	37
Neodimio	Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40	27
Samarario	Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,0	40
Europio	Eu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.1	48
Gadolinio	Gd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.1	41
Terbio	Tb <sub>4</sub> O <sub>7</sub>	1,2	55
Disprosio	Dy <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.0	42
Holmio	Ho <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,3	54
Erbio	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.5	43
Tulio	Tm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5	59
Yterbio	Yb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,1	44
Lutecio	Lu <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,8	58
Itrio	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31	29

O Prometio (Pm), radioactivo (vida media do Pm-147 = 3,7 anos), non existe en estado natural. Aparece como isótopo inestable nos produtos de fisión do Uranio. A súa historia está relacionada co físico italiano Emilio Segré do que falaremos nun apartado específico máis adiante.

No caso do Escandio a abundancia na codia terrestre e moi baixa: dalgunhas ppm a algunhas decenas de ppm, sendo, porén, máis abondoso que os elementos ben coñecidos como: U, Sn, Cs,

As, Mo, W, etc. Por todo iso parece máis axeitado deixar para a anécdota o termo “*terras raras*” e chamarlle *elementos lantanoides*.

Ademais, están moito máis presentes na nosa vida do que parece indicar a “súa ausencia” cando usamos a Táboa Periódica na aula, ou ensinamos a formulación nos cursos de Química na secundaria. Por exemplo, o Cerio (Ce) aínda se utiliza en cremas para as queimaduras, e tamén en catalizadores. O Escandio (Sc) forma parte de aliaxes empregadas para fabricar compoñentes da industria aeroespacial. O Tu (Tm), en equipos de raios X portátiles e láseres de estado sólido. O Europio (Eu) está presente nos billetes de euro para evitar falsificacións, o Gadolinio (Gd) inxéctase aos doentes durante as resonancias magnéticas, nas probas para detectar un cancro, ou o Neodimio (Nd) é o imán en moitos dos auriculares que usamos.<sup>6</sup> Son varias, en fin, as terras raras utilizadas na fabricación de teléfonos móbiles, ordenadores, baterías, imáns e electrodomésticos. En fin, e tal o protagonismo delas na actual alta tecnoloxía que se podería falar dunha *Idade das Terras Raras* coa mesma propiedade que o facemos das Idades de Bronce ou de Ferro (Prego, 2019).

E todo comezou a finais do século XVIII cando, na pequena localidade sueca de Ytterby, foi aberta unha mina para extraer feldespato, mineral necesario na industria cerámica e do vidro. Os estudos químicos dos minerais que se fan atopando deron lugar, durante o século XIX e os primeiros anos do XX, ao descubrimento dos quince elementos que conforman o grupo dos lantanoides, aos que sumamos o Itrio e o Escandio. Dedicaremos a esa poboación sueca un apartado deste artigo pois é, sen dúbida, o lugar xeográfico máis importante, polo número de elementos químicos descubertos, relacionado coa Táboa Periódica.

As principais menas destes metais son: as monacita e a bastnaesita:

Monacita: ortofosfato de terras raras (TR) e de torio, (TR,Th)PO<sub>4</sub>, é o mineral máis abundante. Tamén é o mineral do Torio, sendo, a miúdo un subproduto do tratamento da ilmenita (mineral do Titanio), explotado na area das praias, en Australia, India, Brasil, Malasia... As praias do norte de Galicia –Cedeira, Bares, Cariño- contan con elevadas porcentaxe de monacitas.

Bastnaesita: fluorcarbonato, (TR)FCO<sub>3</sub>, rica en terras céricas e, relativamente, en Europio. Explotado en China e en USA.

Outros minerais que conteñen terras raras son a xenotima (ortofosfato de terras ítricas), a loparita (niobiotitanato de terras raras, sobre todo céricas), minerais fosfatados (cun 1% de terras raras) e arxilas (cun 0,2% de terras raras).

As reservas estimadas, e referidas a óxidos, ascenden a uns 85 millóns de toneladas, principalmente nos minerais de bastnaesita e de monacita, e están situadas en: China 50%, Estados Unidos 15%, Australia 6%, India 3%.

Debemos indicar que esa minería é basicamente a ceo aberto, o que unido a que os procesos químicos de extracción xeran grandes cantidades de contaminantes, dá lugar a problemas medioambientais moi serios e con implicacións importantes nas poboacións. Isto non deixa de ser un paradoxo pois, os lantanoides, son materia prima imprescindible das chamadas “*tecnoloxías verdes*”, xa que están presentes na fabricación de (aeroxeradores, paneis fotovoltaicos, as iluminacións de baixo consumo, os coches eléctricos....). Ademais das cuestións medioambientais, toda esa importancia tecnolóxica que, obviamente se estende ao mundo

<sup>6</sup> O químico galego, investigador do CSIC, Ricardo Prego Reboredo cóntanos isto e moitas cousas máis no seu libro “*Las tierras raras*” (Editorial CSIC-Los libros de la Catarata, Madrid 2019).

militar, provoca que a explotación das terras raras sexa unha fonte de conflitos xeopolíticos entre países e tamén de tensións financeiras<sup>7</sup>. De feito, a crise que durante o ano 2019 apareceu entre China e EEUU tivo a estes elementos como baza na primeira fase do acordo comercial, na que China comprometeuse a comprar a EE UU escandio e itrio, fundamentais en aplicacións de defensa, na aeronáutica e na fabricación de televisores<sup>8</sup>.



**Figura 1.** Serra do Galiñeiro (Imaxe de *El diario.es*)

En Galicia xa citamos as praias do norte en relación a súa relativa abundancia en monacitas, pero é a Serra do Galiñeiro, situado entre Vigo e Gondomar, un dos lugares máis ricos neses elementos da península Ibérica. Esa presenza inflúe nos sedimentos do Miño e da ría de Vigo, sendo os máis abundantes en terras raras e torio da costa galega. Hai anos que hai intereses por parte de empresas estranxeiras na súa explotación, pero esperemos que os problemas medioambientais antes citados sexan un atranco insalvable<sup>9</sup>.

### **Utilización das terras raras non separadas**

Debido que, en xeral, as súas propiedades químicas son moi parecidas, arredor do 75 ó 80 % das terras raras consúmese sen separación. Atópanse, en xeral, baixo a forma de óxidos, hidróxidos, carbonatos, fluoruros, cloruros ou nitratos. Os sales obtéñense xeralmente por ataque ácido e os óxidos obtéñense por calcinación dos sales. A mestura de metais de terras raras, chamada "*mischmetal*", son obtidos por electrólise do sal fundido de terras céricas. A composición da mestura depende do mineral de procedencia ou da mestura de minerais usada. É arredor do 50%

<sup>7</sup> Ver a este respecto: Scherk Serrat A. (2011). Tierras raras: su escasez e implicaciones bursátiles. Observatorio de Divulgación Financiera (Instituto de Estudios Financieros) . Número 7, Marzo 2011. [www.iefweb.org/odf](http://www.iefweb.org/odf)

<sup>8</sup> Ver nova en El País: China y EE UU se enzarzan en una cruenta batalla por las tierras raras (8 de Marzo de 2020)

<sup>9</sup> Tomado de Gracia A. S. (2013). As terras raras: o ouro tecnolóxico. *Cerna* 69, 20-22.

en cerio, 25% en lantano, 17% en Neodimio, e o resto representa os outros lantánidos. A utilización en forma metálica representa sobre o 15% en peso do consumo de terras raras. Así:

*Pedras de chisqueiro*: son un ferrocerio, aliaxe de *mischmetal* con 25 a 30% de ferro. O forte poder reductor das terras raras utilízase nesta aplicación; as terras raras son pirofóricas (as finas partículas arrincadas por abrasión inflámanse ó aire).

*Metalurxia*: utilízase arredor do 25% da produción total de terras raras para desoxidar e desulfurar o aceiro (os metais das terras raras son moi reductores).

*Catálise*: ocupan preto do 40% da produción das terras raras. Por exemplo, xogan o papel esencial nas zeolitas utilizadas como catalizadores no "craqueo" de produtos derivados do petróleo.

### Utilización de terras raras separadas:

De forma individual destacamos o Cerio, pola súa importancia -ocupa case o 25% da utilización dos lantanoides. É un elemento fundamental na industrias do vidro e da cerámica (pulido, decoloración do vidro, axente antiennegrecedor, absorbente de raios UV). Tamén se usa como opacificante dos esmaltes, pigmento vermello, camisas de chisqueiros de gas, ou como aditivo para carburante diésel.

De forma colectiva podemos destacar as seguintes aplicacións:

- Aplicacións ligadas ás súas propiedades ópticas:

As propiedades notables das terras raras neste dominio son debidas á súa estrutura electrónica. Os niveis electrónicos 5p e 5s, saturados, fan de pantalla ós niveis 4f, como unha gaiola de Faraday, o que explica a case insensibilidade do niveis 4f ós efectos do campo cristalino. En consecuencia, as transicións electrónicas,  $f \rightarrow f$ , prodúcense entre niveis discretos, como nun ión libre, e as absorcións ou emisións da luz son case que monocromáticas.

