



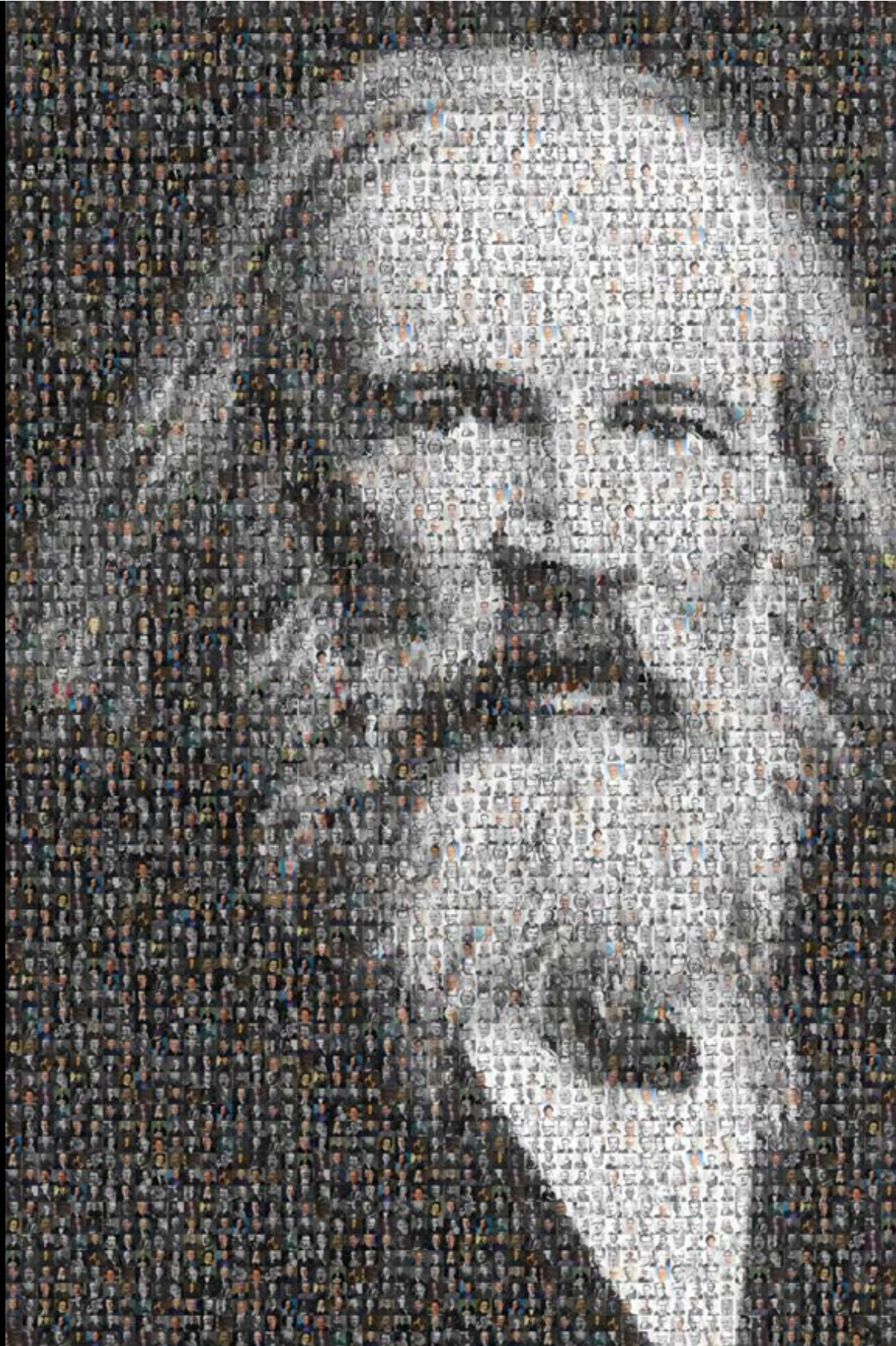
*con* CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23)

Nº 23 MAYO 2019

150 AÑOS



Nº 23 / MAYO 2019

#### REDACCIÓN

Dirección:  
Ana Isabel Elduque Palomo

Subdirección:  
Ángel Francés Román  
Concepción Aldea Chagoyen

Diseño gráfico y maquetación:  
Víctor Sola Martínez ([www.vicsola.com](http://www.vicsola.com))

Comisión de publicación:  
Blanca Bauluz Lázaro  
Cristina García Yebra  
María Luisa Sarsa Sarsa  
María Antonia Zapata Abad

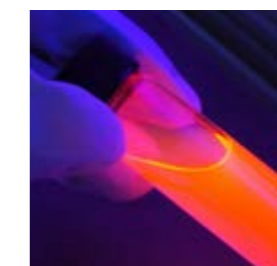
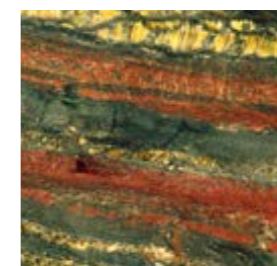
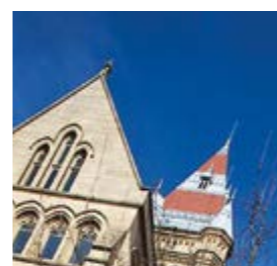
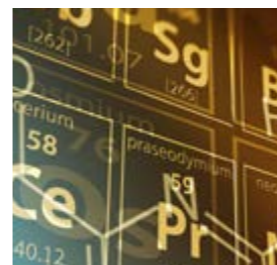
#### EDITA

Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Plaza San Francisco, s/n  
50009 Zaragoza  
[web.ciencias@unizar.es](mailto:web.ciencias@unizar.es)

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08  
ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)  
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.  
Portada: Juan José Ortega

La revista no comparte necesariamente las opiniones  
de los artículos firmados y entrevistas.



<b>EDITORIAL</b> .....	<b>2</b>
<b>AÑO INTERNACIONAL DE LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS</b> .....	<b>4</b>
Juan José Ortega	
<b>HENRY MOSELEY: RAYOS X, TABLA PERIÓDICA Y GUERRA</b> .....	<b>18</b>
Pascual Román	
<b>EL ÉXODO DE NUESTROS CIENTÍFICOS</b> .....	<b>36</b>
Luis Oro	
<b>SOBRE EL ALMACENAMIENTO DE AGENTES QUÍMICOS EN EL LABORATORIO</b> .....	<b>48</b>
Antonio Blein y Ana Isabel Elduque	
<b>CRISTALOGRAFÍA Y BIOMINERALES</b> .....	<b>58</b>
Raquel Moya	
<b>PAISAJES QUE NOS HEMOS PERDIDO</b> .....	<b>72</b>
Gonzalo Pardo y Concepción Arenas	
<b>NOTICIAS Y ACTIVIDADES</b> .....	<b>90</b>

**150 AÑOS**

Sí, 150 años, pero ¿de qué? Pues de la presentación pública de la primera versión de la Tabla Periódica de los Elementos por Dimitri Mendeleiev, mejor dicho, por un discípulo suyo, pues él estaba enfermo, ante la Academia de Ciencias de Rusia en el San Petersburgo imperial de 1869. Un poco largo, pero realmente muy importante.

La Ciencia necesita un poco de orden para que pueda ser transmitida de una generación a otra, que será la encargada de ampliar y mejorar lo recibido. Si la transmitiéramos como un conjunto de historias inconexas, no habría mucha diferencia con las mitologías clásicas o las sagas de los héroes. Quieren explicarlo todo, pero solo se pueden repetir, porque falta algo que las conecte. La Ciencia no es así, y en nuestra publicación tenemos muy claros ejemplos de ello.

Como no podía ser de otra forma, celebrando el Año Internacional de la Tabla Periódica declarado por la Unesco, comenzamos con un artículo que nos cuenta la historia de los intentos anteriores a la propuesta de Mendeleiev, y no solo de por qué no tuvieron su éxito, sino sobre lo que aportaron para que el ruso sí lo tuviera. Nos cuenta la historia Juanjo Ortega. Al hilo de esta celebración, reiteramos el artículo de Pascual Román sobre Henry Moseley y su aportación, gracias a sus trabajos con los rayos X, a la confirmación de la propuesta de ordenación de Mendeleiev. Gracias a Moseley no solo se identificaron nuevos elementos, sino que se consiguió entender el porqué del orden que se derivaba de las propiedades químicas, y no de los pesos atómicos. Desde entonces, peso y número atómico caminan juntos, pero no revueltos.

Aunque no se trata de la tabla periódica, Raquel Moya nos vuelve a ilustrar, por medio de su artículo sobre las estructuras cristalinas formadas en entornos biológicos, que la Ciencia es única. Las ordenaciones cristalinas, sean bioinducidas o biocontroladas, son análogas a las del resto del mundo mineral. Lean el artículo y lo comprobarán.

Luis Oro, a través de un repaso de una de las épocas más negras de nuestra historia científica y universitaria, nos alerta de los riesgos de no conceder al conocimiento su importancia y condenarlo a un lugar secundario en las actividades de un país, por cuestiones meramente presupuestarias. En nuestra triste posguerra ya perdimos una importante parte de nuestra cien-

cia por cuestiones políticas. No seamos inconscientes ahora y lo hagamos por simple economicismo. En un tiempo mucho más cercano de lo que parece, el futuro de nuestro país nos lo reclamará.

Si en este número podemos encontrar un artículo de carácter realmente divulgativo es el escrito por Gonzalo Pardo y Concha Arenas. Todos los europeos, aun sin pensar en ello, percibimos que el mar Mediterráneo es especial. No solo la climatología agradable del sur de Europa lo hace peculiar. Su historia geológica es absolutamente llamativa, y sobre todo unida a episodios de catastrofismo, entendido este también en términos geológicos. Léanlo y verán de lo que es capaz la Naturaleza. Y de lo que pueden descubrir los científicos gracias al conocimiento.

Este número se completa con un artículo dedicado a la gestión del almacenamiento de los productos químicos en un laboratorio de una forma segura. Parece fácil, pero no lo es. Muchas veces se nos olvida qué es lo que hay y cuánto tiempo lleva ahí. Demasiados accidentes y percances se han producido en muchos lugares para no seguir considerándolo. Antonio Blein y la que suscribe os lo contamos.

Espero que este nuevo número vuelva a ser de vuestro interés. Llevamos bastantes años juntos y unas cuantas celebraciones. En este número quería finalizar volviendo un poco al principio. Algo que todos, cuando

éramos estudiantes de bachillerato, teníamos que sufrir, el aprender todo o parte de esa rara tabla en forma de castillo, es mucho más valioso que un mero ejercicio de memoria. Es la ordenación, y el porqué de la misma, de esos pequeños ladrillos con los que construimos las cosas que vemos, aunque todavía haya partículas más pequeñas. Feliz lectura.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS

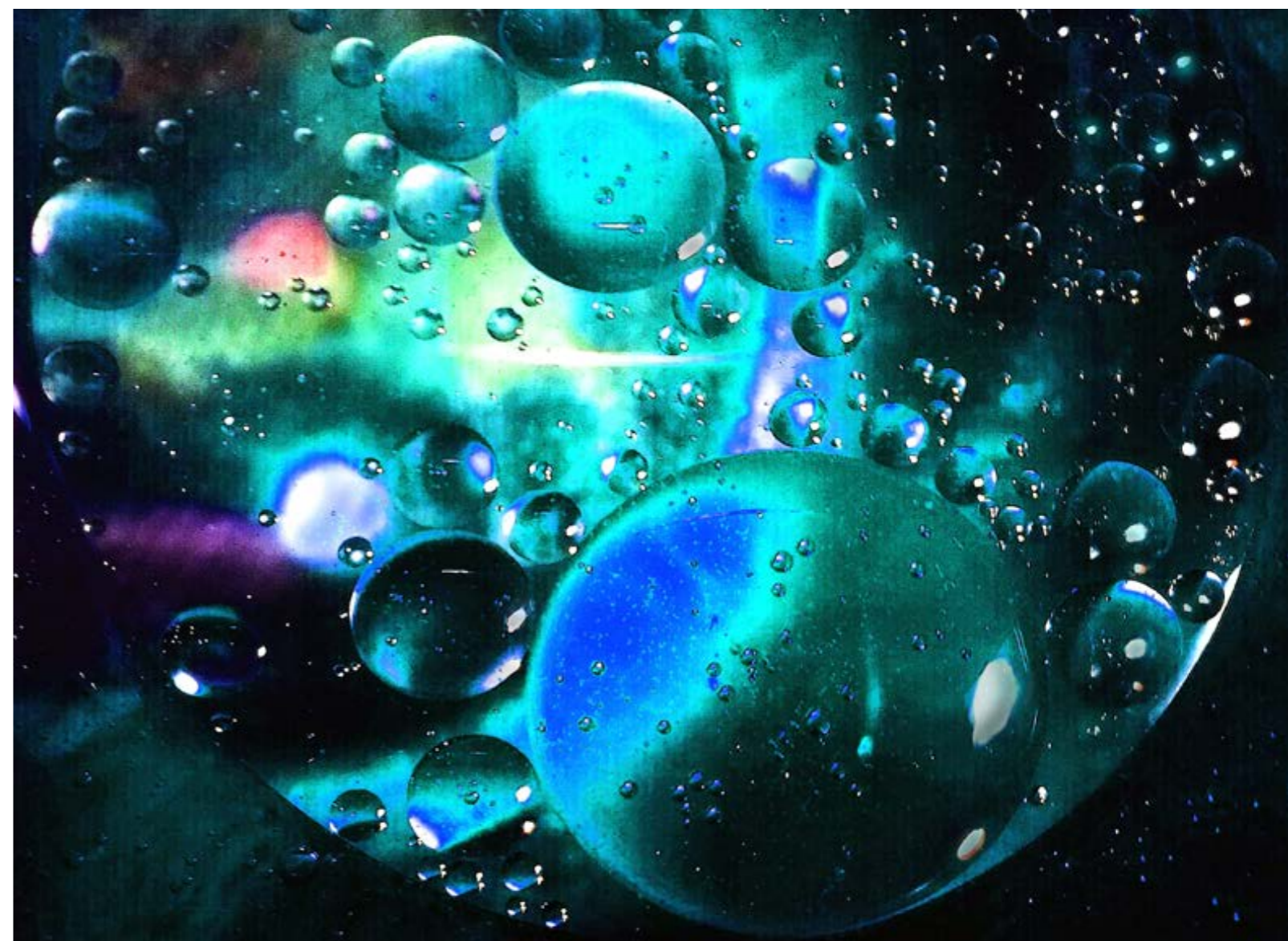


**conCIENCIAS**<sub>digital</sub>  
REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

“Ventana a la vida”  
Por Ana Serrano Tierz  
(Segundo Premio).



“150 años de la presentación pública de la primera versión de la Tabla Periódica de los Elementos de Dimitri Mendeleiev”.