Son utilizadas como luminóforos, substancia que, baixo o efecto dunha excitación exterior, emite luz (fenómeno de luminiscencia). Exemplos:

*Catoluminiscencia*: nos televisores actuais a cor vermella é a base de terras raras.

*Radioluminiscencia*: en pantallas protectoras dos R-X en medicina.

*Fotoalmacenaxe*: algunhas terras raras emiten durante varias horas logo de só 10 minutos de irradiación..

*Fluorescencia*: en lámpadas fluorescentes.

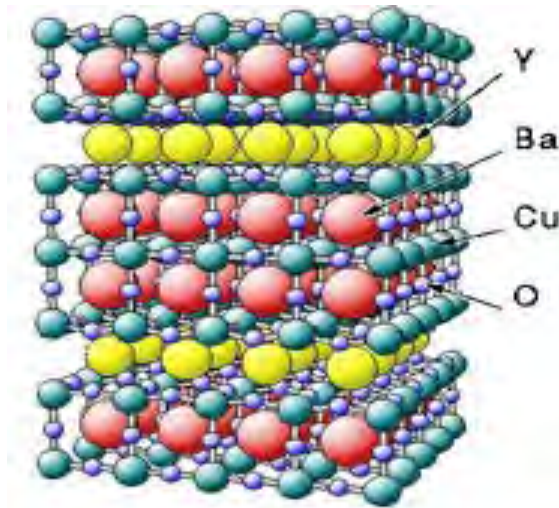
*Láser*: o  $\text{Nd}^{3+}$  e un ión moi utilizado en láseres como é o caso do tipo YAG.

- Aplicacións ligadas ás súas propiedades magnéticas:

As terras raras teñen propiedades magnéticas excepcionais, desgraciadamente, por debaixo da temperatura ambiente. Non obstante a formación de aliaxes con metais como o Co ou o Fe permite acadar dispositivos magnéticos notables a temperaturas de interese. Entre eses sistemas podemos atopar imáns miniaturizados para microaltavoces, cabezas de lectura de discos duros ou xeracións de unidades de rexistro magnetoóptico de alta densidade.

### Outras aplicacións dos lantanoides:

**Superconductores**: Os primeiros superconductores de alta temperatura ( $T_c \cong 110 \text{ K}$ ) foron os YBaCuO. Hoxe hai xa superconductores á temperatura do nitróxeno líquido empregando outros Lantanoides.



**Figura 2.** Estrutura cristalina do YBaCuO (Imaxe de <http://neofronteras.com>)

Metalurxia: o Itrio metal é empregado para mellorar o comportamento do aceiro fronte ós choques térmicos.

Cerámica : o óxido de Itrio utilízase para estabilizar, a altas temperaturas, a forma cúbica do oxido de Circonio. Tamén se usa, o óxido de Itrio, como compoñente dos dispositivos catalíticos dos automóbiles.

Vidro ; os óxidos de terras raras poden colorear vidros: violeta, co 2 ó 6 % de óxido de Neodimio; verde claro, co 2 ó 6 % de óxido de Praseodimio; rosa , co 2 ó 5 % de óxido de Erbio; amarelo claro á laranxa, co  $\text{CeO}_2$  (1 à 3 %) asociado ó  $\text{TiO}_2$  (2 ó 6 %). O óxido de Lantano incrementa o índice de refracción e diminúe a dispersión da luz. Os vidros ó Lantano son universalmente empregados en óptica de precisión, para realizar lentes de microscopios, de telescopios, de obxectivos fotográficos...

### 3. OS DESCUBRIMENTOS FALLIDOS.

Desde 1789 – en que o concepto de elemento químico foi definido- ata 1869, cando Mendeleiev presenta o primeiro sistema periódico, había 36 elementos xenuíños identificados, pero tamén uns 50 que non eran auténticos. Entre 1869 e 1914 outros 23 novos elementos verdadeiros foron descubertos, e uns 140 elementos falsos foron reivindicados, maiormente inspirados no sistema de Mendeleiev. Cando Henry Moseley, Niels Bohr e Frederick Soddy presentan ó comezo do S. XX unha base teórica para a Táboa Periódica, existían aínda varios ocos por ocupar, tales como os de número atómico 43 (Tc), o 61 (Pm), 75 (Re), o 85 (At) e o 87 (Fr). A busca do elemento 72 (o Hafnio, descuberto en 1925), deu lugar previamente a máis identificacións erradas que ningún outro, incluíndo os propostos como asium<sup>10</sup>, celtium, euxenium, jargonium, e oceanium. Despois

<sup>10</sup> No que segue prefírese deixar a terminación “-ium”, e non “-io”, pois moitos deses elementos fallidos que se citan nunca apareceron traducidos ao español ou galego. O mesmo criterio se segue para o nome, respectando o orixinal.

de 1939 aínda houbo novas descubertas falsas con nomes como anodium, cathodium e “big dipperian”<sup>11</sup>.

Moitos deses elementos propostos xurdiron máis da fe científica, a ilusión, a inxenuidade ou o mero optimismo esaxerado dos seus descubridores, pero probablemente non existiron razóns fraudulentas<sup>12</sup>. Houbo casos de científicos “amateurs” que propuxeron nomes como carolinium, jospehinius, rogerium e virginium. Outros, non tan amateurs, como o enxeñeiro e astrofísico Henry Rowland -inventor da rede de difracción- reclamou en 1864 o descubrimento do demonium; Theodor Gross, enxeñeiro de zeppelins, anunciou o bythium en 1897; o experto en metalurxia, Thomas French presentou o canadio; mesmo William Crookes, quen descubrira o Talio, reclamou varios elementos: victorium, monium, ionium e incognitum; en fin, o propio Mendeleiev predicou o coronium e o newtonium.

Ademais dos descubrimentos erróneos houbo tamén atrancos para chegar a identificación definitiva de elementos certos, e en moitos casos foron diferentes os nomes propostos. A Figura 2 dá-nos a oportunidade de intuír o longo camiño ata chegar á consolidación do sistema periódico que hoxe coñecemos. Nela preséntanse

<i>Modern name</i>	<i>Older synonyma</i>	<i>Modern name</i>	<i>Older synonyma</i>
actinium	emanium	radon	nitron
barium	plutonium	samarium	$\gamma_{\beta}$
bromine	muride	tellurium	sylvan
bismuth	demogorgon	terbium	$\gamma$
	glaura		Z, $Z_{\beta}$
cerium	cererium	thulium	denebium
	wasmium		
chlorine	bertollet	titanium	menachine
	halogenium		
		uranium	klaprothium
deuterium	diplogenium	vanadium	erythronium
			panchromium
dysprosium	demonium	wolfram	scheelium
	$Z_{\alpha}$ , $Z_{\gamma}$	holmium	X
europium	sigma	hydrogen	hydrium
gadolinium	$\gamma_{\alpha}$	iodine	ion
germanium	angularium	niobium	columbium
hafnium	celtium		danium
lutetium	cassiopeium		neptunium
magnesium	talcium		tantalum
nitrogen	septon		

**Figura 3.** Algúns exemplos de elementos cos vellos nomes propostos (Tomado de Karpenko(1980)).

Despois deste primeiro achegamento imos cun pouco máis de concreción comezando coa zona máis confusa da táboa periódica, e da que xa falamos antes: as “*terras raras*”. Nomes como *didimio*, *ilmenio*, *neptunio*, *novio* ou *pelopio* estiveron presentes en manuais de Química<sup>13</sup> durante a

<sup>11</sup> “Big Dipper” é o nome en inglés para a Osa Maior.

<sup>12</sup> Tomado de Fontani M., Costa M., e Orna M. V. (2015). The Lost Elements: The Periodic Table's Shadow Side. *Oxford University Press*, 2015.

<sup>13</sup> Ver a este respecto Cid R. (2019). A clasificación dos elementos químicos no ensino da Química no s. XIX na Universidade de Santiago. *Boletín das Ciencias*. Ano 32, 87, 117-128.



segunda metade do S. XIX. Faremos a continuación un percorrido pola historia dos descubrimentos destes elementos que non foron tales, durante o século XIX.

Coa nomenclatura de hoxe, o grupo dos Lantanoideos é o que presenta claramente a maioría dos illamentos que resultaron erróneos. A razón desta situación débese a enorme similitude de comportamento químico entre eles, o que ten que ver coa configuración electrónica que presentan (en particular coa parecida configuración electrónica máis externa, como xa indicou con anterioridade). Esta semellanza química explica que se atopen todos xuntos nos minerais, as dificultades de separación por procedementos químicos usuais, e, xa que logo, a abundancia de descubrimentos falsos. Por exemplo, durante os trinta anos que van de 1878 a 1910 apareceron máis de cen comunicacións sobre supostos descubrimentos de novos elementos das *terras raras*, e soamente dez resultaron certos.

Para que se teña unha idea das dificultades de separación basta indicar que C. James realizou en 1911 case que 15000 recristalizacións par obter pura unha sal de Tulio  $[Tm(BrO_3)_3]$ .

No 1826, Mosander descubriu que o Cerio contiña dous novos elementos. A un denominouno *lantano*, do grego “*xacer escondido*”, e o outro *didimio*, “*dobre ou xemelgo*” en grego, polo seu gran parecido co lantano. Durante moitos anos o didimio, de símbolo Di, foi tomado como un elemento químico, e como tal apareceu en moitos libros de texto e publicacións científicas.

En 1846, Heinrich Rose, R. Hermann e Wolfgang Franz von Kobell analizaron os minerais tantalita e columbita para entender mellor a química do niobio e o tántalo. Deste traballos xurden illamentos de supostos novos elementos que finalmente resultaron mesturas de niobio, tántalo e tamén titanio. Rose descubre en 1846 o *pelopium* (do rei e deus grego Pelops), mentres que Hermann en 1847 anuncia o descubrimento do *ilmenio* (do mineral ilmenita, analizado e bautizado por Mosänder, por terse atopado nas beiras do lago ruso Ilmen). En 1860, Kobell publica o resultado dos seus estudos concluíndo que se trata do *dianio*, en honor á deusa grega Diana.

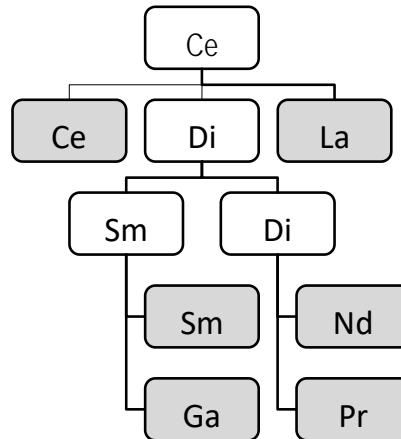
No ano 1878 o espectroscopista francés Marc Delafontaine creu atopar no didimio un novo elemento que denominou *decipio* (do latín “*enganar*”) que co tempo resultou ser unha mestura de elementos, uns xa coñecidos e os outros non. Ademais do *decipio* e o didimio, apareceron outros elementos como: *davio*, *etéreo* e *filipio*.

No 1879 o francés Paul-Émile Lecoq de Boisbaudran desenmascarou o *decipio*. Estudou e purificou o didimio, obtido da samarskita, e illou un novo elemento contido no didimio e que pola súa procedencia denominou *samarario*. O suízo Jean-Charles-Galinard de Marignac, ao purificar o samario, descubriu un novo elemento, a quen Boisbaudran denominou *gadolinio* en honra ao finlandés Johan Gadolin, pioneiro do estudo das *terras raras*. No ano 1885 o austríaco Carl Auer Freiherr von Welsbach informou que dividira o didimio en dous compoñentes. A un deles chamoulle *praseodimio*, pola cor dos seus sales (do grego xemelgo verde). O outro compoñente denominouno *neodimio* (novo xemelgo). Polo tanto, o didimio “descúbrese” en 1826 e durante case que 60 anos permanece como un corpo simple máis. Con razón este elemento nunca deixou de aparecer nos libros de Química do S.XIX A figura 4 ilustra unha parte da historia do Didimio.

A estos nomes hai que engadir outros moitos que tamén resultaron achados fallidos. Este é o caso de o *celtio*, o *damario*, o *demonio*, o *donario*, o *incógnito*, o *cosmio*, o *lucio*, o *masurio*, o *niponio*, o *rusio*, o *nigrío*, o *norvegio*, o *prasadinio* e o *norio*.

Pero non só apareceron “*falsos positivos*” na familia das *terras raras* e nos S. XIX. Xa indicamos antes que cando N. Bohr publicou a súa versión do sistema periódico en 1922, faltaban por descubrir os elementos de número atómico 43, 61, 72, 75, 85 e 87 (que se corresponden co Tc,

Pm, Hf, Re, At e Fr, respectivamente). O último elemento desta serie, o “eka-Cs” tivo varios falsos descubrimentos, a maioría deles debido a que non sabían que se trataba dun elemento radiactivo, o que producía erros nos datos. Neses intentos fallidos recibiu nomes como “russium” (1925), “alcalinium” (1925), “virginium (1930) e moldavium (1937). Habería que agardar ata 1937, cando a francesa Marguerite Perey descubriu definitivamente ese elemento que foi chamado Francio.



**Figura 4.** A secuencia dos descubrimentos dalgúns lantanoides.

Se imos ao penúltimo desta serie, o At, hai unha longa historia de falsos descubrimentos. Por exemplo, Fred C. Allison (1882-1974) e colaboradores do Technological Institute of Alabama reclamaron o illamento do elemento 85 a partir de area de monacita, chamándolle “alabamium”, e mesmo indicaron que prepararan os seus compostos con hidróxeno e osíxeno. Incluso, tan tarde comoo ano 1947 o símbolo deste “elemento”, Ab, aínda aparecía en algúns libros de texto.

Na mesma época, producíronse varios anuncios en relación ao descubrimento do elemento 85, sendo algúns dos nomes propostos e os anos do descubrimento os seguintes: dacinum (1935), helvetium (1936), anglohelvetium (1937), end leptine (1938). Finalmente, en 1940, D. R. Corson, K. R. Mackenzie e E. Segre, of the University of California, produciron este elemento, ao que chamaron Astat (do grego “*inestable*”) bombardeando Bi-209 con partículas alfa.

Como último elemento da serie antes citada traemos agora o elemento 43. Como veremos nun apartado posterior, este elemento foi o primeiro da Táboa Periódica en ser creado (1937) e non descuberto. Porén, houbo moitos “candidatos” previos a ocupar o seu posto. En efecto, foron varios os descubrimentos fallidos: davyum (1877), ilmenium (1877), lucium (1896), nipponium (1908) and masurium (1925).

Remátase este apartado coa relación da táboa 2 (Karpenko, 1980) na que aparecen 136 nomes de elementos, co ano do anuncio, que ao longo duns 150 anos foron propostos, e que acabarían por seren fallidos. Aínda hai uns vinte máis que non se consignan por non chegaren a ter nome no seu momento.

**Táboa 2. Elementos “fallidos” desde finais do S.XVIII a mediados do S.XX (Karpenko, 1980).**

aetherium,1898	donarium,1851	leptine, 1943	proto-glucinum, 1907
agusterde,1800	donium,1836	lucium, 1896	protohydrogenium,1896
alabamium,1930	dubhium,1916	masnum, 1892	protohydrogenium,1910
alcalinium,1926	dvimanganum,1925	masurium, 1925	protometals, 1890'
aldebaranium,1907	E,1910	metacenum, 1895	protyle, 1886
amarillium,1903	ekacesium,1931	moldavium, 1936	radiomercurium,1904
andronia,1800	ekaiodine, 1925	mosandrium, 1878	radiotellurium,1902
anglohelvetium,1942	ekaplatinum, 1935	munum, 1890'	rigium,19030'
anodium,1900'	emanium, 1904	nebulium, 1911	rogerium, 1884
antihydrogenium,1906	erebodium, 1886	neoerbium,1901	russium, 1887
apulium,1790'	eurosamarium, 1917	neoerbium,1896	S1, 1886
archonium,1900	euxenium, 1901	neoerbium,1917	satellite,1909
aridium,1850	florentium, 1924	neothulium, 1916	siderum,1781
austriacum,1889	G's, 1886	neotungsten,1917	silen,1802
austrium,1886	gadenium, 1886	neptunium, 1877	sirium, 1895
austrium,1900	galoid, 1906	neutronium, 1926	sydneia,1790
austrum,1785	glaucodidymium, 1897	newtonium, 1904	Tb1, Tb2, Tb3,1911
auxium,1894	gnomium, 1889	niccolanum, 1805	thelyke,1800
berzelium,1904	helvetium, 1886	nigrium, 1866	theta,1911
bohemiun,1934	hydrosiderum, 1781	nipponium, 1908	treenium,1836
borbonium, 1893	hypon, 1928	nitron, 1909	triargon,1895
bythium,1893	idumium, 1884	norium, 1845	uralium,1879
canadium,1911	illinium, 1926	norwegium, 1879	vesbium,1879
carolinium,1901	ilmenium, 1846	oceanium, 1923	vestalium,1800'
cassiopeium,1907	incognitum, 1906	omega, 1900	vestium,1818
celtium,1911	infraelements, 1895	ostranium, 1825	victorium,1899
columbium,1879	ionium, 1906	oxydium, 1890'	virginium,1930
comesium,1880	jargonium, 1869	pantogen1867	wasmium,1862
coronium,1871	josephinite, 1903	pelopium, 1846	welsium,1920
crodonium,1820	junonium, 1818	philippium, 1878	wodanium,1818
cyklonium,1941	junonium, 1811	pluranium, 1827	X,1878
dacinum,1930'	kalidium, 1900'	polinium, 1827	X,1904
damarium,1896	kathodium, 1900	polymnestum, 1886	Y,1904
Davyum,1877	kosmium, 1896	prefluorunium, 1907	
	lavoesium, 1877	protofluorine, 1911	

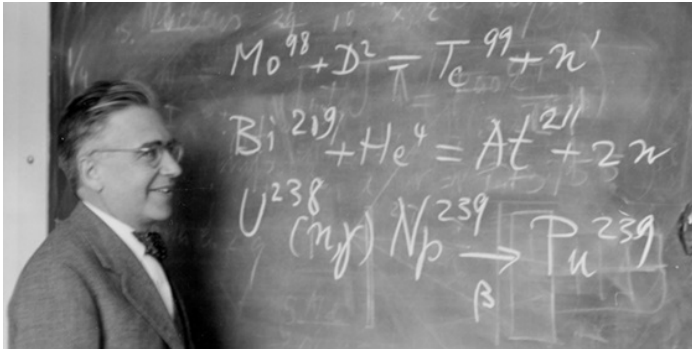
#### 4. A HISTORIA DO TECNECIO. EMILIO SEGRE.