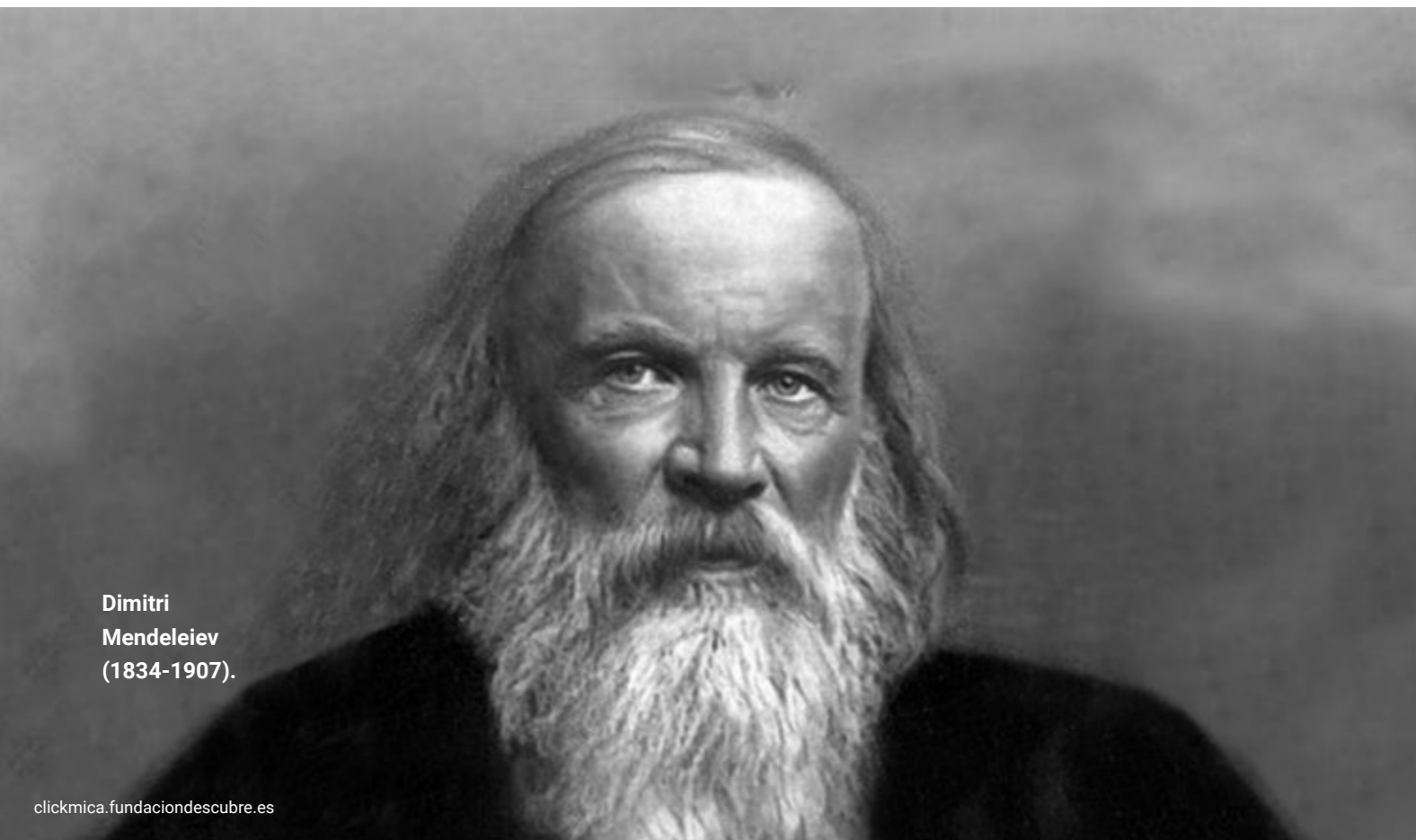




# Año Internacional de la tabla periódica de los elementos químicos

“La tabla de Mendeleiev fue capaz de acoger dentro de ella, de forma sencilla y coherente con el resto de los elementos conocidos, a otros de naturaleza química muy diferente”.

Juan José Ortega

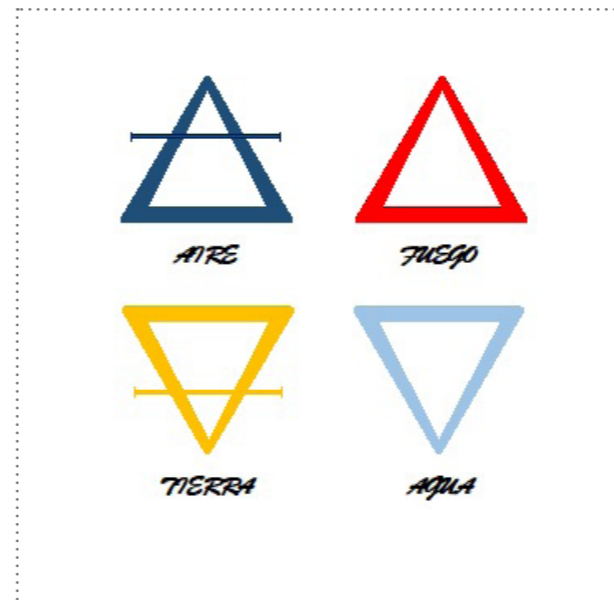


Dimitri Mendeleiev (1834-1907).

clickmica.fundaciondescubre.es

La UNESCO ha declarado 2019 como Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos al conmemorarse el 150 aniversario de la presentación, el 6 de marzo de 1869, de "La experiencia de un sistema de elementos basado en su peso atómico y similitud química" (*Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве*) por parte de Dimitri Mendeleiev.

La tabla periódica es para muchos científicos una de las piedras angulares del conocimiento íntimo de la materia y permite explicar y predecir con mucha exactitud el comportamiento químico de los elementos, basado en su estructura electrónica. Es, por decirlo de otra manera,



Los cuatro elementos.

la confirmación de que la configuración electrónica de los elementos, predicha por la mecánica cuántica, coincide y explica la reactividad de los elementos y su capacidad para formar las sustancias y los compuestos que podemos ver en nuestro mundo macroscópico. La Ciencia es única y la tabla periódica es una de las mejores formas de comprobarlo.

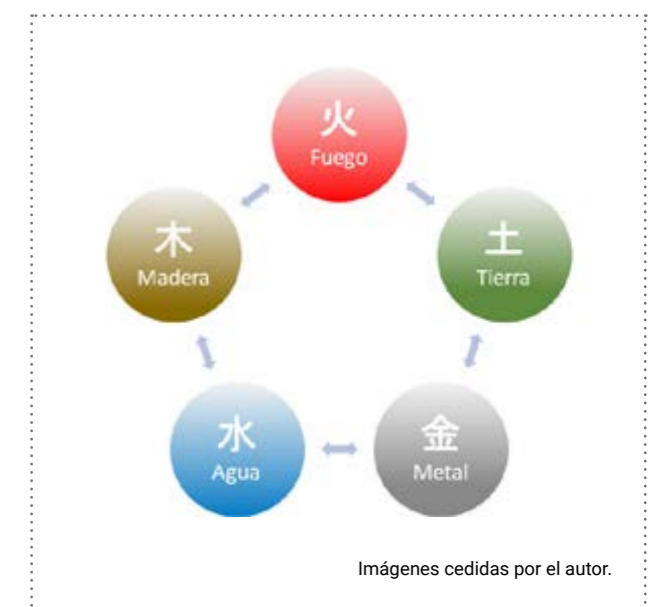
Desde el inicio de la civilización humana, la curiosidad por saber qué es y cómo se conforma la materia que nos rodea, y de la que formamos parte nosotros mismos, es nuestra compañera inseparable. No tenemos gran conocimiento de lo que las civilizaciones antiguas sabían, aunque es innegable el uso que hicieron de fórmulas para la fabricación de materiales y sustancias que les servían en su vida doméstica, desde aceites y jabones hasta todo lo necesario para preservar los cadáveres embalsamados. Se dice que el propio faraón Keops escribió el primer tratado de alquimia, ya que este conocimiento estaba muy relacionado con la magia y, por tanto, solo el dios viviente debía ser guardián de todo aquello que se consideraba procedente del más allá. Pero este saber, egipcio, mesopotámico y de otras civilizaciones del Oriente Medio, no se perdió gracias a los griegos y a su infinita ansia de saber. La vieja Alquimia hizo pensar a los primeros filósofos que algo ocurría en cada transformación de una sustancia en otra y que no

era un proceso gobernado por el azar. La repetición y repetibilidad de las reacciones les pusieron sobre la pista.

Algo que estos primeros pensadores helenos habían descubierto es que los problemas se abordaban mejor desglosándolos en elementos sencillos. Por tanto, si se quería saber qué ocurría en una transformación o por qué las sustancias eran tan diversas entre sí, lo primero que era necesario saber es cómo y de qué estaban constituidas las cosas. Los griegos eran más pensadores que científicos experimentales, por lo que casi todos ellos formularon sus teorías con poco contraste empírico. La que más éxito tuvo, por el tiempo que perduró, fue esbozada ya por los presocráticos y es conocida como la Teoría de los Cuatro Elementos. En Asia, indios y japoneses incluyeron el éter como un quinto elemento, que Aristóteles había reservado solo para los cuerpos celestes, mientras que en China la madera y el metal sustituían al aire como elemento fundamental.

Pero como no podía ser de otro modo, otro filósofo griego, también considerado presocrático, aunque coetáneo de Sócrates, propuso un modelo intelectual radicalmente diferente al anterior. Demócrito (460-370 aC), siguiendo las hipótesis de su maestro Leucipo y otros pensadores anteriores a él, propuso la teoría atomista, en la que formuló que la materia es una mezcla

Los cinco elementos chinos.



Imágenes cedidas por el autor.

de elementos originarios inmutables y eternos, infinitamente pequeños (imperceptibles) llamados átomos (ἄτομο). Esta teoría, por carecer de base empírica que la pudiera demostrar y por no contar con el apoyo de los más famosos y seguidos filósofos de la Antigüedad (Sócrates, Platón y Aristóteles), queda relegada durante más de dos milenios.

Durante todo este tiempo, las sustancias y compuestos químicos crecen en gran número. Roma y posteriormente Bizancio, China y el Imperio árabe, a lo largo de su historia, promueven un desarrollo tecnológico del que la Alquimia, ya que todavía no podemos llamarla Química, no es ajena. Lo que comprueban empíricamente todos ellos es que las sustancias se caracterizan siempre por las mismas propiedades y que su reactividad es constante. El aceite de vitriolo (ácido sulfúrico), el ácido muriático (ácido clorhídrico), los tintes de la seda, la pólvora siempre reaccionaban igual. Alguna causa debía haber detrás.

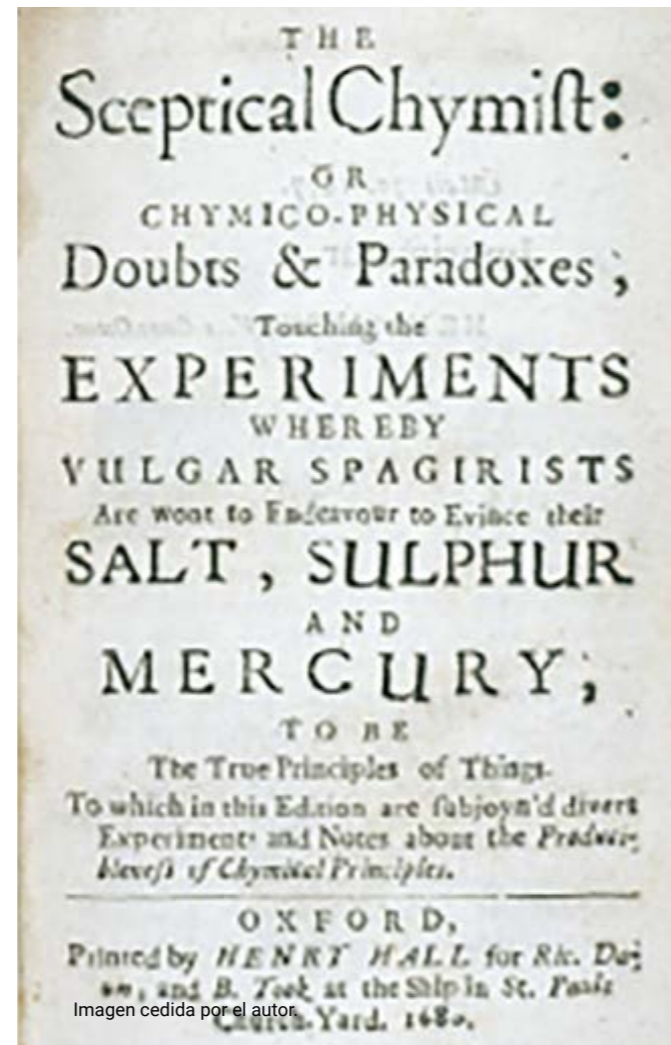
Si damos un salto en el tiempo, a finales del siglo XVII, Boyle propone que "un elemento químico es una sustancia que no puede descomponerse en otras más simples" (*The Sceptical Chymist or Chymico-Physical Doubts & Paradoxes*, Oxford 1680).

Pero todavía estamos en los tiempos en que todo es inmutable, la Tierra ocupa el centro del Universo y el hombre es el fin de la Creación. Galileo había sido condenado en 1633 por defender el heliocentrismo copernicano y, hasta el siglo siguiente (1747 y 1751), Benedicto XIV no autoriza la publicación de las obras defensoras de la nueva concepción del cosmos. La Alquimia, con su poder transformador, era un saber que todavía debía ser guardado y conocido por unos pocos y siempre bajo control. Todo lo que no era de utilidad para el príncipe, se consideraba brujería.

Como ya he dicho antes, la Ciencia es única y un gigante llamado Isaac Newton demostró en 1687 en sus *"Principia"* que las leyes de la mecánica son las mismas para todos los cuerpos, celestes o terrestres. Tras este importante hallazgo, ¿cómo era posible seguir pensando que las transformaciones químicas no seguirían también unas leyes generales comprensibles para los hombres?

**“Hasta el siglo siguiente (1747 y 1751), Benedicto XIV no autoriza la publicación de las obras defensoras de la nueva concepción del cosmos”.**

The Sceptical Chymist; Robert Boyle, Oxford 1680.



Comienza entonces una carrera para intentar comprender qué hay detrás de una reacción. Uno de los primeros en hacer una propuesta sistemática fue el francés Étienne François Geoffroy, médico y químico, que publicó en 1718 la *"Tabla de Afinidades Químicas"*, donde da una relación de las reacciones de las sustancias conocidas en su tiempo. Las tablas tuvieron bastante aceptación durante todo el siglo, pero presentaban importantes lagunas e imprecisiones. Será, tras las publicaciones de Bertholet sobre equilibrio químico (1803), cuando caigan en desuso y sean definitivamente abandonadas.

**“Étienne François Geoffroy publicó en 1718 la *Tabla de Afinidades Químicas*, donde da una relación de las reacciones de las sustancias conocidas en su tiempo”.**

Tabla de Afinidades Químicas; E.F. Geoffroy, 1718.

☿	☉	☊	☋	☌	☍	☎	☏	SM	♁	♂	♃	♀	☾	♂	♁	☽	
☉	☊	♁	♂	☉	☊	☋	☌	☍	☎	☏	☐	☑	♀	♃	♁	♂	☽
☉	♁	♀	☉	☊	☋	☌	☍	♁	☾	♀	PC	♀	☾	♂	☽	☉	
☽	♀	♃	☉	☊	☋	☌	☍	♀	♃								
SM	☾	♀	☽		♁	♂	♃	♀									
	♀	☾	♁					☾	♁								
			♀					♁	♁								
			☾					♀									
	☉							☉									

☿	Esprits acides.	☽	Terre absorbante.	♀	Cuivre.	♁	Soufre mineral.
☉	Acide du sel marin.	SM	Substances metalliques.	♂	Fer.	♁	Principes huileux ou Principe Soufre
☊	Acide nitreux.	♂	Mercure.	♃	Plomb.	♁	Esprit de vinaigre.
☋	Acide vitriolique.	♁	Regule d'Antimoine	♁	Etain.	☽	Eau.
☌	Sal alcali fixe.	☉	Or.	♁	Zinc	☉	Sel.
☍	Sal alcali volatil.	☾	Argent.	PC	Pierre Calaminaire.	☽	Esprit de vin et Esprits ardents.

Imagen cedida por el autor.

Posteriormente, Lavoisier publicó en su *“Traité Élémentaire de Chimie”* (1789), la existencia de 33 elementos químicos. Como uno de los padres de la Química, fue uno de los primeros en publicar una propuesta de clasificación de los mismos según cuatro criterios:

- Sustancias simples que pueden considerarse como elementos de los cuerpos.
- Sustancias simples no metálicas oxidables y acidificables.
- Sustancias simples metálicas oxidables y acidificables.
- Sustancias simples salidificables térreas.

A partir de este momento, los químicos se centran en la medición experimental de las características de los elementos. En 1808 Dalton formula una nueva teoría atómica, pero ahora basada en hechos empíricos a diferencia de la de Demócrito. Junto a la nueva teoría, Dalton publica también una de las primeras tablas de pesos atómicos (*“A New System of Chemical Philosophy”*, Manchester 1808).

En 1818 Berzelius, por medio de un ingente trabajo experimental basado en reacciones de reducción de óxidos, oxidación de metales, combustiones, precipitaciones y reacciones de desplazamiento, consiguió determinar con extremada precisión las masas atómicas de sustancias y elementos conocidos, basadas en los pesos del oxígeno y del hidrógeno. Tal fue su trabajo que, desde 1826, los pesos atómicos apenas han sufrido variaciones, y sobre todo debidas al desconocimiento de los isótopos y a mezclas de elementos, todavía no descubiertos en su tiempo.

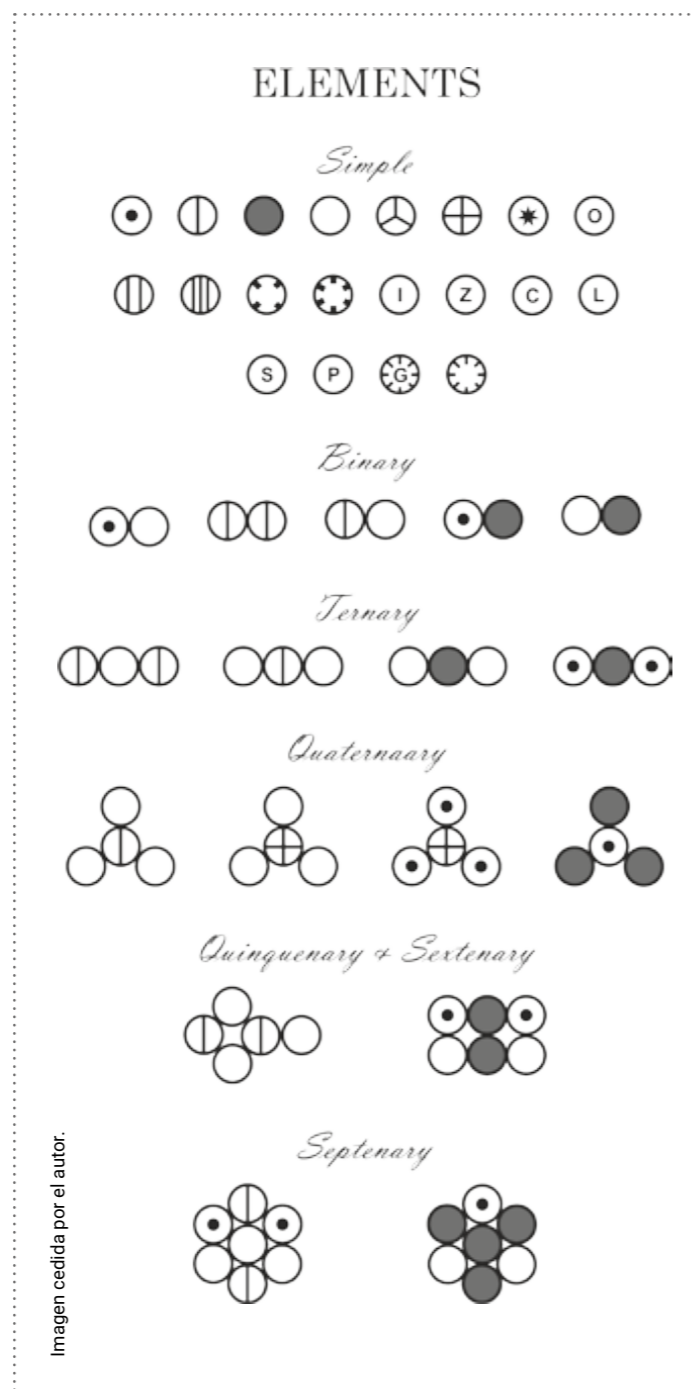


Imagen cedida por el autor.

Representación de átomos y moléculas; J. Dalton. 1808.

“El primer intento de clasificación de los elementos, que se puede considerar focalizado en la creación de una tabla de elementos agrupados de forma sistemática, se debe a Johann Döbereiner”.

El primer intento de clasificación de los elementos, que se puede considerar focalizado en la creación de una tabla de elementos agrupados de forma sistemática, se debe a Johann Döbereiner. Este científico alemán, al ir descubriéndose nuevos elementos, se percató que algunos de ellos presentaban propiedades químicas semejantes. Pensó que algunos elementos, a pesar de su diferente peso, tenían algo en común que hacía que su reactividad fuera semejante. Al agrupar los elementos con comportamientos análogos de tres en tres, llegó a la conclusión de que, si se hacía la media aritmética de sus pesos, este valor coincidía con bastante precisión con el peso del elemento central del trío. Llamó a los grupos triadas, de donde procede el nombre de “triadas de Döbereiner”. Con posterioridad y con los trabajos de otros científicos, entre los que destaca Leopold Gmelin, ya se había formulado la existencia de 20 grupos, entre triadas y conjuntos de cuatro elementos (oxígeno, azufre, selenio y telurio) y de cinco (nitrógeno, fósforo, arsénico, antimonio y bismuto).

Como todas las formulaciones existentes hasta la época estaban basadas en el uso de los pesos atómicos, la confusión y disparidad de valores existentes suponían un importante obstáculo para la elaboración de una clasificación útil. Debido a esto, junto a la necesidad de unificar la nomenclatura, los químicos alemanes Kekulé, Wurtz y Weltzien convocan a los colegas euro-

“Tras la intervención de Canizzaro se llegó al consenso general de usar el valor 1 para el hidrógeno”.

peos a un congreso en Karlsruhe en 1860. En sus últimas sesiones, y comprobando todavía la dificultad de distinguir entre masas atómicas y masas moleculares, tuvo una participación fundamental el químico italiano Stanislao Canizzaro. Tras la intervención de Canizzaro se llegó al consenso general de usar el valor 1 para el hidrógeno, 16 para el oxígeno y 12 para el carbono, lo cual permitía solventar el hecho de que tanto H como O se presentan en forma gaseosa como moléculas diatómicas. Tras el congreso de Karlsruhe, tanto la nomenclatura como la medición de las masas atómicas y moleculares fueron iguales entre todos los científicos.

Triadas de Döbereiner.

Litio	7,0	Azufre	32,0
Sodio	23,0	Selenio	79,0
Potasio	39,0	Telurio	127,6
	<b>23,0</b>		<b>79,5</b>
Calcio	40,0	Cloro	35,5
Estroncio	88,0	Bromo	80,0
Bario	137,0	Lodo	127,0
	<b>88,3</b>		<b>80,8</b>

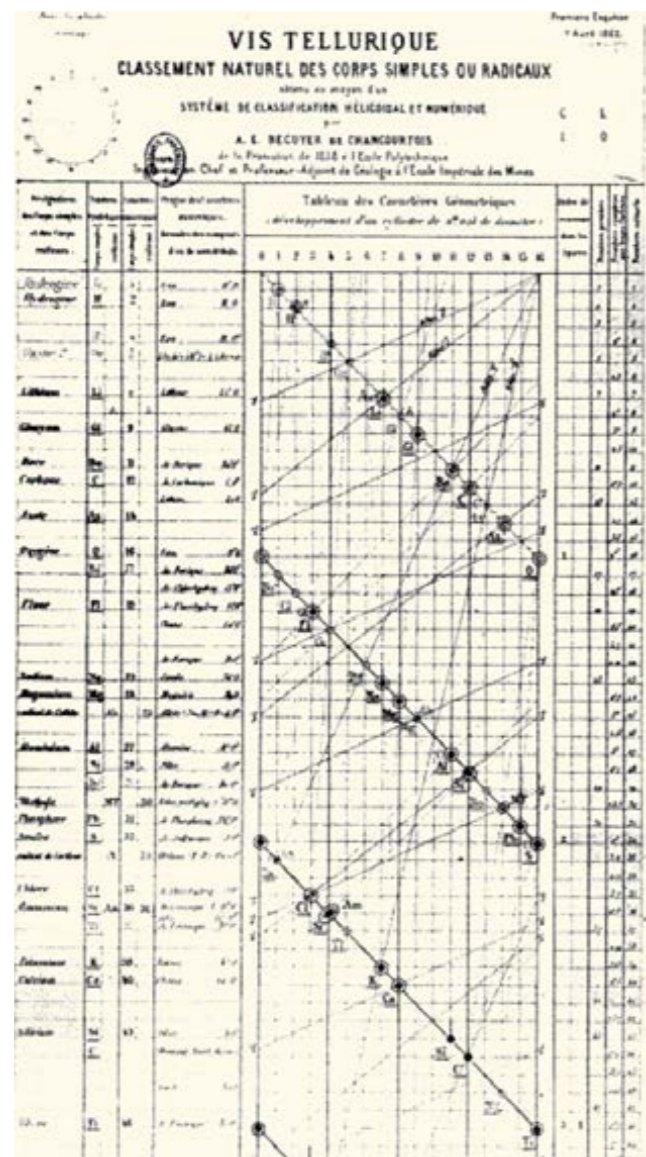


Imagen cedida por el autor.



Vis Tellurique; Chancourtois, 1862.

Uno de los intentos más espectaculares de clasificación de los elementos es el debido al químico y mineralogista francés Alexandre-Emile Béguyer de Chancourtois. Ideó un complejo sistema de clasificación alineando los elementos, según su peso creciente en una línea que presentaba una inclinación de 45° sobre la horizontal y que se enrollaba en forma de hélice a la que denominó "hélice telúrica" ("Vis Tellurique" 1862). Chancourtois comprobó que los elementos de comportamiento similar se encontraban sobre la misma generatriz del

**“El sistema era muy complejo y tampoco Chancourtois supo dar una explicación clara a la periodicidad”.**

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50							
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Os 51							
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Hg 52							
Bo 4	Al 11	Cr 19	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Tl 53							
C 5	Si 12	Ti 18	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Pb 54							
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55							
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Th 56							

Octavas; Newlands, 1866.

cilindro formado y quedaban espaciados unas 16 unidades de peso. El sistema era muy complejo y tampoco Chancourtois supo dar una explicación clara a la periodicidad, pero su trabajo no acabó en saco roto.

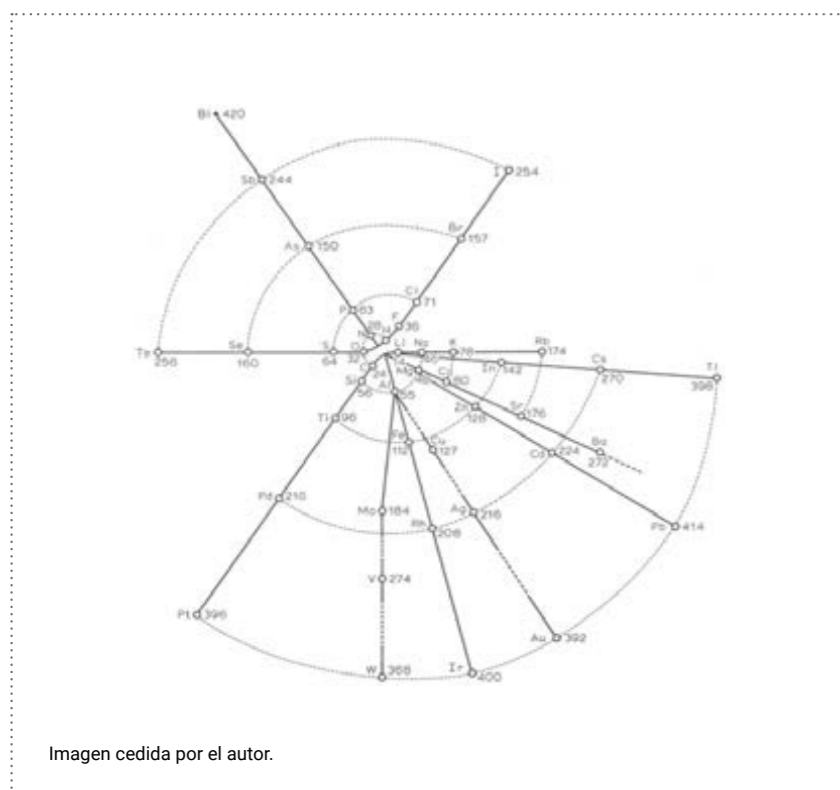
En 1864, William Odling propuso una clasificación de 57 de los 60 elementos conocidos en función de los pesos atómicos. Varias fueron sus aportaciones. La primera destacable es que clasificó los elementos de transición en forma separada, como forma de poner de manifiesto la diferencias y la importancia de estos elementos. También propuso espacios vacíos para elementos todavía no conocidos, en lo que se podían encajar algunos otros que se descubrieron posteriormente (como el Ga y el Ge, pero no el V). Finalmente es el primero en indicar que el orden del I y del Te no era el correspondiente a sus pesos, sino el inverso si se atendía a sus propiedades químicas. En 1868 publicó una segunda versión, pero en la que solo supo ubicar 46 elementos.

Simultáneamente (1863-1864), el británico John Newlands propuso una nueva ordenación de los elementos. Al colocarlos en orden creciente de pesos atómicos, observó que cada siete elementos había similitudes en sus propiedades químicas. Por analogía

**“Al colocar los elementos en orden creciente de pesos atómicos, John Newlands observó que cada siete elementos había similitudes en sus propiedades químicas”.**

con la escala musical tónica de siete notas, Newlands llamó a sus agrupaciones "octavas", lo cual valió para que su propuesta fuera considerada poco científica y no tuviera reconocimiento en su momento ni su Ley de las Octavas fuera considerada apta para publicarse por la Sociedad Química Británica tras su lectura pública. Solo a raíz de la divulgación de la tabla de Mendeleiev, y tras las aportaciones de Lewis (teoría del enlace de valencia) y de Langmuir (teoría del enlace), se reconoció la periodicidad de grupos de ocho elementos ligeros.