Faise un apartado propio deste elemento porque nel se reúnen varias circunstancias moi singulares que o fan especialmente indicado para ser levado a aula.

En primeiro lugar, e como xa se dixo no apartado anterior, trátase do primeiro elemento químico sintético. Foi identificado por primeira vez por Emilio Gino Segré (1905-1989) e Carlo Perrier (1886-1948) no “Istituto di Fisica”, agora Departamento de Física e Química, na Universidade de Palermo.

No verán de 1936, Segré, un antigo estudante de Enrico Fermi e recén nomeado profesor de Física Experimental na Universidade de Palermo, visitou os Estados Unidos, primeiro a Universidade de Columbia en Nova York e despois o, agora chamado, Lawrence Berkeley National Laboratorio en California; alí convenceu a Ernst Lawrence para que lle dese algunhas partes do seu ciclotrón, desbotadas por se converteren en radiactivas. Logo, xa en Palermo, Segré tentou identificar a

orixe das propiedades radioactivas dunha lámina de molibdeno, que se usaba como deflector no ciclotrón, e seguindo os coñecementos da física nuclear daquel momento, restrinxiu o campo dos posibles produtos do bombardeo de molibdeno a tres elementos, niobio, tántalo e o elemento 43. Ao final dunha elaborada serie de separacións e purificacións, realizadas en colaboración co químico Carlo Perrier, foi posible demostrar, por exclusión, que a radioactividade se debía ao elemento 43. A non poderen illar unha cantidade substancial de tecnecio, Segré e Perrier pospuxeron o anuncio do seu descubrimento ata que, dous anos máis tarde, xunto co químico estadounidense Glenn Theodore Seaborg (1912-1999), Segré obtivo un ciclotrón o espectro de raios X do isótopo metastable Tc-99m.



**Figura 5.** Emilio Segré (imaxe tomada de <https://www.primapagina.sif.it>).

Emilio Segré non só participou na síntese do Tecnecio senón que foi tamén protagonista na do Astatina e o Plutonio (ver Figura 5), e isto é a segunda razón para traer aquí este elemento, ou mellor, ao físico italiano. Non son moitos os científicos que están detrás da aparición de varios elementos químicos da Táboa Periódica. Recibiu o Premio Nobel de Física en 1959, xunto con Owen Chamberlain, pero non directamente por estes traballos, senón pola confirmación experimental en 1955 da existencia do antiprotón.

O nome do elemento 43 deriva do feito da súa síntese artificial (“*tecnets*” = artificial), e hoxe en día obtense en cantidades manexables como produto de fisión no reproceso das barras de combustible dos reactores nucleares<sup>14</sup>.

**Táboa 3.** Estes son os tres isótopos do Tc de maior período de semidesintegración (Fonte wikipedia)

	Z	A	Masa atómica	T <sub>1/2</sub> (anos)
<sup>97</sup> Tc	43	54	96,906365(5)	4,21(16)·10 <sup>6</sup>
<sup>98</sup> Tc	43	55	97,907216(4)	4,2(3)·10 <sup>6</sup>
<sup>99</sup> Tc	43	56	98,9062547(21)	2,111(12)·10 <sup>5</sup>

Con técnicas de análise radiactiva puido ser detectado o Tc a partir da década dos 60 do século pasado na codia terrestre<sup>15</sup> en minerais de uranio (Kuroda, 1989). Pero tamén ten sido atopado

<sup>14</sup> Actualmente se coñecen 54 isótopos do Tecnecio, con T<sub>1/2</sub> que van dos <100 ns para o Tc-85 aos 4·10<sup>6</sup> anos do Tc-97.

<sup>15</sup> As trazas que se atopan na codia terrestre proceden da fisión espontánea do Uranio, e estímase que nun kilogramo de Uranio está contido aproximadamente 1 ng de Tecnecio. En 1962, o Tc-99 foi illado e identificado B.T. Kenna e P.K. Kuroda no mineral pechblenda, procedente de África en moi pequenas cantidades.

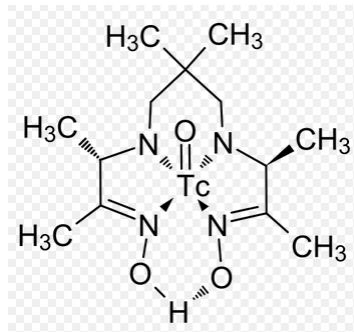
este elemento no espectro de estrelas do tipo S, M e N. A presenza deste elemento na materia estelar ten un grande interese pois é clave para comprender como se produce nelas a síntese de elementos pesados. En particular, o estudo do Tecnecio nestas estrelas permite verificar o chamado "Proceso-s" que consiste nunha absorción constante de neutróns lentos.

Pasamos agora á terceira razón para traermos de forma protagonista a este elemento a estas páxinas. O tecnecio desempeña un papel moi importante na medicina nuclear actual, xa que o seu isótopo metaestable<sup>16</sup> Tc-99m utilízase en decenas de millóns de probas diagnósticas médicas en todo o mundo, o que supón, arredor do 80% de todos os procedementos de medicina nuclear. Polo tanto, trátase dunha ferramenta físico-química que está a salvar miles de vidas a diario.

O Tc-99m, é o produto de desintegración do molibdeno-99 (Mo-99). Emite raios gamma cunha enerxía de 140 keV, que pode ser detectada facilmente utilizando unha cámara gamma estándar. A súa vida media física relativamente corta de seis horas, e unha vida media biolóxica dun día, fai que o Tc-99m sexa ideal para o seu uso en procedementos como a tomografía computarizada por emisión dun solo fotón (SPECT). É importante subliñar que, pouco despois de que finalice o procedemento, non queda radioactividade no corpo.<sup>17</sup>

Unha aplicación de enorme interese é a exploración miocárdica, utilizada para axudar a diagnosticar enfermidades cardíacas. Inxéctase un radiofármaco baseado no Tc-99m no doente e os raios gamma emitidos desde o interior do corpo utilízanse para crear imaxes do músculo cardíaco, tanto en repouso como realizando exercicio. A comparación das imaxes resultantes permite aos médicos avaliar o fluxo sanguíneo a través do corazón do doente-paciente.

Hai moitos outros procedementos importantes que empregan Tc-99m, incluíndo imaxes de todo o corpo para detectar metástases óseas, imaxes de ganglios centinelas antes da cirurxía para o cancro de mama ou melanoma, así como imaxes de tiroides, cerebro, pulmón e renal. O Tc-99m fai, sen dúbida, honor a súa reputación como o "isótopo de cabalo de batalla" da medicina nuclear.



**Figura 6.** Unha das formas en que se acomplexa o Tc para uso médico.

<sup>16</sup> O termo "metaestable" refírese ao feito de que estes estados excitados teñen unha vida media de máis de 100 a 1000 veces a vida media dos estados nucleares excitados. Neste caso, o Mo-99 desintégrose para dar Tc-99 nun estado nuclear excitado. En xeral, cando isto ocorre o núcleo pasa a estado fundamental en picosegundos emitindo radiación gamma, pero nun estado metaestable - como o do Tc-99m- isto ocorre nun tempo suficientemente longo para ser utilizado de xeito práctico.

<sup>17</sup> Parte da descrición que segue está baseada no pequeno traballo presentado en <https://physicsworld.com/a/battle-of-the-elements-technetium-99m-diagnoses-disease-then-decays-away/>

Porén, en termos de subministro, ten pasado este isótopo por problemas. Para crear Tc-99m, primeiro debe producirse Mo-99, que ten unha vida media de 66 horas, e que se transporta máis facilmente aos hospitais ca o seu produto de desintegración de máis curta duración. O Mo-99 xérase tradicionalmente mediante a fisión de uranio-235, logrado mediante o bombardeo con neutróns sobre brancos de uranio, e é realizado nun número limitado de reactores nucleares. Hai arredor dunha década, o campo da medicina nuclear experimentou unha gran escaseza de subministro causada polo peche simultáneo de dous destes reactores envellecidos polo seu uso durante períodos prolongados. Para facer fronte a esta vulnerabilidade, os gobernos e a industria tomaron medidas para mellorar a fiabilidade da cadea de subministro Mo-99/Tc-99m.