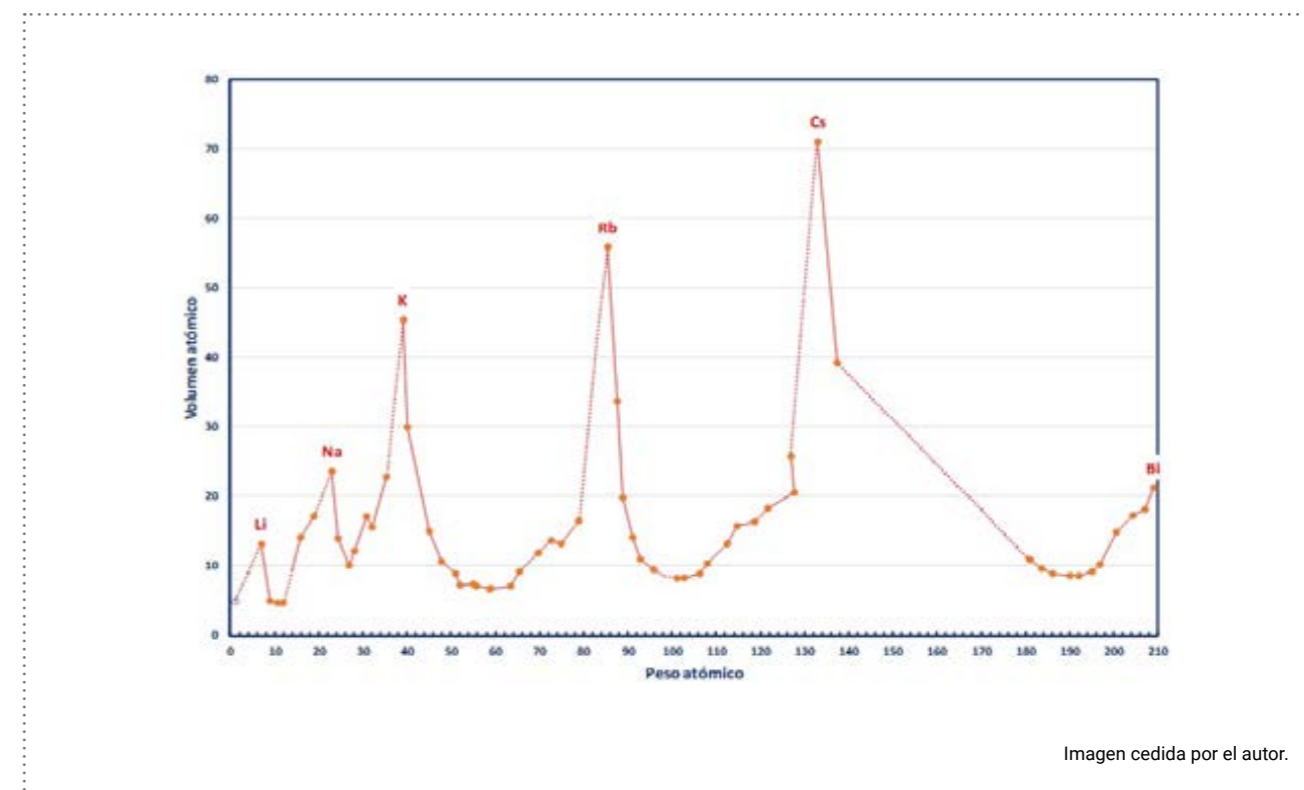
**Clasificación de Hinrich, 1867.**

En aquellos años había una auténtica efervescencia por llegar a un sistema de clasificación adecuado. Uno más que aparece por entonces es el debido al científico danés Gustavus Hinrich (aunque desarrolló su trabajo en los EE.UU.) y estaba basado tanto en los pesos atómicos como en las líneas espectrales que habían sido publicadas recientemente (década de 1860 por Bunsen y Kirchoff). Gran aficionado a la Astronomía, utilizó conceptos astronómicos y trigonométricos, clasificando los elementos en “trigonoides” y “tetragonoides”, formulando el concepto de “panátomos” como elemento fundamental de todos los elementos y de una fuerza, “pantogens”, capaz de transformarlos unos en otros. La complejidad de sus fórmulas algebraicas y sus poco ortodoxas ideas hicieron que su sistema no tuviera gran aceptación.

En 1869 Julius Lothar Meyer pensó que debía haber una correlación entre el peso atómico y el volumen de los átomos. Haciendo medidas muy precisas de los volúmenes correspondientes a una masa de cada elemento igual a su peso atómico, y medidos a la misma presión y temperatura, construyó una gráfica en la que se apreciaba un patrón común en el que los máximos correspondían siempre a los elementos alcalinos. El sistema

de Meyer se correspondía con los datos de Newlands y sus octavas, pero quedaba claro que los elementos más pesados ya no podían agruparse en conjuntos de siete elementos. Posteriormente, en 1870, Meyer aumentó su estudio con otras propiedades físicas, como los puntos de fusión y ebullición, pero para entonces Dimitri Mendeleiev ya había publicado su propuesta.

Mendeleiev presentó a la Sociedad Química de Rusia en 1869 su sistema de clasificación basado en los pesos atómicos. Su gran aportación, además de la propia clasificación, es que es la primera tabla que sirvió para predecir la existencia de elementos todavía no descubiertos cuantificando sus propiedades. El científico ruso propuso un sistema de clasificación que aportó una serie de novedades frente a los que habían aparecido hasta la fecha de gran utilidad y precisión. Además, Mendeleiev atendió también a propuestas de colegas anteriores, como era la alteración del orden de determinados elementos a pesar de que sus pesos indicaran lo contrario. También es muy destacable que la tabla de Mendeleiev fuera capaz de acoger dentro de ella, de forma sencilla y coherente con el resto de los elementos conocidos, a otros de naturaleza química muy diferente, y cuyas propiedades los hubieran he-



**Correlación entre pesos y volúmenes atómicos Meyer, 1896.**

cho de difícil ubicación si hubieran sido conocidos en el tiempo de formulación de los sistemas anteriores.

Los logros de la tabla de Mendeleiev merecen una explicación más detallada.

En primer lugar, en su formulación Mendeleiev no solo informa de que existen huecos correspondientes a elementos que todavía no se habían descubierto, sino que es capaz de predecir con una exactitud muy elevada el valor del peso atómico de dichos elementos. Predice que deben existir cuatro elementos que denominó “eka-boro”, “eka-aluminio”, “eka-silicio” y “eka-manganeso”. Con el paso de los años todos ellos fueron descubiertos:

- Eka-aluminio (peso 68) = Ga (1875, A = 69,72)
- Eka-boro (peso 44) = Sc (1879, A = 44,96)
- Eka-silicio (peso 72) = Ge (1886, A = 72,64)
- Eka-manganeso (peso 100) = Tc (1937, A = 98)
- 

En segundo lugar, al igual que ya había afirmado Odling, Mendeleiev también propone que el orden que les corresponde al Te y al I por pesos atómicos no es en el que deben aparecer según sus propiedades químicas. Pro-

**“La gran aportación de Mendeleiev, además de la propia clasificación, es que es la primera tabla que sirvió para predecir la existencia de elementos todavía no descubiertos cuantificando sus propiedades”.**

pone, por tanto, que su orden sea el inverso, apareciendo en su tabla el Te con anterioridad al I.

Finalmente, la tabla de Mendeleiev se mostró capaz de albergar los elementos químicos dentro de ella. En 1868 Janssen y Lockyer habían identificado una nueva línea en un espectro solar que identificaron como correspondiente a un nuevo elemento, helio por su presencia en el sol, pero no fue hasta 1882 cuando el físico italiano Palmieri lo descubre en la Tierra. Por su parte, Lord Rayleigh y Ramsay identifican el argón como un elemento nuevo. Es el propio Ramsey quien sugirió que el argón se colocara entre el cloro y el potasio en una familia con el helio, a pesar del hecho de que el peso atómico del argón era mayor que el del potasio. Este grupo fue llamado grupo cero debido a la valencia cero de estos elementos. En 1898, en tan solo tres meses fueron identificados el neón, el xenón y el criptón, con lo que el nuevo grupo quedaba completado.

Cuando se descubrieron los primeros lantánidos, su encaje también creó dificultades de ubicación. Fue un discípulo de Mendeleiev, el checo Bohuslav Brauner, en 1902, el primero que crea una ubicación aparte de los elementos de las tierras raras.

Ernest Rutherford y Antonius van den Broek habían trabajado determinando la carga de los átomos y su proporcionalidad con el peso atómico. Pero es Henry Moseley el que demuestra con gran precisión la carga de cada elemento y que esta se corresponde con el llamado hasta entonces número atómico, y que se correspondía con su posición en la tabla periódica. Moseley formula que "las propiedades de los elementos son funciones periódicas de los números atómicos". En 1920, James Chadwick, descubridor del neutrón, demostró que la carga de un átomo se corresponde con el número de protones del núcleo. El número atómico, el concepto que, aún sin conocerlo, fue el uti-

The image shows a modern periodic table with elements color-coded by groups. It includes the Lanthanide and Actinide series at the bottom. The table is organized into periods (rows) and groups (columns). The elements are labeled with their symbols and atomic numbers. The Lanthanide series is marked with an asterisk (\*) and the Actinide series with two asterisks (\*\*).

wikipedia.org

**ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ.**

ОСНОВАНИИ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ

Primera Tabla Periódica D. Mendeleiev, San Petersburgo 1869

		Тl = 50	Zr = 90	? = 180.	
		Y = 51	Nb = 94	Ta = 182.	
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186.	
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4	
		Fe = 56	Ra = 104,4	Ir = 198.	
	Ni = Co = 59	Pi = 106,6	Os = 199.		
		Cu = 83,4	Ag = 108	Hg = 200	
H = 1	Be = 9,4	Mg = 24	Zn = 65,2	Cd = 112	
	B = 11	Al = 27,4	? = 68	Cr = 116	Au = 197?
	O = 12	Si = 28	? = 70	Sn = 118	
	N = 14	P = 31	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
	Q = 16	S = 32	Se = 79,4	Te = 128?	
	F = 19	Cl = 35,5	Br = 80	I = 127	
Li = 7	Na = 23	K = 39	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204.
		Ca = 40	Sr = 87,6	Ba = 137	Pb = 207.
		? = 45	Ce = 92		
		? Er = 58	La = 94		
		? Y = 60	Di = 95		
		? In = 75,6	Th = 118?		

Д. Менделѣевъ.

Imagen cedida por el autor.

lizado por Mendeleiev para su primera ordenación, correspondía al número de protones-electrones de cada elemento, y a estos sus propiedades químicas.

El resto de elementos, conforme se descubrían o se sintetizaban, iban encontrando acomodo en la tabla periódica. Alfred Werner colocó los elementos de transición entre los alcalino-térreos y los no metales, como ya había sido indicado por Odling con anterioridad. Posteriormente, el químico austro-británico Friedrich Paneth propuso escribir los elementos lantánidos fuera de la tabla, tal y como hoy es frecuente hacer. Finalmente, en la década de los años cuarenta del siglo XX, Glenn Seaborg propone la creación de un grupo nuevo, los actínidos, similar al correspondiente de los lantánidos para acoger a los elementos transuránidos. Seaborg y su equipo llegaron a proponer incluso una nueva serie, que denominaron superactínidos, que se correspondería con los elementos de números atómicos entre el 122 y el 153. El 28 de noviembre de 2016 la IUPAC aprobó el nombre para el último elemento caracterizado, cuyo número atómico corresponde a 118, su nombre a oganesón y su símbolo Og.

La tabla periódica ha sido obra de muchos científicos, anteriores y posteriores a Dimitri Mendeleiev. Pero su historia nos demuestra qué es lo importante en la Ciencia y es la causa de que una teoría perdure mucho más allá del descubridor. La tabla de Mendeleiev demostró una gran utilidad en la explicación de los fenómenos de la Naturaleza, mostrándose a la vez como una utilísima herramienta para predecir aquellos otros que o no han sido descubiertos por nosotros o no nos hemos percatado de su existencia. Todo lo que una buena teoría científica debe ser.

Juan José Ortega  
Tesorero del Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra



# Henry Moseley

rayos x,  
tabla periódica  
y guerra

“Gracias a Moseley, ahora nadie puede decir que es difícil aprender y entender la tabla periódica”.

Pascual Román



Los padres de Henry.



La Primera Guerra Mundial comenzó el 28 de julio de 1914 y finalizó con el Armisticio del 11 de noviembre de 1918. Se produjeron más de 39 millones de pérdidas humanas entre muertos, heridos y desaparecidos de los dos bandos contendientes. Tal vez, la mayor y más trágica pérdida para el progreso de la Ciencia fue la del brillante físico británico Henry Moseley. En aquel entonces, Moseley estaba considerado como uno de los jóvenes físicos británicos más prometedores del mundo y uno de los más geniales experimentadores de la Historia de la Ciencia, continuador de la trayectoria de Michael Faraday (1791-1867) y Ernest Rutherford (1871-1937, premio Nobel de Química de 1908) su maestro y mentor. Mucho antes de que ocurriera este trágico suceso de guerra había sido propuesto por Svante Arrhenius (1858-1927, premio Nobel de Química en 1903) para optar a los premios Nobel de Física y de Química del año 1915. ¿Cómo es posible que un científico de la talla de Moseley quisiera ir voluntariamente a la guerra a primera línea de fuego desoyendo los lamentos de su madre y los consejos y ruegos de su amigo y mentor Rutherford?\*

\* Este artículo fue publicado con anterioridad en *conCIENCIAS* nº 13, pp. 4-21 (mayo 2014).



▲ Moseley después de ingresar en Oxford (1906).

Henry Gwyn Jeffreys Moseley, "Harry", como se le conocía en su ambiente familiar y entre sus amistades, procedía de una distinguida familia por sus relevantes contribuciones a la Ciencia tanto por el lado paterno como el materno. Nació en Weymouth, Dorsetshire, en la costa sur de Gran Bretaña, el 23 de noviembre de 1887. Era el tercer hijo de la familia compuesta por su padre Henry Nottidge Moseley (1844-1891), su madre Amabel Gwyn Jeffreys Moseley y sus dos hermanas Betty, nacida en 1883, y Margery, que vino al mundo en 1884. Su padre fue zoólogo, profesor de Anatomía y Fisiología en la Universidad de Oxford, protegido de Charles Robert Darwin (1809-1882) y fundador de una gran escuela de Zoología en Oxford. Fue miembro científico de la expedición del *HMS Challenger* (1872-1876), que realizó grandes descubrimientos para establecer las bases de la Oceanografía. De esta expedición nos legó *Notes by a Naturalist on the "Challenger"* (1879). Además, fue *Fellow of the Royal Society* (FRS) desde 1877 hasta el año de su fallecimiento. El abuelo paterno de Harry, Canon Henry Moseley (1801-1872), fue FRS y el primer profesor de Física y Matemáticas del *King's College* de Londres y una autoridad internacional en Arquitectura naval. Su abuelo materno, John Gwyn Jeffreys (1809-1885), fue oceanógrafo, FRS y decano de los conchilólogos –científico que estudia las conchas de los moluscos– británicos. Entre sus amigos de la infancia destacan los FRS: Julian Sorell Huxley (1887-1975), hermano del escritor Aldous Huxley (1894-1963) y primer director de la UNESCO y Charles Galton Darwin (1887-1962), nieto de Charles Darwin. Es una curiosa coincidencia que los tres amigos nacieran en el mismo año de 1887.

El padre de Harry murió el 10 de noviembre de 1891, a los 47 años de edad de esclerosis cerebral, antes de que su hijo cumpliera los cuatro años. Al enviudar su madre se trasladó a Chilworth, cerca de Guildford en Surrey (sudeste de Inglaterra), donde Harry y sus hermanas completaron la educación elemental. Su madre se ocupó de que sus hijos recibieran una esmerada formación basada en el estudio de la Música, las Matemáticas y los idiomas. A los nueve años Harry fue enviado a *Summer Fields School* cerca de Oxford, que era la escuela preparatoria para los *King's Scholars*, premiados con becas para ingresar en *Eton College*.

“¿Cómo es posible que un científico de la talla de Moseley quisiera ir voluntariamente a la guerra a primera línea de fuego?”.

Antes de ingresar en Eton ocurrió una nueva desgracia familiar, su hermana mayor Betty falleció en 1899 con tan sólo dieciséis años. A partir de entonces, su hermana Margery, tres años mayor que Harry, se convertiría en su confidente y mejor amiga de juegos con quien realizaba expediciones para coger nidos. Tuvo que superar un duro examen para entrar en esta prestigiosa institución en la que ingresó en 1901 a los 13 años. Eton estaba considerada como la escuela pública más famosa del mundo y había sido fundada en 1441 por el rey Enrique VI. Destacó en Matemáticas y comenzó sus estudios de Química y Física para graduarse en Ciencias Naturales.

En 1906, Henry ingresó en el *Trinity College* de la Universidad de Oxford con una beca Millard para cursar Ciencias Naturales, donde se licenció en 1910. Obtuvo los grados de Matemáticas (primera clase), y Físicas (segunda clase) lo que siempre consideró un gran

*“Moseley mostró desde muy temprano una marcada originalidad y un gran entusiasmo por la Ciencia”*

Ernest Rutherford.

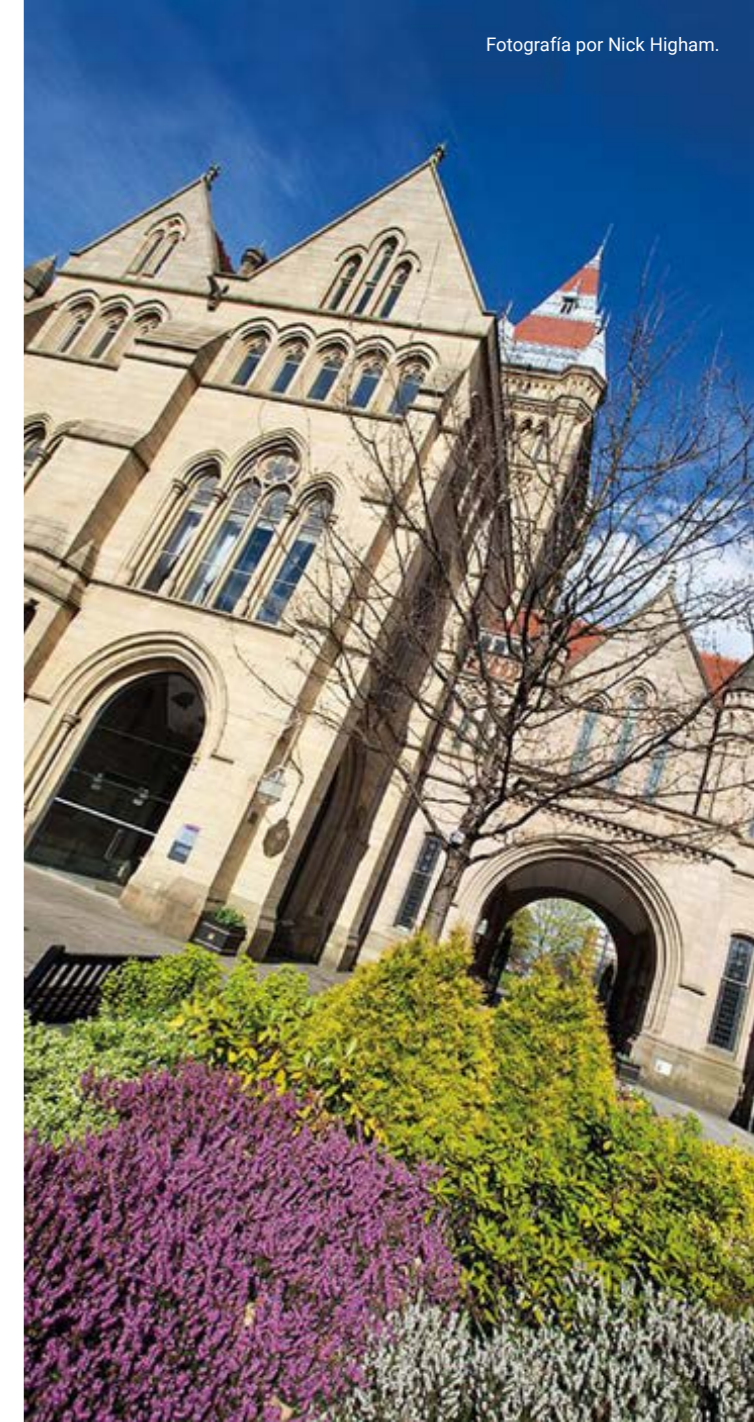
Moseley en el laboratorio Balliol-Trinity de la Universidad de Oxford en 1910.



<http://bit.ly/1hneMuX>

fracaso. Durante su estancia en Eton tuvo un profesor que ejerció una gran influencia en Moseley: Thomas Cunningham Porter (1860-1933), uno de los primeros ingleses en experimentar con los rayos X. Porter publicó en 1896 dos artículos en la revista *Nature* sobre la radiación Röntgen, quien había descubierto los rayos X en noviembre de 1895. Porter era uno de los profesores preferidos de Moseley, ya que utilizaba pocos textos y realizaba experimentos desafiantes. Antes de dejar Eton, Henry se especializó en el análisis cuantitativo y, entre otros experimentos, midió el punto de congelación de las disoluciones salinas a diversas temperaturas. Antes de graduarse en el *Trinity College*, Moseley contactó con el profesor Ernest Rutherford, que para entonces ya era premio Nobel de Química, en la Universidad Victoria de Manchester a quien le expresó el deseo de trabajar con él. Rutherford lo aceptó y comenzó a trabajar bajo su dirección en septiembre de 1910.

En el artículo que Rutherford escribió el 9 de septiembre de 1915 en *Nature* tras la muerte de Moseley decía de él: “Moseley mostró desde muy temprano una marcada originalidad y un gran entusiasmo por la Ciencia”. Un año antes de graduarse [1909] había decidido llevar a cabo un trabajo original en física, y visitó Manchester para discutir el asunto conmigo. Tras su graduación, fue nombrado profesor ayudante de clases prácticas en el departamento de Física de la Universidad de Manchester, e inmediatamente dedicó todo su tiempo libre a la investigación. Después de dos años renunció a su puesto de profesor ayudante para dedicar todas sus energías a la investigación, y fue premiado con una beca John Harling”. Inicialmente, Moseley trabajó con Rutherford en problemas de radiactividad. El primer reto científico de investigación que Rutherford le propuso fue la determinación del número de partículas  $\beta$  que se expulsaban en la desintegración del radio B ( $^{214}\text{Pb}$ ) o radio C ( $^{214}\text{Bi}$ ). El resultado final al que llegó fue una partícula  $\beta$ , que era el correcto. Durante este periodo aprendió técnicas de vacío y radiactividad. Se pasaba más de quince horas trabajando en el laboratorio en los problemas que Rutherford le proponía. A Moseley no le gustaba la docencia. Su verdadera pasión era la investigación. Heilbron, sin duda, su mejor biógrafo, decía: “Moseley encontró a los estudiantes estúpidos y provincianos y enseñó sin entusiasmo”. Colaboró en pequeños proyectos que le permitían trabajar con partículas  $\alpha$  y rayos  $\gamma$ , que finalizó en la primavera de 1912 junto con su actividad docente. En otoño de 1912, con la beca del industrial de Manchester John Harling, Moseley se dedicó a tiempo completo a su verdadera vocación: la investigación.



Universidad de Manchester (Reino Unido).



<http://www.angelfire.com>

▲  
**Rutherford con los miembros de su laboratorio en la Universidad Victoria de Manchester en 1910. Moseley es el segundo por la izquierda de la primera fila**

Desde finales de 1911, el físico danés Niels Bohr (1885-1962, premio Nobel de Física en 1922) realiza una estancia postdoctoral, becado por la Fundación Carlsberg, en Inglaterra primero con Josep John "J. J." Thompson (1856-1940, premio Nobel de Física en 1906) en la Universidad de Cambridge con quien no congenió y tuvo una mala experiencia. Desde marzo hasta julio de 1912 va a trabajar en el laboratorio de Rutherford en Manchester, donde adapta el modelo planetario de éste a la teoría de Plank. Hay que detenerse un momento para pensar que, en aquel año de 1912, se encontraron en la Universidad Victoria de Manchester, entre otros, tres grandes genios de la Física: Rutherford, Moseley y Bohr, que con sus aportaciones individuales cambiaron el curso de la Historia de la Ciencia en aspectos tan esenciales como la estructura del átomo, los primeros

modelos atómicos y la ordenación de los elementos químicos de la tabla periódica. Para ello utilizaron y contribuyeron a desarrollar de manera decisiva las incipientes, pero poderosas, áreas de la Ciencia como: la radiactividad, la difracción de los rayos X y la mecánica cuántica. Basándose en las teorías de Rutherford, Bohr publica en 1913 una serie de tres artículos que fueron comunicados por Ernest Rutherford en la revista *Philosophical Magazine* con el título *On the Constitution of Atoms and Molecules I, II y III* en los que desarrolla su modelo atómico introduciendo en el modelo de Rutherford la cuantización a partir de ciertos postulados.

Cuando Moseley conoce los trabajos de Max von Laue (1879-1960, premio Nobel de Física en 1914) sobre la difracción de los rayos X por los cristales y los experimentos realizados por Walter Friedrich (1883-1968) y Paul Knipping (1883-1935) sugeridos por Laue en julio de 1912, pide permiso a Rutherford para comenzar sus investigaciones independientemente de él en el campo de los rayos X. Trató de reconciliar las ideas de Laue con los experimentos de William Henry Bragg (1862-1942, premio Nobel de Física de 1915, compartido con su hijo William Lawrence Bragg (1890-1971)) sobre su naturaleza ondulatoria. Visitó a William H. Bragg, que era catedrático de Física en la Universidad de Leeds e inventor del espectrómetro de rayos X, quien le instruye en las técnicas de la difracción. Para llevar a cabo este estudio solicita la colaboración de su amigo el físico matemático Charles Galton Darwin. Fruto de esta colaboración, Darwin y Moseley publicaron un excelente artículo en julio de 1913 en la revista *Philosophical Magazine*, titulado: *The Reflexion of the X-rays*. Moseley y Darwin descubrieron que la radiación procedente de un tubo de rayos X utilizando platino como anticátodo era de dos tipos: 1) radiación de una longitud de onda indefinida análoga a la luz blanca y 2) cinco tipos de radiación monocromática, probablemente característica del platino. Ellos establecieron las bases de la espectroscopía de rayos X. La ley de Bragg ( $n\lambda = 2d \sin\theta$ ) fue empleada para calcular las longitudes de onda de los cinco tipos de radiaciones monocromáticas. También encontraron que los rayos X no se formaban en el cristal porque to-

**“En aquel año de 1912, se encontraron en la Universidad Victoria de Manchester tres grandes genios de la Física: Rutherford, Moseley y Bohr.”**

das sus propiedades eran independientes de la naturaleza del cristal reflectante. Tras la publicación de este trabajo, Darwin decidió dejar la investigación sobre los rayos X y continuar con otros problemas relacionados con la Física matemática. Por su parte, Moseley creyó que podía acometer el proyecto en solitario. Pensó que el descubrimiento de las longitudes únicas de los rayos X de cada elemento conocido podía ofrecer a la Ciencia una poderosa herramienta que permitiría iluminar los secretos de la estructura del átomo.

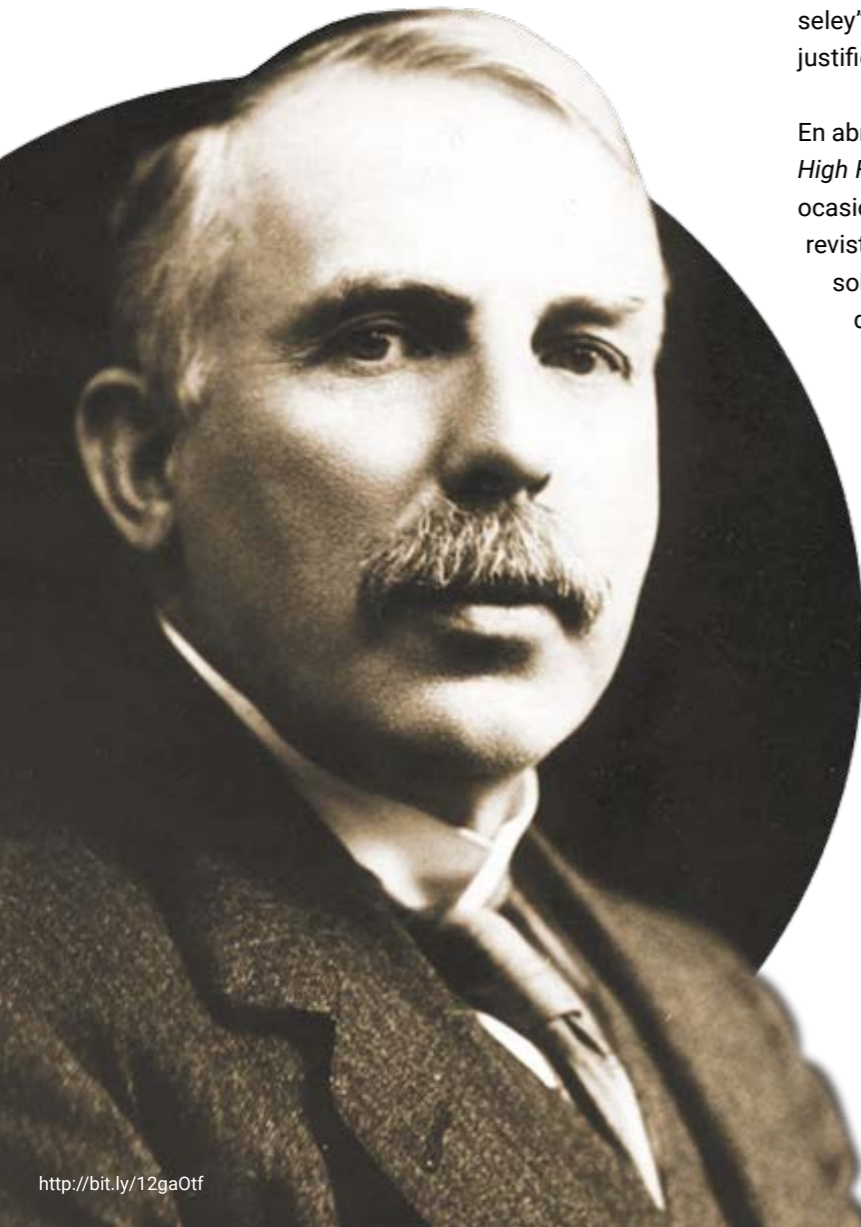
Tras su estancia en Leeds e instalado de nuevo en Manchester, Moseley utiliza la radiación X, adopta la ecuación de Bragg y su método para determinar la acción de los rayos X sobre distintos elementos químicos desde el aluminio al oro y descubre la ley que lleva su nombre. Introduce un importante cambio: sustituye la cámara de ionización de Bragg por la placa fotográfica como detector. Su dieta en aquellos días era muy frugal. Su comida consistía en fruta, cenaba pan y queso y comía alguna cosa a las tres de la madrugada, si es que encontraba algún local abierto en Manchester a esas horas.

En el verano de 1913, Moseley comienza sus estudios de irradiar distintos metales con los rayos X. Empieza con la pareja cobalto y níquel. Para medir con mayor celeridad las muestras, inventa un ingenioso dispositivo que le permite cambiar el anticátodo en el tubo de rayos X sin interrumpir el vacío. Comprueba que la frecuencia de los rayos X está relacionada con el número atómico ( $Z$ ) y no como se creía hasta entonces con el peso atómico ( $A$ ).