Ademais de acordos para a produción de respaldo e o subministro de Mo-99 para casos de peches programados (ou non programados), están a se desenvolver métodos de produción alternativos que non requiran brancos de uranio. Un enfoque é utilizar a captura de neutróns, na que o isótopo estable Mo-98 captura un neutrón e se transmuta a Mo-99. Outros enfoques eliminan por completo a necesidade dun reactor, como é o caso da transmutación inducida por fotóns de Mo-100 a Mo-99 utilizando fotóns de aceleradores de electróns. As necesidade de Tc-99m é evidente, e todas as partes interesadas están a traballar para salvagardar o seu subministro. Estamos a falar do radioisótopo médico máis utilizado na medicina nuclear, detrás do que están as vidas de centenaes de miles de doentes cada ano en todo o mundo.

Unha cuarta consideración sobre este elemento é a polémica do descubrimento. Non é obviamente o primeiro caso, senón que, e coma xa foi indicado no apartado anterior, son moitos os elementos que levantaron polémica en relación ao seu descubrimento. Con todo, o caso do Tc é exemplificador das dificultades que en moitos casos xurdiron para adxudicar correctamente a autoría.

En 1925, oos químicos alemánes Otto Berg, Walter Noddack e Ida Tacke anunciaron o descubrimento dos elementos 75 e 43, propoñendo o nome de "masurio" para o 43 (por Masuria, rexión de Prusia da que procedía Noddack). Deduciron a existencia do elemento 43 polo espectro de difracción de raios X (segundo a ley de Moseley que relacionaba o valor da lonxitude de onda dos raios X co número atómico) no mineral columbíta, onde se sospeitaba que podía estar ese elemento. Pero outros investigadores daquela época non foron quen de obter ese espectro. A realidade é que as cantidades tan pequenas deste elemento imposibilitaban poder medir por esa técnica a súa presenza<sup>18</sup>. Sería por medidas de radioactividade, como fixeron Segré e Perrier nos anos 1930, as que permitirían detectar a existencia do Tecnecio.

Unha última consideración, pero non menos importante, é de dimensión humana, e serve para achegar ao alumnado esoutra perspectiva da ciencia que adoita ser moi pouco utilizada na aula. Emilio Segré formaba parte do grupo de Física Teórica na Universidade de Roma, que era liderado por Enrico Fermi. A actividade de todos os membros deste grupo (e tamén doutro da cidade de Florencia) quedo practicamente detida cando o goberno de Mussolini publicou o "*Manifesto en defensa da raza*" en 1938, que marcaría o comezo dunha serie de decretos legais coa mesma intención que os aparecidos naquela época na Alemaña nazi. Os grupos de investigación de Roma e Florencia foron diezmados e case destruídos. Cinco profesores de física emigraron: Bruno Rossi.

---

<sup>18</sup>Tómese en consideración que o contido do Tc-99 na pechlenda, cun 50 % de uranio, é menor de 1 ng por quilogramo de mineral, pero na columbíta a cantidade non supera o 5 % de uranio. Isto supón que Berg, Noddack e Tacke só podían dispoñer duns poucos picogramos por quilogramo de mineral. Con esta cantidade era imposible separar o elemento e detectar o espectro de raios X do novo elemento respecto do "ruído".

Emilio Segrè, Giulio Racah, Enrico Fermi e Franco Rasetti. Outros moitos científicos tiveron que seguir os mesmos pasos.



**Figura 7.** *Investigadores do Instituto de Física (Roma) preto do 1930: De esquerda á dereita: Oscar D'Agostino, Emilio Segrè, Edoardo Amaldi, Franco Rasetti e Enrico Fermi.*

O medo destes científicos non era infundado. A nai de Emilio Segrè, Amelia Treves, a súa prima Egle Segrée, e o sogro de Fermi foron arrestados pola SS e deportados a Alemaña, e nunca máis se soubo deles. Emilio Segrè nunca máis volveu ver aos seus pais vivos.

Nesa emigración forzada de Segrè aos Estados Unidos atopouse con pouca axuda científica, sendo tratado con distancia e pouca xenerosidade por Ernest Lawrence -director do Radiation Laboratory daqueles anos en California- a quen Segrè coñecía dunha estadía anterior, e a quen pedira axuda a súa chegada aos Estados Unidos. Por certo, Lawrence, iniciador no uso dos aceleradores de partículas, foi honrado na Táboa Periódica, dándolle o seu nome ao elemento químico 103.

Segrè precisaba diñeiro para axudar á súa nai arrestada, e ao seu pai, desolado por este feito. Lawrence negoulle ese diñeiro aínda que, moi probablemente, a morte da súa nai e despois a do seu pai, non poderían ter sido evitadas. Cando Segrè puido retornar a Italia, dispersou sobre a terra da sepultura dos seus pais un pouco de pó de Tecnecio, pois aínda que de vida media curta en comparación coa idade do noso planeta, ía durar sobre esa tumba moitísimo máis cunhas simples flores.

## 5. A VILA DE YTTERBY

É habitual citar esta cidade sueca como a “*máis famosa vila da Táboa Periódica*”. Sete elementos dos sistema periódico foron descubertos nas minas desa vila escandinava.

Ytterby, unha pequena localidade situada nunha pequena illa de Resarö, pertencen ao arquipélago de Estocolmo. Ostenta catro elementos nomeados na súa honra: Iterbio; Itrio; Erbio e Terbio. Y tería máis, pois outros tres elementos foron tamén descubertos nas minas desa vila sueca, pero xa non era posible “xogar” co seu nome para ese tres novos. Así, o Holmio toma o nome latino de Estocolmo; o Tulio, o nome mítico de Escandinavia e o Gadolinio, na honra do químico sueco Johan Gadolin, quen descubriu a primeira terra rara (o itrio). Hai quen, tendo en conta a importancia que esta vila tivo para a Táboa Periódica, e facendo paralelismo coa importancia que outras Illas tiveron no traballo de Darwin, chámalle a ese lugar sueco, as “*illas das Galápagos*” da Química.



**Figura 8.** A mina de Ytterby en 1910.

Cales son as razóns da aparición de tantos elementos químicos nun lugar, por outra parte, tan aparentemente “remoto”?

Para comezar, está a razón química, pois, como é coñecido, a configuración electrónica das terras raras dá lugar a un comportamento químico semellante, así que onde hai un deles teñen que aparecer os outros. Pero hai unha circunstancia especial que se engade a anterior, e é que os glaciares durante a última glaciación retiraron as capas superiores do solo deixando expostas as capas inferiores, permitindo así unha minería de superficie.

Porén, estas dúas razóns non son extraordinarias e teñen ocorrido noutros moitos lugares do planeta, así que fai falta máis razóns.

Unha terceira razón é de carácter económico. A mina de Ytterby non foi aberta para buscar novos elementos, senón para obter feldespatos, cos que lanzar a industria cerámica. Esta non tiña só valor estético, senón que para os suecos o feldespato permitíalles facer mellores estufas, e iso non era cousa menor nun país tan septentrional. Así que a finais do S.XVIII abriuse a mina de Ytterby.



**Figura 9.** Placa que lembra a zona de tantos descubrimentos de elementos químicos.



Pero isto aínda non explica o descubrimento de tantos novos elementos, pois os traballadores e empresarios poderían ter tirado ao lixo todo aquilo que non fose feldespato.

Pero entón aparece a cuarta razón: esta foi a *Ilustración*, nacida en Francia, e que tamén comezou a estenderse por Suecia. Xeólogos e químicos suecos, empurrados pola ansia de coñecemento, foron sensibles ás historias que viñan desa pequena localidade e que falaban de minerais descoñecidos que aparecían ao carón daqueles que eran de interese mineiro. Estes minerais chegaron ao gran químico da época en Suecia, Johan Gadolin, quen non sen esforzo foi quen de illar o Itrio, e deixando claro que tiña que haber outros máis que serían máis tarde descubertos.

Hoxe nada lembra ese pasado, pois a mina pechou hai moito tempo e todo está cuberto de vida vexetal, O único recordo é unha placa nunha rocha que fala da proximidade da mina, colocada pola ASM (antiga Sociedade Americana dos Metais), e algunhas rúas da localidade que levan o nome dos elementos químicos descubertos.

## 6. DARLEANE C. HOFFMAN E OS ELEMENTOS SUPERPESADOS

Cando falamos de mulleres e a Táboa Periódica veñen de inmediato ao noso discurso nomes que van desde Marie Paulze Perret a Lise Meitner, ou desde Marie Curie a Marguerite Perey... Porén, a estadounidense Darleane Hoffman, de 93 anos de idade no momento de escribir isto, ten por dereito propio un lugar máis ca destacado neste asunto.