En noviembre de 1913, Rutherford le ofrece una plaza para que permanezca a su lado, Moseley la rechaza porque se había comprometido con la Universidad de Oxford. Continúa sus investigaciones iniciadas en Manchester y ocupará una cátedra de Física cuando quede vacante, a la vez que le permitía estar más cerca de su madre. Allí dispondrá de un laboratorio peor dotado que el de Manchester y desarrollará sus investigaciones con una beca del Instituto Internacional de Física Solvay. En diciembre de este año y comunicado por Rutherford, publica en la revista *Philosophical Magazine*

su artículo seminal *The High Frequency Spectra of the Elements* (Manchester, 1913). Rutherford resume este periodo de la vida de Moseley en su artículo de *Nature* antes citado con estas palabras: "El pasado año [1914, en realidad, dejó Manchester en noviembre de 1913] marchó a Oxford para vivir con su madre, y continuar sus experimentos en el laboratorio del profesor Townsend". En su artículo Moseley examina doce metales, los comprendidos entre el calcio y el cinc, a excepción del escandio, que aunque se conocía, Moseley no pudo

**Ernest Rutherford**  
(1871-1937).



obtener una muestra del mismo. Observa que los espectros de algunos elementos contenían otras líneas de menor intensidad. Moseley piensa que estas líneas se deben a la presencia de impurezas en las muestras metálicas. Para probar esta idea, analiza el latón y encuentra las líneas  $K_{\alpha}$  y  $K_{\beta}$  características del cobre y el cinc. Moseley concluye: "La prevalencia de las líneas debidas a las impurezas sugieren que esta [técnica] puede ser un poderoso método de análisis químico. Su ventaja sobre los métodos espectroscópicos ordinarios se halla en la simplicidad de los espectros y en la imposibilidad de que una substancia enmascare la radiación de otra. Incluso puede conducir al descubrimiento de elementos perdidos, porque será posible predecir la posición de sus líneas características". El tiempo demostraría que esta idea era totalmente correcta. Moseley generó un diagrama utilizando los espectros de rayos X en orden decreciente de sus pesos atómicos desde la izquierda hasta la derecha con el espectro del latón (aleación de cobre y cinc) en la parte inferior y el del calcio en la parte superior. Este célebre diagrama se conoce como la "escalera de Moseley" o "ley de Moseley". Esta ley es históricamente importante porque justificaba el modelo nuclear del átomo de Rutherford.

En abril de 1914, publica la segunda parte de su artículo *High Frequency Spectra of the Elements. Part II*. En esta ocasión, es el propio Moseley quien lo comunica a la revista *Philosophical Magazine*. En su segundo artículo sobre el estudio de los espectros de alta frecuencia de los elementos químicos recoge un resumen con las principales conclusiones de su trabajo, que por su trascendencia para la Ciencia se transcriben a continuación:

**"La ley de Moseley es históricamente importante porque justificaba el modelo nuclear del átomo de Rutherford".**

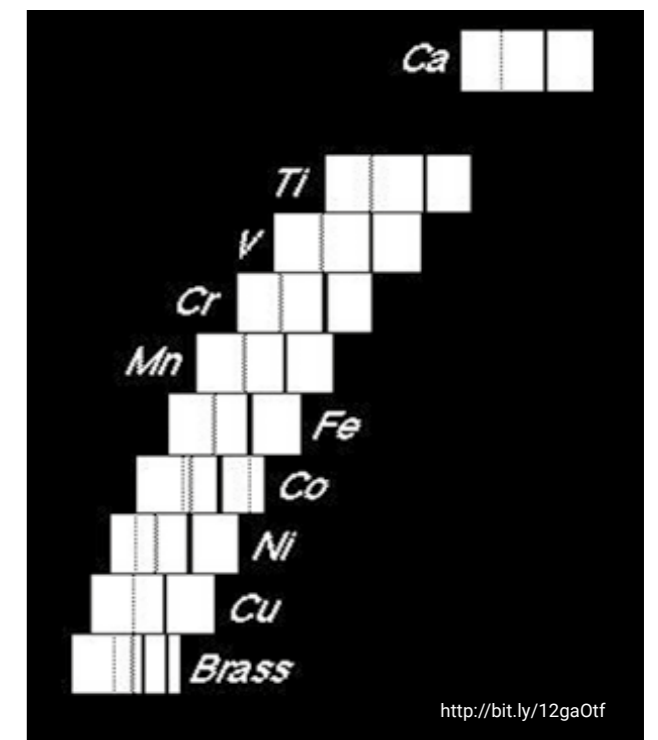
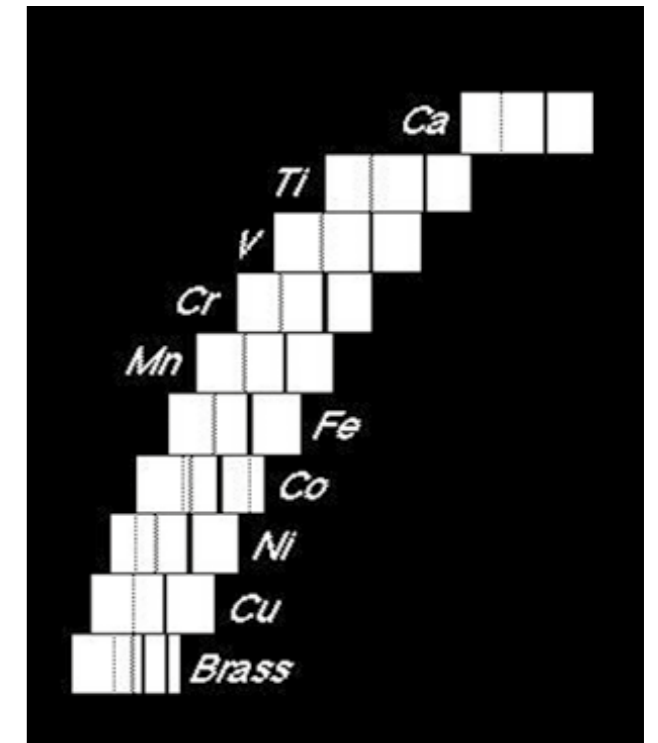
Sumario.

1. Cada elemento desde el aluminio al oro se caracteriza por un número entero  $N$  que determina su espectro de rayos X.
2. Este número entero  $N$ , el número atómico del elemento, se identifica con el número de unidades positivas de electricidad contenidas en el núcleo.
3. Los números atómicos de todos los elementos desde el Al hasta el Au han sido tabulados suponiendo que  $N$  para Al es 13.
4. El orden de los números atómicos es el mismo que el de los pesos atómicos, excepto donde los últimos no concuerdan con el orden de las propiedades químicas.
5. Los elementos conocidos se corresponden con todos los números entre 13 y 79 excepto tres. Hay aquí tres posibles elementos que todavía no se han descubierto.
6. La frecuencia de cualquier línea en el espectro de rayos X es aproximadamente proporcional a  $A(N-b)^2$ , donde  $A$  y  $b$  son constantes.

En este artículo confirma la ley que lleva su nombre (o de los números atómicos):

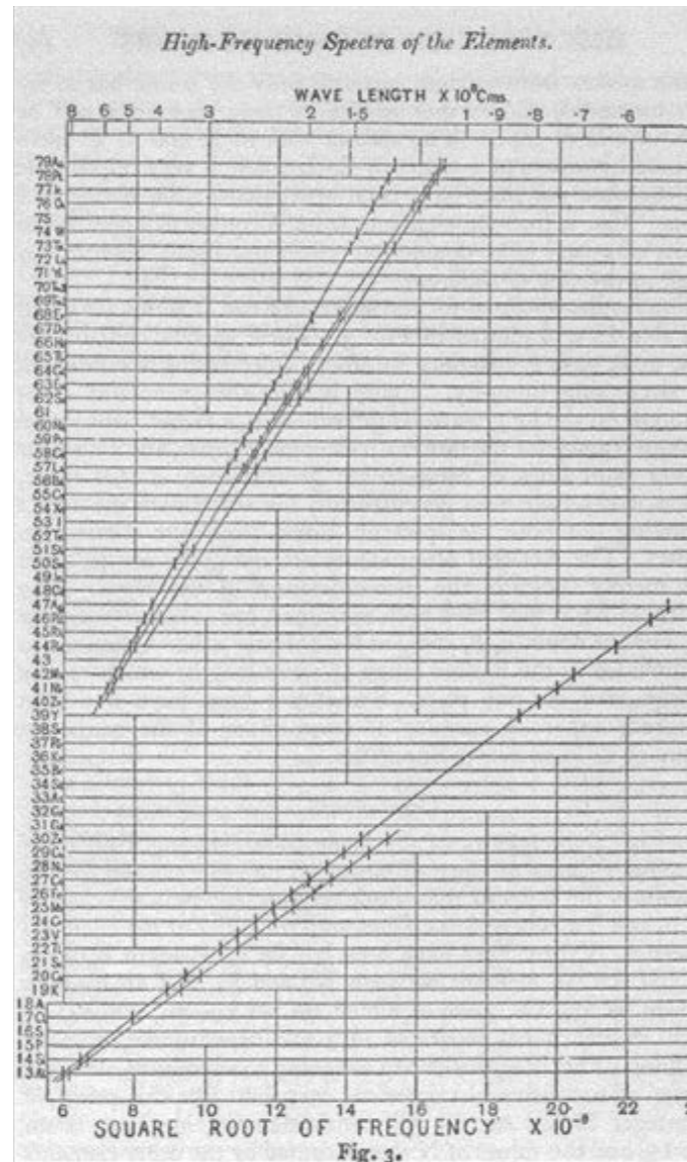
$$\nu = A(N-b)^2,$$

donde  $\nu$  es la frecuencia de las líneas espectrales de los rayos X,  $N$  es el número atómico (actualmente se representa por  $Z$ , que es el número de protones del núcleo atómico, y que define sus propiedades físicas y químicas),  $A$  y  $b$  son dos constantes de las líneas espectrales. En su ley, relaciona la raíz cuadrada de la frecuencia de las líneas espectrales de los rayos X de cada elemento con el número atómico. Aunque su estudio abarca los elementos del aluminio al oro, su ley permite predecir la existencia de nuevos elementos más allá del uranio ( $Z = 92$ ), el elemento químico de mayor valor de  $Z$  conocido en 1914. En este artículo destaca la figura que relaciona el número atómico ( $N$ , según su expresión) con la raíz cuadrada de la frecuencia de las series espectrales  $K$  y  $L$ . En la parte inferior derecha de la gráfica original que se conserva en la sala de Moseley del Laboratorio Clarendon de la Universidad de Oxford se puede leer el siguiente texto: "curve drawn by H. G. J. Moseley in 1914 in the Electrical Laboratory. (see *Phil. Mag.* Vol. 27. P703 April 1914) J S Townsend". Sin embargo, en esta gráfica se aprecian algunas incorrecciones en algunos elementos de las tierras raras. Entre los elementos de números atómicos 66 y 72, cambia el orden del



La escalera de Moseley (1913).

“Moseley predice la existencia de tres nuevos elementos no descubiertos hasta entonces, como el tecnecio, el prometio y el renio”.



Dy y el Ho, al elemento con N = 70 lo llama TmII (ahora es el Yb), a los elementos con N = 71 y 72 los identifica como Yb y Lu (en la actualidad son Lu y Hf, respectivamente). No obstante, los aciertos superan con creces a las imprecisiones. Así, Moseley predice la existencia de tres nuevos elementos no descubiertos hasta entonces, dejando tres huecos sin nombrar, como el tecnecio (Tc, Z = 43, aislado por Carlo Perrier y Emilio Segre en Italia en 1937), el prometio (Pm, Z = 61, aislado por Jacob A. Marinsky, Lawrence E. Glendenin y Charles D. Coryell en EE. UU. en 1945) y el renio (Re, Z = 75, aislado por Walter K. F. Noddack, Ida E. Tacke y Otto C. Berg en Alemania en 1925), basándose en su nueva ley. Por otra parte, ubica correctamente las parejas de elementos Ar - K, Co - Ni y Te - I, que muestran pesos atómicos anómalos.

En mayo de 1914, Moseley recibe la visita del gran químico francés Georges Urbain (1872-1938), profesor de Química de la Universidad de París. Urbain se había especializado en las técnicas de separación de los elementos de las tierras raras. En 1907, tras 15.000 ciclos de cristalización fraccionada obtuvo el lutecio (Z = 71), el último de los elementos de la serie de los lantánidos o tierras raras. También reivindicó en 1911 el descubrimiento del elemento de número atómico 72, al que denominó celtio. Sin embargo, este elemento les fue atribuido a Dirk Coster (1889-1950) y George Charles de Hevesy (1885-1966, premio Nobel de Química en 1943), dos colaboradores de Niels Bohr, que lo descubrieron

Relación entre el número atómico de los elementos químicos y la raíz cuadrada de la frecuencia de las líneas espectrales de rayos X (1914).

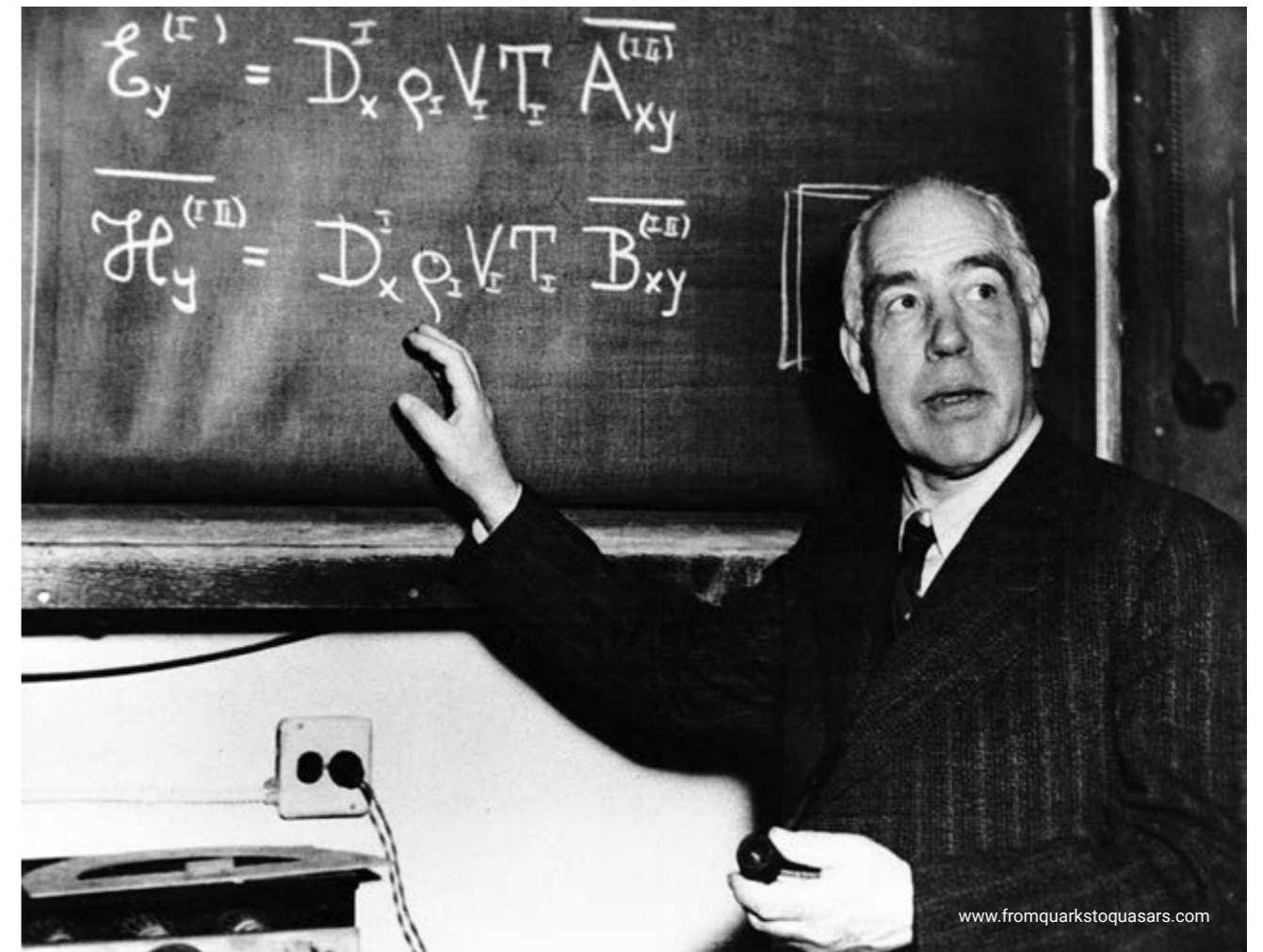
<http://bit.ly/loM6T1>

en Copenhague en 1923, en minerales de circonio y al que dieron el nombre de hafnio (del nombre latino Hafnia que significa Copenhague). En la visita a Moseley, que se hallaba en la Universidad de Oxford, Urbain llevó un importante número de minerales que contenían elementos de las tierras raras. En una semana, Moseley identificó en las muestras de Urbain los elementos erbio, tulio, iterbio y lutecio. Esta caracterización le había llevado a Urbain más de veinte años. Urbain se quedó admirado de la rapidez y precisión del método de Moseley. Sin embargo, entre las muestras no halló el elemento de número atómico 72, es decir, el celtio. Esto produjo una profunda decepción al químico francés.

En junio de 1914, acompañado de su madre, visita Canadá y Australia para asistir a finales de julio al congreso de la *British Association for the Advancement of Science* (BAAS) que tendría lugar en Australia y Nueva Zelanda. En Melbourne tomó parte activa en

“Georges Urbain reivindicó en 1911 el descubrimiento del celtio. Sin embargo, este elemento les fue atribuido a Dirk Coster y George Charles de Hevesy, dos colaboradores de Niels Bohr”.

Niels Bohr (1885-1962).







▲  
**Tropas de asalto alemanas entrenándose cerca de Sedán (Francia, mayo de 1917).**

la discusión sobre "Structure of the Atom". En Sydney informó sobre sus más recientes investigaciones con los espectros de rayos X de las tierras raras.

El asesinato del archiduque Francisco Fernando de Austria, heredero al trono austrohúngaro, y de su esposa, la condesa Sofía Chotek, el 28 de junio de 1914 en Sarajevo fue el detonante de la Primera Guerra Mundial. El atentado fue consumado por Gavrilo Princip, miembro de la facción terrorista Mano Negra. La I Guerra Mundial comenzó el día 28 de julio y se prolongaría durante más de cuatro años. La contienda se inició con la invasión de Serbia por Austria-Hungría, seguida de la invasión de Bélgica, Luxemburgo y Francia por el Imperio alemán, y el ataque de Rusia contra Alemania el 29 de julio. Las grandes potencias se implicaron en el conflicto bélico y se alinearon en dos bandos. En un lado se colocaron las Potencias Centrales de la Triple Alianza –formada inicialmente por Alemania, el Imperio austrohúngaro y el Rei-

no de Italia, pero este abandonó la alianza en el verano de 1914, declarándose país neutral, a los que se unieron más tarde el Imperio otomano y el Reino de Bulgaria– y en el otro, los Aliados de la Triple Entente –integrada por el Reino Unido, Francia y Rusia–. Durante la I Guerra Mundial se movilizaron más de 70 millones de soldados, lo que la convierte en uno de los mayores conflictos bélicos de la historia de la humanidad. Aquella horrible contienda tuvo como escenarios: Europa, África y Oriente Medio. Entre los dos bandos contendientes se produjeron más de 21 millones de heridos y más de 19,5 millones de muertos y desaparecidos entre militares y civiles. Concluyó con la victoria aliada y, además de las pérdidas humanas, se produjo la disolución de los imperios alemán, austrohúngaro, otomano y ruso. El conflicto se cerró en falso y la paz quedó en estado latente para explotar veintidós años más tarde cuando se declaró la II Guerra Mundial. Del desastre que supuso esta guerra dio cuenta Marie Curie (1867-1934, premio Nobel de Física en 1903 y premio Nobel de Química en 1911) a su hija Ève: "La guerra, hija, es la mayor miseria humana y aquella embargó de locura a todo el mundo. Así que decidí invertir mis años de investigación en aliviar el sufrimiento humano". Una de las mayores e irreparables pérdidas para la Ciencia fue la muerte del jovencísimo, prometedor y genial físico británico Henry Moseley.

Durante la estancia de Moseley en Australia, se desencadenó la I Guerra Mundial. Tras el estallido del conflicto, Moseley dejó de lado todas sus investigaciones con las que estaba tan entusiasmado y regresó lo antes posible a Inglaterra para ofrecer sus servicios a su patria en primera línea de fuego. Se alistó en los *Royal Engineers*, aunque inicialmente fue rechazado por ser físico y no ser ingeniero. Más tarde, fue elevado al rango de oficial de señales ("Second Lieutenant") en la 38ª Brigada del Nuevo Ejército Regular. Después de ocho meses de entrenamiento, en junio de 1915 la Brigada de Moseley llegó a Alejandría. Tras permanecer una semana en Egipto, partió para los Dardanelos el 13 de junio de 1915.

El 27 de junio de 1915, mientras se dirigía a los Dardanelos, Moseley escribió de su puño y letra su última voluntad y testamento sobre un trozo de papel de cinco por diez centímetros. Dice así: "Esta es la última voluntad y testamento de yo, Henry Gwyn Jeffreys Moseley, Subteniente del *Royal Engineers* ahora en servicio activo con la Fuerza Expedicionaria Británica del Mediterráneo. Doy y lego todos mis bienes muebles e inmuebles y los intereses que se obtengan de ellos a



▲  
**Henry Moseley con uniforme militar en 1915.**

**“Una de las mayores pérdidas para la Ciencia fue la muerte del jovencísimo, prometedor y genial físico británico Henry Moseley”.**

*This is the last will and testament of me Henry Gwyn Jeffreys Moseley Second Lieutenant Royal Engineers now on active service with the British Mediterranean Expeditionary Force. I give and bequeath all my estate real and personal and my reversionary interests therein to the Royal Society of London to be applied to the furtherance of experimental research in pathology, physics, physiology, chemistry or other branches of science but not in pure mathematics, astronomy or any branch of science which aims merely at describing, cataloguing, or systematising. Made on the twenty seventh of June, 1915 by me Henry G. J. Moseley*

Última voluntad y testamento de Moseley (arriba) y casa familiar en la calle Woodstock, nº 48, de Oxford (abajo).

A continuación, el testamento:

*"This is the last will and testament of me Henry Gwyn Jeffreys Moseley Second Lieutenant Royal Engineers now on active service with the British Mediterranean Expeditionary Force. I give and bequeath all my estate real and personal and my reversionary interests therein to the Royal Society of London to be applied to the furtherance of experimental research in pathology, physics, physiology, chemistry or other branches of science, but not in pure mathematics, astronomy or any branch of science which aims merely at describing, cataloguing, or systematising. Made on the twenty seventh of June, 1915 by me Henry G. J. Moseley"*



bit.ly/1j0Xja0

la *Royal Society* de Londres para que se apliquen al fomento de la investigación experimental en Patología, Física, Fisiología, Química u otras ramas de la Ciencia, pero no en Matemáticas puras, Astronomía o cualquier rama de la Ciencia que tenga por objeto simplemente describir, catalogar o sistematizar. Hecho el día veintisiete de junio de 1915 por mi, Henry G. J. Moseley".

Participó en algunas escaramuzas cerca del Cabo Helles. Luchó valerosamente en el desembarco de los días 6 y 7 de agosto en Galípoli. Su unidad fue a reforzar un postrero intento de alcanzar la cota de Chunuk Bair. El día 10 de agosto, el coronel Mustafá Kemal Atatürk, padre de la patria turca, condujo un violento contraataque, Moseley murió a los 27 años de edad de un disparo en la cabeza por la bala de un francotirador turco en la Batalla de Galípoli (o de los Dardanelos) cuando estaba telefoneando una orden militar a su División solicitando refuerzos cuando los turcos estaban atacando por su flanco a tan solo 180 metros. Nada ni nadie le hicieron desistir de lo que consideraba su deber: defender a su patria en el campo de batalla. Ni los ruegos de su familia y Rutherford ni el rechazo inicial de los ingenieros le hicieron cambiar de idea. ¿Dónde había aprendido estas patrióticas ideas? Las había adquirido durante su estancia en *Summer Fields School* y en *Eton College*. Otros muchos estudiantes procedentes de estos centros escolares también dieron sus vidas por su patria durante la I Guerra Mundial.

La reacción de los científicos de todo el mundo no se hizo esperar. Al frente de estas protestas en señal de duelo por tan irreparable pérdida se puso Lord Ernest Rutherford, su maestro, amigo y mentor. Tras esta irreparable pérdida personal y gran tragedia para el progreso de la Ciencia, el Gobierno de la Gran Bretaña prohibió que los jóvenes y prometedores científicos fueran

**"A pesar de su juventud, en menos de cuatro años tuvo tiempo de publicar diez artículos en las revistas científicas de mayor prestigio de la época".**

## REFERENCIAS

- Este artículo es una adaptación de la conferencia presentada por el autor en la XXXIV Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química, Santander, 15-18 de septiembre de 2013. Libro de Resúmenes de la XXXIV Reunión Bienal de la RSEQ, Simposio sobre Educación, Historia y Divulgación de la Ciencia, Comunicación oral, Vol. 1, pág. 84. <http://bit.ly/17cUeMJ>.
- Miral Dizdaroglu, *Henry Moseley. His life, scientific work and events leading to his death*, International Henry Moseley School and Workshop on X-ray Science, ITAP, Turunç, Marmaris, Turquía, 14-23 de junio de 2012, <http://bit.ly/1Z7LIS>, visitada el 3/12/2013.
- Cecilia Jarlskog, *Lord Rutherford of Nelson, His 1908 Nobel Prize in Chemistry, and Why He Didn't Get a Second Prize*, Versión extendida de una conferencia presentada en el congreso "Neutrino 2008", Christchurch, Nueva Zelanda, 25-31 de mayo de 2008, <http://bit.ly/1IAWR0>, visitada el 3/12/2013.
- John L. Heilbron, *The Work of H. G. J. Moseley, Isis* (1966), 57 (3), 336-364, <http://bit.ly/1jCGgfD>, visitada el 3/12/2013.
- John L. Heilbron, *H. G. J. Moseley. The Life and Letters of an English Physicist, 1887-1915*, University of California Press, Berkeley y Los Ángeles, (1974), <http://bit.ly/1cvtbBJ>, visitada el 3/12/2013.
- Henry G. J. Moseley y Charles G. Darwin, *The Reflection of the X-rays*, *Phil. Mag.* (1913), 26, 201-232.
- Henry G. J. Moseley y Charles G. Darwin, *The reflection of the X rays*, *Nature* (1913), 90, 594-594.
- Henry G. J. Moseley *The High Frequency Spectra of the Elements*, *Phil. Mag.* (1913), 26, 1024-1034.
- Henry G. J. Moseley *The High Frequency Spectra of the Elements. Part II*, *Phil. Mag.* (1914), 27, 703-713.
- Henry Gwyn Jeffreys Moseley, *Complete Dictionary of Scientific Biography*, 2008, <http://bit.ly/19b-kdsm>, visitada el 3/12/2013.

**DEL HIDRÓGENO (Z = 1)  
AL CALCIO (Z = 20)**

Uno, hidrógeno, hache,  
Dos, helio, hache e,  
Tres, litio, ele i,  
Cuatro, berilio, be e,  
Cinco, boro, be,  
Seis, carbono, ce,  
Siete, nitrógeno, ene,  
Ocho, oxígeno, o,  
Nueve, flúor, efe,  
Diez, neón, ene e.  
Once, sodio, ene a,  
Doce, magnesio, eme ge,  
Trece, aluminio, a ele,  
Catorce, silicio, ese i,  
Quince, fósforo, pe,  
Dieciséis, azufre, ese,  
Diecisiete, cloro, ce ele,  
Dieciocho, argón, a erre,  
Diecinueve, potasio, ka,  
Veinte, calcio, ce a.



al campo de batalla. Podían hacer un mejor servicio a la patria investigando en los laboratorios donde se desarrollaban nuevas armas, explosivos o dispositivos de defensa como el sónar o el radar.

A pesar de su juventud, desde su incorporación al laboratorio de Rutherford en septiembre de 1910 hasta su embarco hacia Australia en junio de 1914, en menos de cuatro años tuvo tiempo de publicar diez artículos en las revistas científicas de mayor prestigio de la época. Dos de ellos, que publicó en solitario, *The High Frequency Spectra of the Elements* (Manchester, 1913) y *High Frequency Spectra of the Elements. Part II.* (Oxford, 1914) eran merecedores del premio Nobel de Física o Química, que bien podía haber obtenido, según unos autores en 1915 o en 1916, según otros, aunque en este último año ambos premios quedaron desiertos a causa de la guerra. Su muerte prematura le privó de obtener tan honroso galardón científico.

Muchos han sido los científicos que han contribuido a edificar uno de los más valiosos iconos de la Ciencia: la tabla periódica de los elementos químicos. Unos, descubriendo nuevos elementos, y otros, tratando de buscar una correlación que los relacione entre sí o una organización para poderlos acomodar racionalmente. De entre todos ellos, hay dos que brillan con luz propia, el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev (1834-1907) y el británico Henry Moseley. El primero propuso en 1869 su ley periódica que dice: "La ley periódica de Mendeléiev establece que las propiedades físicas y químicas de los elementos son función periódica de sus pesos atómicos", mientras que "la ley periódica de Moseley establece que las propiedades físicas y químicas de los elementos son función periódica de sus números atómicos".

Esta ley justifica la clasificación actual de los elementos químicos de la tabla periódica en orden creciente de su número atómico. Además, fue capaz de predecir dónde se ubicarían los nuevos elementos todavía sin descubrir.

**Letra de los primeros veinte elementos químicos en estrofas de diez versos (arriba) y placa dedicada a Henry Moseley (abajo).**


<http://bit.ly/1gm3eFf>

De este modo, la tabla periódica de los elementos químicos se convierte en el icono de la Ciencia por excelencia, donde están contenidos todos los ladrillos para construir el mundo material. Gracias a Moseley, ahora nadie puede decir que es difícil aprender y entender la tabla periódica, ya que sigue una pauta muy sencilla: está ordenada por su número atómico y crece de uno en uno. En la actualidad, se conocen 118 elementos químicos. Por ello, nadie puede aducir que no sabe contar desde el número 1 (H, Z = 1) hasta el 118 (Og, Z = 118). Otra cosa muy distinta es asociar a cada número atómico, el nombre del elemento y su símbolo correspondiente. Para ayudar a los más jóvenes en la tarea de aprender la tabla periódica de memoria y cantando se me ocurrió en 2011 crear la *Marcha de los elementos químicos*, que apareció publicada en la revista *Anales de Química* de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), basada en la ley de Moseley. A modo de ejemplo, se reproducen los veinte primeros versos de la *Marcha de los elementos químicos* en la tabla adjunta.

Pascual Román  
Dpto. de Química Inorgánica  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Universidad del País Vasco

- Henry Gwyn Jeffreys Moseley, Encyclopedia Britannica, <http://bit.ly/1f116BQ>, visitada el 3/12/2013.
- Henry Moseley, Wikipedia: en español, <http://bit.ly/HVoz9F>, en inglés, <http://bit.ly/AIWFPI>, visitadas el 3/12/2013.
- Primera Guerra Mundial, Wikipedia: en español, <http://bit.ly/1krAHOR>, en francés, <http://bit.ly/1i-OMB9X>, en inglés, <http://bit.ly/1iOLQxr>, visitadas el 3/12/2013.
- Richard Reeves, *A Force of Nature: The Frontier Genius of Ernest Rutherford*, W. W. Norton, New York, (2008).
- Pascual Román, *La marcha de los elementos químicos*, *An. Quím.* (2011), 107 (3), 262–265, <http://bit.ly/1304wyq>, visitada el 3/12/2013.
- Pascual Román, *Marie Curie: ciencia y humanidad*, *conCiencias.digital* (2012), 9, 48–59, <http://bit.ly/18hUslw>, visitada el 3/12/2013.
- Pascual Román, *Ernest Rutherford: padre de la física nuclear y alquimista*, *conCiencias.digital* (2013), 11, 4–19, <http://bit.ly/1jRySKL>, visitada el 3/12/2013.
- Ernest Rutherford, *Henry Gwyn Jeffreys Moseley*, *Nature* (1915), 96, 33–34.
- George Sarton, *Moseley: The Numbering of the Elements*, *Isis* (1927), 9, 96–111, <http://bit.ly/1e0gX-nL>, visitada el 3/12/2013.