**Figura 10.** *Darleane Christian Hoffman.*

En efecto, en tempos nos que os teitos de cristal estaban aínda máis altos ca hoxe, Darleane Hoffman, foi a líderesa do equipo que descubriu os elementos superpesados con Z: 104, 105 e 106, no Lawrence Berkeley Laboratory.

Xa antes, e cunha perseverancia propia de quen sabía que por ser muller tiña que ir aínda máis aló ca os seus colegas masculinos, conseguiu detectar, a pesar da incredulidade destes, o Pu na superficie terrestre. En 1997 recibiu a prestixiosa National Medal of Science do seu país, por traballos: co elemento Pu; polos seus estudos en núcleos superpesados; pero sobre todo pola súa

extraordinaria traxectoria docente en “química nuclear”, e no seu posto de directora do Seaborg Institute for Transactinium Science of the University of California.

Unha das súas máis importantes achegas no campo nuclear foi o entendemento da fisión espontánea nos inicios dos anos 70 do século pasado. Sabíase que os núcleos pesados podían fisiónar, pola acción de neutróns externos, pero Hoffman descubriu que, os núcleos de Fm podían fisiónar espontaneamente. Isto abría as portas a novos métodos para almacenar refugallos nucleares, permitindo tamén, unha mellor comprensión da estabilidade nuclear dos elementos químicos da Táboa Periódica.

Como xa se comentou antes, Darleane C. Hoffman tivo que loitar duramente para se abrir paso nun tempo moi difícil para as mulleres; por iso, ten especial relevancia indicar as posicións científicas e docentes que foi ocupando desde moi nova. Así, ó inicio dos anos 50 traballou como química no Oak Ridge National Laboratory e, pouco despois no ano 1953, entrou como “staff member” en Los Alamos Scientific Laboratory e que, en 1979, convertéuse en Division Leader of the Chemistry and Nuclear Chemistry Division (Isotope and Nuclear Chemistry Division) deste laboratorio. Nos anos 80 pasou a ser investigadora e docente no Department of Chemistry at UC Berkeley and Leader of the Heavy Element Nuclear & Radiochemistry Group at LBNL Ademais, axudou a fundar o Seaborg Institute for Transactinium Science at LLNL en 1991, converténdose na súa primeira Directora, posto que ocupou ata o seu retiro no ano 1996.

Entre outras distincións mencionamos as seguintes: Priestley Medal (2000), National Medal of Science (1997), Garvan-Olin Medal (1990), ACS Award for Nuclear Chemistry (1983) (first woman to win the award), Membro da Academia Noruega de Ciencias e Letras,...etc.

Aparte dos malos momentos durante a súa carreira científica, por mor da súa condición de muller, seguramente un dos que máis dor lle produciu foi o grave caso da fraude científica cando no seu laboratorio foi anunciado, por parte dun grupo dos seus investigadores, o descubrimento do elemento 118. A este suceso imos dedicarlle o seguinte apartado.

## 7. A TÁBOA PERIÓDICA E AS MISERIAS HUMANAS.<sup>19</sup>

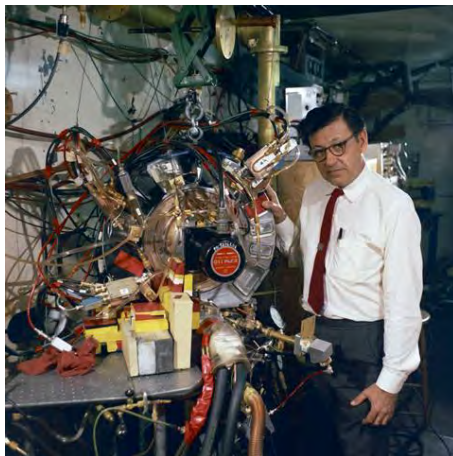
Desde que comezaron a aparecer os ordenamentos, clasificacións, agrupamentos de elementos químicos, e finalmente a Táboa Periódica, a ansia por chegar primeiro a nomear un novo elemento conduciu a pequenas e grandes precipitacións, a controversias e a descualificacións persoais. Xa nun apartado anterior indicamos a gran cantidade de elementos químicos supostamente descubertos, a gran variedade de nomes propostos, etc. Imos citar neste apartado unha das grandes fraudes da ciencia dos últimos vintecinco anos, e que ten especial importancia por acontecer nun dos mellores centros de investigación, no campo dos novos elementos, en particular os elementos superpesados.

Os nucleos superpesados non poden existir na natureza debido ao seu alto número de protóns, o que fai que a repulsión coulombiana supere o efecto internucleónico da interacción forte. É dicir, cando hai moitos protóns, os que están máis afastados dentro do núcleo seguen a sufrir unha considerable repulsión eléctrica, pero ese afastamento fai que a atracción debida á carga de color dos seus quarks sexa pequena. Para os crear é preciso lanzar núcleos de elementos lixeiros sobre un branco dun núcleo pesado que teña un tempo de vida suficiente alto como para que se produza

---

<sup>19</sup> Parte deste apartado está baseado no artigo Chapman K. (2019) “The element that never was”, na web de ChemistryWorld. (<https://www.chemistryworld.com/features/victor-ninov-and-the-element-that-never-was/3010596.article>)

a eventual fusión entre eles. Hai obviamente que elixir a parella axeitada para lograr o núcleo buscado; pero o resultado é a tendencia imparabile a se desintegrar. Por exemplo, en 1974, o equipo liderado por Al Ghiorso<sup>20</sup> en Berkeley, traballando en colaboración con o Lawrence Livermore National Laboratory, sintetizaron o elemento 106 disparando núcleos de osíxeno ( $Z = 8$ ) sobre californio ( $Z = 98$ ). En aparencia esta técnica parece sinxela, pero a posibilidade de colisión é moi pequena, e o núcleo formado ten un tempo de vida extremadamente curto<sup>21</sup>.



**Figura 11.** Al Ghiorso e unha das montaxes para crear núcleos superpesados.

A dificultade de obter un resultado inequívoco e a competencia co grupo rival ruso de Dubna, USSR, liderado por Georgy Flerov e Yuri Oganessian, fixo que a aceptación dese descubrimento tivese que agardar ata 1993, cando en Berkeley foi confirmado sendo catro anos máis tarde chamado “Seaborgium” (Sg).

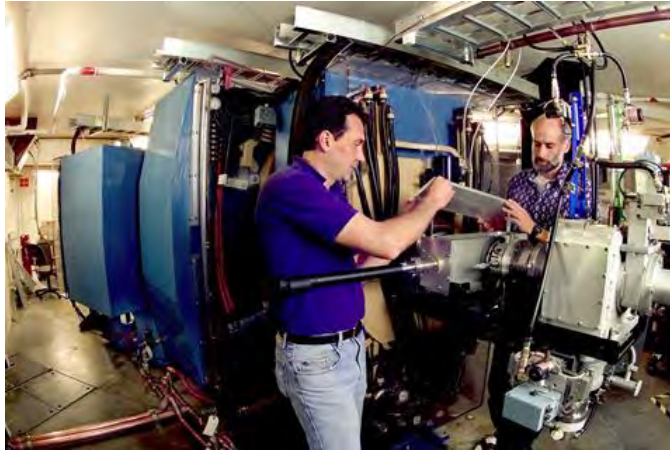
Ademais do grupo ruso, nas décadas de 1980 e 1990, tamén aparece o equipo alemán do GSI Darmstadt, que descubre os elementos 107–112, sendo o físico búlgaro Victor Ninov un dos codescubridores. Ansioso Berkeley por volver á cabeza neste campo faise cos servizos de Ninov; o traballo específico deste físico centrábase no uso do programa informático de análise Gosey co que parecía tomar avantaxe Berkeley fronte ao novo equipo ruso-americano formado por Dubna e Livermore que crían ir en cabeza cara a síntese do elemento 118.

De feito, en 1998, o grupo liderado por Oganessian informou da creación do elemento 114 facendo colidir núcleos de Ca sobre Pu. Aínda que o descubrimento non foi inmediatamente confirmado, o grupo de Ninov sabía que non podía demorarse. Baseándose nun estudo previo levado a cabo por Al Ghiorso e Darleane C. Hoffman, decidiron bombardear Pb-203 con Kr-86 para crear o elemento 118. O 27 de maio de 1999 o equipo de Berkeley anunciou a síntese en *Physical Review Letters*. Calquera persoa involucrada foi incluída como coautora, mesmo os estudantes de posgrao.

<sup>20</sup> Moitos expertos no campo da síntese de núcleos superpesados propuxeron o nome de Ghiorso para o elemento 118 no canto de Oganesson (que procede de Yuri Oganessian, líder neste campo en Rusia), pois estivo detrás do maior número de procesos que lograron crear novos elementos.

<sup>21</sup> Para ter unha aproximación ao enorme traballo que esta tecnoloxía implica pode consultarse Cid R., Cid Vidal X. (2011). “Un nuevo nombre en la Tabla Periódica: el Copernicio”. *Revista Española de Física* 25 (1), pp 47-54.

A repercusión foi enorme, e en todos os outros laboratorios comezou a carreira para repetir o experimento. En particular, o líder do GSI alemán, Sigurd Hofmann, quen coñecía a Ninov da etapa deste en Darmstad, tentou repetir o experimento de Ninov, pero non foi quen de obter éxito. O mesmo ocorreu con equipos francés e xaponeses, e a actitude de Ninov comezou a se encher de evasivas en relación a contestar esta cuestión. Berkeley tentou o experimento outra vez en 2000, pero, do mesmo xeito que os outros laboratorios, non puideron repetir a obtención do elemento 118.



**Figura 12.** *Ninov e Gregorich co seu dispositivo onde “creron” sintetizar o elemento 118.*

En 2002 Ninov foi acusado de mala praxe científica, polo Lawrence Berkeley National Laboratory, e foi cesado. Durante setenta anos, Berkeley liderou o descubrimento de elementos químicos e, agora, a súa reputación estaba en cuestión.

Isto ocorreu pouco despois do pasamento de Glenn T. Seaborg, figura indiscutible durante cincuenta anos no estudo dos elementos transuránidos e que, segundo Al Ghiorso, foi unha boa cousa pois Seaborg non o tería soportado.

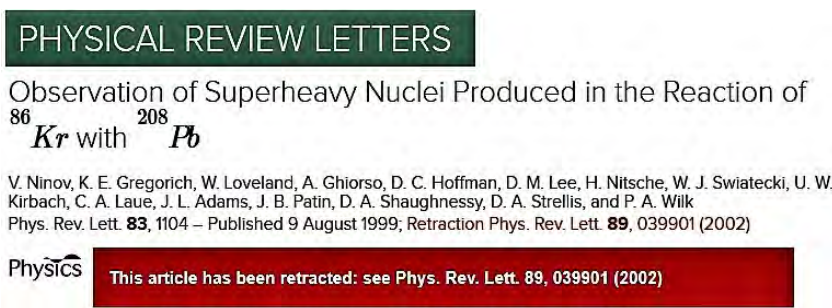


**Figura 13.** *Seaborg foi quen propuxo o deseño horizontal da Táboa Periódica para introducir os novos elementos transuránidos.*

Cómpre lembrar que Seaborg foi a primeira persoa en ver o su nome na Táboa Periódica, pois había unha especie de lei non escrita que viña a dicir que para propoñer a unha persoa, para nomear un elemento, debería ter finada.

Para moitos científicos e científicas do LBNL, a creación do elemento 118, de ter sido válido, tiña unha clara destinataria: Darlene C. Hoffman, pero ela tivo que “quedar sen elemento” e sufrir nesos últimos anos en activo da súa carreira o resultado desa fraude de dobre maneira.

Finalmente *Physical Review Letters* aceptou a retirada do artigo, e o laboratorio recuperou a súa credibilidade.



**Figura 14.** *Physical Review Letters* anuncia que o artigo de Ninov foi “retractado”.

## 8. GRUPO DE TRABAJO SOBRE TERMINOLoxÍA QUÍMICA DA RSEQ.

Para ir rematando con estas aportacións un pouco fóra do ámbito habitual do que coñecemos sobre a Táboa Periódica, cremos de interese reproducir a decisión do “Grupo de trabajo sobre terminología química de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ)” en relación coa tradución ao español dos 118 nomes dos elementos químicos da Táboa Periódica dos elementos baseados na versión da IUPAC do 28 de novembro de 2016, e tendo en conta os acordos adoptados pola RAC, a RAE, a RSEQ e a Fundéu. Transcribímola deseguido tal como foi presentada.

### **Nombres y símbolos en español de los elementos aceptados por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016 acordados por la RAC, la RAE, la RSEQ y la Fundéu**

Miguel Ángel Ciriano, José Elguero, Javier García-Martínez, Pilar Goya, Pascual Román Polo. Grupo de trabajo sobre terminología química de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ). C-e: pascual.roman@ehu.es

El 28 de noviembre de 2016 la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) publicó la tabla periódica de los 118 elementos químicos conocidos y aceptados con sus nombres y símbolos.[1,2] En el informe realizado por el grupo de trabajo sobre terminología química de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) se recomendaba traducir al español los nombres de los elementos químicos de números atómicos 113, 115, 117 y 118 adoptados definitivamente por la IUPAC como *nihonio* (Nh), *moscovio* (Mc), *tennesso* (Ts) y *oganesson* (Og), respectivamente.[3] Por otro lado, el Departamento de “Español al día” de la Real Academia Española (RAE) elaboró un informe sobre el nombre en español de los nuevos elementos de números atómicos 113, 115, 117 y 118 que fue aprobado con fecha 22 de diciembre de 2016 por la Comisión de Vocabulario Científico y Técnico de la RAE en el que proponían los nombres de *nihonio* (Nh), *moscovio* (Mc), *teneso* (Ts) y *oganesson* (Og), respectivamente. Ante las discrepancias surgidas en los nombres de

los elementos de números atómicos 117 y 118, se decidió convocar una reunión entre representantes de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (RAC), la RAE, la RSEQ, y la Fundéu sobre los nombres españoles de los elementos químicos. Dicha reunión tuvo lugar el día 1 de febrero de 2017 en la sede la RAC con el fin de adoptar un criterio unificado debido a la diferente grafía que se asignaba a algunos elementos químicos en español. Los asistentes fueron: José Elguero Bertolini (presidente de la RAC), Salvador Gutiérrez Ordóñez (académico miembro de la Comisión de Vocabulario Técnico de la RAE), Elena Hernández (directora del Departamento de «Español al día» de la RAE), Pascual Román Polo (coordinador del grupo de trabajo sobre terminología química de la RSEQ) y Javier Bezos López (ortotipógrafo y responsable de la Wikilengua en Fundéu BBVA). Se revisaron los nombres en español de todos los elementos químicos con el fin de asignar a cada uno de ellos un único nombre. A continuación, se indican los acuerdos adoptados en relación con los nombres que en este momento figuran en el *Diccionario de la lengua española (DLE, 23.a ed., RAE y ASALE, 2014)* y con los ya aprobados para su incorporación en próximas actualizaciones:

1. Dar preferencia a la grafía *zinc* para el elemento de número atómico 30 y registrar *cinc* como variante, de acuerdo con el uso mayoritario. [Supone invertir la preferencia actual del *DLE*].
2. Mantener la preferencia por la grafía *kriptón* para el elemento de número atómico 36 y registrar *criptón* como variante, de acuerdo con el uso mayoritario. [Supone invertir la preferencia actual del *DLE*].
3. Dar preferencia a la grafía *circonio* en el nombre del elemento de número atómico 40 y registrar *zirconio* como variante, de acuerdo con el uso mayoritario.
4. Mantener la preferencia por la forma *telurio* como nombre del elemento de número atómico 52 y seguir registrando *teluro* como variante.
5. Dar preferencia a la grafía *yodo* en el nombre del elemento de número atómico 53 y seguir registrando *iodo* como variante, de acuerdo con el uso mayoritario.
6. Suprimir *tantalio* como variante de *tántalo*, único nombre que debe figurar para el elemento de número atómico 73.
7. Dar como preferida la denominación *wolframio* (variante *volframio*) para el elemento químico de número atómico 74, a pesar de que el nombre establecido en inglés por la IUPAC sea *tungsten* (español *tungsteno*). La RSEQ reivindica esa denominación por estar basada en el nombre que le dieron quienes primero aislaron este elemento, los hermanos Delhuyar, químicos riojanos.
8. Mantener el par *lawrencio/laurencio*, con preferencia por la primera forma, en el nombre del elemento de número atómico 103. La RAC valorará la posibilidad de incluir en su *Vocabulario científico y técnico* la variante *laurencio* (que ahora no figura), aunque mantendrá de momento la preferencia por *lawrencio* en espera de ver por cuál de las dos formas se decanta el uso mayoritario. En la tabla periódica se dará también preferencia a la grafía más cercana a la etimología: *lawrencio*.
9. Eliminar el nombre *kurchatovio* para el elemento de número atómico 104 (denominación adoptada por los rusos en el contexto de la Guerra Fría, que durante un tiempo compitió con el hoy definitivo *rutherfordio*). Se puede justificar la supresión por la ausencia en el *DLE* de denominaciones no vigentes hoy de otros elementos químicos.
10. Sustituir la grafía *hassio* (en cursiva) por *hasio* (en redonda) como nombre del elemento químico de número atómico 108. Se suprime *hassio* incluso como variante, pues la secuencia

gráfica -ss- es ajena al sistema ortográfico del español. La condición híbrida de esa grafía semiadaptada obligaba a escribir el nombre de este elemento en cursiva.

11. Sustituir la forma *darmstadio* por *darmstatio* para el elemento de número atómico 110, por ser la *t* la dental que se conserva en la pronunciación en inglés (al menos en el británico, pues en el americano se relaja y suena /d/, tal como puede comprobarse en las pronunciaciones que registra el *Oxford English Dictionary*, y por ser también /t/ el sonido final que presenta en alemán la ciudad que le da nombre: *Darmstadt* [dármʃtat].

12. Establecer las formas *teneso* y *oganesón* como nombres españoles de los nuevos elementos de números atómicos 117 y 118, respectivamente.

13. En relación con las pautas de la IUPAC para la creación de los nombres provisionales de los nuevos elementos químicos y el conflicto que se plantea con la norma ortográfica del español que obliga a escribir *m* antes de *p* o *b* (p. ej., ingl. *ununpentium* > esp. *unumpentio*), se sugiere que, si no se quiere aplicar esa norma ortográfica por considerar que oscurece la formación numérica composicional de esos nombres, se emplee la grafía inglesa (con terminación *-ium*) en cursiva hasta tanto se apruebe el nombre definitivo y su adaptación a nuestra lengua. El uso de la grafía original inglesa permite mantener las secuencias etimológicas *np* y *nb* inalteradas, mientras que su mantenimiento en la forma española (*\*ununpentio*, por ejemplo) supone la creación de formas semiadaptadas, híbridos que no responden ya ni a las pautas ortográficas inglesas ni a las españolas.

[1] IUPAC Periodic Table of the Elements, versión fechada el 28 de noviembre de 2016, [bit.ly/2bjmHcz](http://bit.ly/2bjmHcz), visitada el 08/02/2017.

[2] (a) IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117 and 118, IUPAC recent posts, 30/11/2016; [bit.ly/2fPyFQg](http://bit.ly/2fPyFQg), visitada el 08/02/2017. (b) IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117 and 118, IUPAC recent posts, 30/11/2016. For Immediate Release 30 November 2016, Formato PDF, [bit.ly/2gEUbs5](http://bit.ly/2gEUbs5), visitada el 08/02/2017.

[3] M. A. Ciriano, J. Elguero, J. García-Martínez, P. Goya, P. Román Polo, *An. Quím.* 2016, *112*(4), 200-204, [bit.ly/2jeSVL0](http://bit.ly/2jeSVL0), visitada el 08/02/2017.

## 9. FINALIZANDO.

Ao longo do S. XIX e XX foron realizadas grandes unificacións na Física e na Química en campos moi diversos, sendo a harmonía, a simetría e a estética as bases deses logros monumentais do intelecto humano. Emerxen xigantes científicos da talla de Faraday, Maxwell e Ampère coa síntese entre a electricidade, magnetismo e óptica; Einstein coa unificación espazo-tempo; Planck, Einstein, Heisenberg, Schrodinger, Born... coa conexión cuántica na interacción radiación-materia; Dirac na presentación da relación materia-antimateria; Swinger, Feynmann e Tomonoga na construción da electrodinámica cuántica; Salam, Weinberg e Glashow na unificación das interaccións electromagnética e débil; en fin, Englert, Brout e Higgs dando resposta ao problema da masa das partículas.

Moitos dos logros dalgúns dos científicos que vimos de nomear tamén permitiron o desenvolvemento da Química como ciencia moderna, o que posibilitou as primeiras clasificacións dos elementos químicos coñecidos e, dalgún xeito, a grande unificación desta ciencia. Chégase ao cambio de paradigma cando Mendeleiev presenta o seu Sistema Periódico en 1869. Despois, foron xurdindo ao longo do século XX outros moitos nomes relacionados coa Táboa Periódica, e neste traballo destacamos figuras da talla de Marie Curie, Lise Meitner, Ida Tacke, Glenn Seaborg,

Marguerite Perey, Darleane Hoffman, Emilio Segré, Al Ghiorso, Gueorgui Flerov, Sigurd Hofmann ou Yuri Oganessian.

Cando escribimos estas liñas os laboratorios de núcleos superpesados, nomeadamente o Laboratorio Nishina do centro de investigación Riken en Xapón, seguen á procura de crear novos elementos máis aló do 118. Máis pronto ca tarde eses elementos aparecerán, e quen sabe se algún deles deparará algunha sorpresa que veña, como en tantas outras ocasións, a revolucionar o xa establecido.

Para rematar, e despois de ter abordado nun dos apartados anteriores as peculiaridades do grupo dos lantanoides, non me podo resistir en traer aquí unha regra nemotécnica propia para lembrar a primeira letra do símbolo dos elementos desa familia de elementos. Era finais dos oitenta e certa sinrazón dun alcalde deu lugar a unha duradeira polémica en relación ao nome da súa cidade.

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Dy	Tb	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
La	Coruña	Paco	Non	Pode	Soar	En	Galego	Doce	Tenra	Harmoniosa	Empregando	Tan	Yuppie	Letra

É unha regra nemotécnica para recordar os nomes deses elementos, orientada a facilitar esa tarefa e sen outra intencionalidade... ou si.

## 10. REFERENCIAS

Bermejo M.R., Cid R.(2000). Son tan raras as terras raras? *Boletín das Ciencias*, 44, 94-101.

Bermejo, M.R., González Noya A., Maneiro M. (2018). Guía dos elementos químicos. Historia, propiedades e aplicacións. *Centro Ramón Piñeiro para a Investigación en Humanidades*, Santiago de Compostela, 2018.

Chapman K. (2019). The element that never was. <https://www.chemistryworld.com/features/victor-ninov-and-the-element-that-never-was/3010596.article>

Cid R.(2009). D. I. Mendeleev: lembranza en tres actos. *Boletín das Ciencias*, 67, 37-59

Cid R., Cid Vidal X. (2011). Un nuevo nombre en la Tabla Periódica: el Copernicio. *Revista Española de Física*, 25 (1), pp 47-54.

Cid R., (2018). A beleza como motor da construción da Física. *Boletín das Ciencias*. Ano XXXI, nº 85. pp 27-49.

Cid R. (2019). A clasificación dos elementos químicos no ensino da Química no s. XIX na Universidade de Santiago. *Boletín das Ciencias*. Ano 32, 87, 117-128

Fontani M. (2014). The lost elements: the periodic table's shadow side. *Oxford University Press*

Fontani M., Costa M., e Orna M. V. (2015). The Lost Elements: The Periodic Table's Shadow Side. *Oxford University Press*, 2015.

Gracia A. S. (2013). As terras raras: o ouro tecnolóxico. *Cerna* 69, 20-22.

Greenwood, N.N. e Earnshaw, A., Chemistry of the Elements. *Oxford, Pergamon Press*, 1985.

Grupo de traballo de Terminología de la RSEQ (2017): Nombres y símbolos en español de los elementos aceptados por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016 acordados por la RAC, la RAE, la RSEQ y la Fundéu. SITIO WEB de la RSEQ



- Karpenko, V. (1980). The Discovery of Supposed New Elements: Two Centuries of Errors. *Ambix*, 27(2), 77–102.
- Kuroda, P. K. (1989). A note on the discovery of technetium. *Nuclear Physics A*, 503(1), 178–182.
- M. A. Ciriano, J. Elguero, J. García-Martínez, P. Goya, P. Román Polo, *An. Quím.* **2016**, 112(4), 200-204,
- Murray Gell-Mann (1995). *El quark y el jaguar: aventuras en lo simple y en lo complejo*. Metatemas Editorial: Tusquets Editores S.A. Barcelona.
- Ninov V., et al. (1999). Observation of Superheavy Nuclei Produced in the Reaction of Kr-86 with Pb-203. *Phys. Rev. Lett.*, 1999, **83**, 1104
- Prego R. (2019). Las tierras raras. *Consejo Superior de Investigaciones Científicas; Los libros de la Catarata*. Colección:¿Qué sabemos de...? – Nº 99. Madrid.
- Scherk Serrat A. (2011). Tierras raras: su escasez e implicaciones bursátiles. *Observatorio de Divulgación Financiera* (Instituto de Estudios Financieros) . Número 7, Marzo 2011.
- Schrödinger E. (1983). ¿Que es la vida?. *Tusquets Editores*. Barcelona.
- Segrè, E., Segrè, R., & Seaborg, G. T. (1994). A Mind Always in Motion: The Autobiography of Emilio Segrè. *Physics Today*, 47(4), 61–62
- Siegfried T. (2019). How the periodic table went from a sketch to an enduring masterpiece. *Science News*. <https://www.sciencenews.org/article/periodic-table-history-chemical-elements-150-anniversary>.
- Trifonov, D.N., e V.D. Trifonov, *Como fueron descubiertos los elementos químicos*, Moscova, Editorial Mir 1984.
- Wigner E. (1960). The Unreasonable Effectiveness of Mathematics in the Natural Sciences. *Communications in Pure and Applied Mathematics*, vol. 13, No. I. John Wiley & Sons, New York Inc.