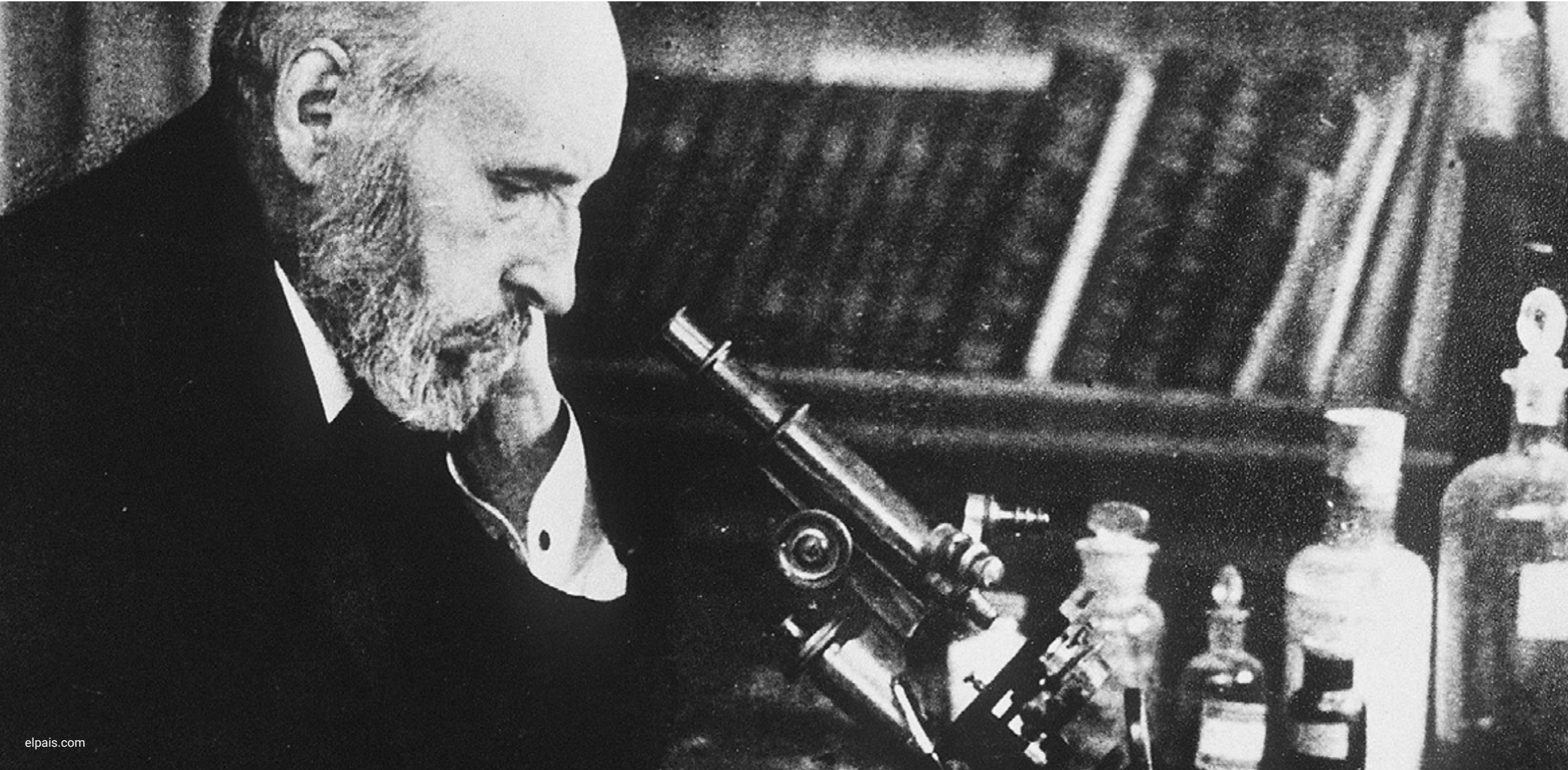
**“La ley periódica de Moseley establece que las propiedades físicas y químicas de los elementos son función periódica de sus números atómicos”.**

The background of the slide is a photograph of bare tree branches silhouetted against a sunset sky. The sky transitions from a pale blue at the top to a warm orange and yellow near the horizon, where the dark silhouette of a mountain range is visible. The tree branches are intricate and spread across the upper and middle portions of the frame.

# El éxodo de nuestros científicos

“Hay algo más triste que no tener científicos: perderlos. Y lo hicimos. Y lo hacemos. No aprendemos”.

Luis Oro



“En esa generación brillaba con luz propia la excepcional figura de un aragonés, Santiago Ramón y Cajal”.



Santiago Ramón y Cajal (1852-1934).

**E**l pasado 30 de enero, la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales rindió un tributo póstumo a siete científicos españoles que, por Orden Ministerial de 10 de mayo de 1941, fueron cesados en su condición de Académicos de la Real Academia de Ciencias. Solo recientemente han sido rehabilitados por el Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Los siete científicos, Ignacio Bolívar Urrutia, Blas Cabrera Felipe, Honorato de Castro y Bonel, Pedro Carrasco Garrorena, Enrique Hauser y Neuburger, Emilio Herrera y Linares y Enrique Moles Ormella formaron parte de una excepcional generación de investigadores de la denominada “edad de plata” de la Ciencia española.\*

En esa generación brillaba con luz propia la excepcional figura de un aragonés, Santiago Ramón y Cajal (1852-1934), que estudió Medicina en la Universidad de Zaragoza, donde fue profesor auxiliar interino y donde inició una prestigiosa carrera que le llevaría a ser el científico más universal que ha dado la Ciencia española. En 1906 recibió el premio Nobel por sus aportaciones fundamentales al desarrollo de la teoría neuronal. Fue precisamente en 1906, al regresar Cajal de Estocolmo, cuando recibió la oferta de la cartera del Ministerio de Instrucción Pública, que finalmente no aceptó, pero su prestigio fue determinante para la creación, un año más tarde, de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, de la que fue el primer presidente hasta su muerte, en 1934.

\* Parte de este artículo fue publicado en Heraldo de Aragón, el 10 de febrero de 2019, con el título “Perder a los buenos, perder a los nuestros”.

## EL ÉXODO DE NUESTROS CIENTÍFICOS

**LA LABOR DE LA JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS**

Gracias a la gran labor de la Junta, en el primer tercio del siglo XX, se alcanzó un elevado nivel de investigación, especialmente en las áreas de Biomedicina y Ciencias Físico-Químicas. Ya no era sostenible aquella desafortunada tesis sobre la incapacidad del español en la Ciencia, que algunos mantenían para explicar el atraso de la Ciencia española. Se había creado un entramado de instituciones y laboratorios con científicos bien formados. Un buen ejemplo fue el Instituto de Física y Química que, dirigido por Blas Cabrera, realizó importantes aportaciones con un gran reconocimiento internacional especialmente en áreas como el Magnetismo, la Espectroscopia, la Química Física y la Química Orgánica, hasta tal punto que llamaron la atención de la Fundación Rockefeller.

Charles Mendelhall, en 1926, escribía: *“encontré [allí, y allí era España] un pequeño grupo de entusiastas [...] No conozco institución alguna en Estados Unidos en la que se estén realizando tareas comparables en locales tan primitivos”*. La Fundación Rockefeller costó la construcción de un nuevo edificio para el Instituto de Física y Química, que fue inaugurado en 1932, y que durante muchos años se le llamaba coloquialmente, el Rockefeller. Hoy día es la sede del Instituto de Química Física Rocasolano del CSIC. Rocasolano, que fue catedrático de Química de la Universidad de Zaragoza, y vicepresidente del CSIC, tuvo el dudoso honor de presidir la Comisión Depuradora del Personal Universitario que desposeyó de sus cátedras a un buen número de catedráticos por sus ideas políticas, entre los que se encontraban Cabrera y Moles, que habían prestigiado con su trabajo científico el Instituto que, paradójicamente, lleva ahora su nombre.



◀ **Blas Cabrera (derecha) junto a Albert Einstein (izquierda) de paseo por Madrid en 1923.**

▶ **Fachada principal de la Antigua Facultad de Medicina y Ciencias de Zaragoza.**



Sin duda, la Junta para Ampliación de Estudios produjo una profunda revitalización del horizonte intelectual y científico español y nuevamente todo parecía indicar que España estaba preparada para su incorporación definitiva a la ciencia de vanguardia. Lamentablemente la Guerra Civil abortó la llamada *“edad de plata”* de la Ciencia española a la que tanto había contribuido la Junta para Ampliación de Estudios y conllevó el exilio de un elevado número de científicos.

**EL EXILIO DE UNA GENERACIÓN DE CIENTÍFICOS**

Los siete Académicos mencionados, Ignacio Bolívar Urrutia, Blas Cabrera Felipe, Honorato de Castro y Bonel, Pedro Carrasco Garrorena, Enrique Hauser y Neuburger, Emilio Herrera y Linares y Enrique Moles Ormella, fueron sancionados y todos ellos se exilaron siguiendo su carrera científica en varios países, con la excepción de Enrique Moles.

**“La Junta para Ampliación de Estudios produjo una profunda revitalización del horizonte intelectual y científico español”.**



◀  
**Enrique Moles**  
 (1883-1953).

Tras un breve exilio en Francia, Moles regresó a España en 1941 y allí fue encarcelado hasta 1945. Ni entonces, al salir de la cárcel, pudo reincorporarse a su cátedra de Química Inorgánica en Madrid, pero pudo aportar sus conocimientos profesionales a los Laboratorios IBYS, en el que también trabajaron otros ilustres depurados afectados por un tolerado exilio interior, entre ellos Francisco Grande Covián, que fue profesor de nuestra Facultad de Ciencias, a su regreso de la Universidad de Minnesota. Mejor suerte que Moles tuvo, el también catedrático de Química Inorgánica de la Universidad

de Zaragoza, Juan Martín Sauras que, tras ser depurado en octubre de 1936 y sancionado por el Tribunal de Responsabilidades Políticas, no pudo desempeñar ningún cargo de gestión hasta 1949. Como alumno suyo doy fe de su bonhomía y excepcional capacidad docente, que influyeron en mi vocación por la Química Inorgánica. Fue también profesor mío, de Electricidad y Óptica, Juan Cabrera Felipe, a quien también se le inició un "expediente de depuración", del que acabó siendo absuelto, recuperando la cátedra en 1942. Juan Cabrera llegó a ser rector de la Universidad de Zaragoza, y



◀  
 De arriba a abajo:  
**Antonio Madinaveitia**  
 (1890-1974), **José Giral**  
 (1879-1962) y **Pere Bosch-Gimpera**  
 (1891-1974).

todos sus intentos, junto al prestigioso físico aragonés Julio Palacios, de conseguir el regreso a España de su hermano Blas fueron inútiles. A Blas Cabrera se le considera el padre de la Física española moderna, fue director del mencionado Instituto de Física y Química y obtuvo un gran prestigio internacional por sus aportaciones en el campo de las propiedades magnéticas de la materia, de tal modo que, en 1928, fue invitado a formar parte del Comité Científico de las *Conferencias Solvay* por iniciativa de Marie Curie y Albert Einstein. Fue expulsado de la cátedra en 1940, exiliándose en Méjico. Sobre la importancia de su obra científica da fe lo escrito por Van Vleck, en 1978, al año siguiente de recibir el Premio Nobel: *"In the history of paramagnetism, B. Cabrera will be remembered as the physicist who did the right experiments at the right time. By the right time, I mean the year 1925 which marked the climax of the empiricism of the old quantum theory, and the crucial ensuing early years of the true quantum mechanics"*.

Ante la situación en Europa, debido a la Segunda Guerra Mundial, nuestros científicos exilados emigraron prioritariamente a América. Méjico fue especialmente activa en la acogida de los científicos e intelectuales exiliados gracias a la labor desempeñada por la Casa de España, fundada por iniciativa del presidente mejicano Lázaro Cárdenas en agosto de 1938. Así los Académicos depuestos, Ignacio Bolívar, que a la muerte de Ramón y

Cajal, en 1934, le había sucedido como presidente de la Junta para Ampliación de Estudios, Blas Cabrera, que había sucedido a Leonardo Torres Quevedo, en 1934, como presidente de la Real Academia de Ciencias, el exalumno de la universidad de Zaragoza y físico borjano, Honorio de Castro, y el astrónomo y exdirector del Observatorio Astronómico de Madrid, Pedro Carrasco, continuaron sus actividades docentes e investigadoras en Méjico. Junto a otros españoles exilados, contribuyeron de modo importante al progreso científico de este país, mientras España se desangraba con la pérdida de un elevado número de profesionales competentes que se dispersaron por el mundo. La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) acogió a seis rectores de universidades españolas, Blas Cabrera, José Giral, José Gaos, José Puche, Jaume Serra y Pere Bosch i Gimpera. En particular, las enseñanzas de química de la UNAM se beneficiaron muy especialmente con la llegada de tres prestigiosos catedráticos de Química Orgánica, Antonio Madinaveitia, que había sido director de la sección de Química Orgánica del Instituto Nacional de Física y Química, José Giral, que enseñó bioquímica, y había

desempeñado cargos importantes en el gobierno republicano, llegando a ser presidente del gobierno republicano en el exilio tras la segunda guerra mundial, y su hijo Francisco Giral que, con la llegada de la democracia a España, aún pudo retomar por un corto tiempo su cátedra en la Facultad de Farmacia de Salamanca en el período 1977-81. Tuve la oportunidad de conocerle y, desde hace años, disfruto de la amistad de sus hijos que han desarrollado su labor profesional en Méjico y heredaron su vocación por la Química Farmacéutica.

En pocas palabras, España perdió, Méjico ganó. Lo resumía así Ignacio Chavez, quien fue Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México: *“Todo ese esfuerzo que hizo España y al que debió, en el primer tercio del siglo, su rápida transformación en las ciencias y las humanidades, nosotros lo recogimos. Fuimos nosotros los beneficiarios. Quizá, de momento, España no supo todo lo que insensatamente perdía lanzando al destierro a lo mejor de sus intelectuales [...] España no podía sufrir una peor hemorragia. Nosotros, en cambio, sí nos dimos cuenta de lo que con ellos ganábamos”*.

“Juan Martín Sauras fue sancionado por el Tribunal de Responsabilidades Políticas y no pudo desempeñar ningún cargo de gestión hasta 1949”.



Juan Martín Sauras (1896-1969).

## LA CIENCIA ESPAÑOLA EN LA ACTUALIDAD

Afortunadamente hemos podido recuperar, en parte, el tiempo perdido. La Ciencia española ocupa actualmente una posición muy digna en el contexto internacional, encontrándose en la décima posición. Parece razonable concluir que nuestro país ha alcanzado en los últimos decenios un desarrollo notorio en lo que se refiere a investigación científica académica, como ponen de manifiesto las bases de datos que muestran un continuo incremento en cantidad, pero sobre todo en calidad. No obstante, algunos indicadores relacionados con la innovación en su sentido más finalista, como puede ser nuestra contribución en patentes, arrojan resultados sensiblemente inferiores. Por el momento, la recuperación económica española está dejando de lado la investigación y, aunque las inversiones en términos absolutos han iniciado un leve aumento, en términos de PIB, hemos pasado del 1,40% de 2010, al 1,20% de 2017, lejos del objetivo del 2% exigido por Europa para 2020. España convergió con la Unión Europea en el período 2000-2010, y divergió desde entonces, debido a una notable reducción de la intensidad inversora que ha sido especialmente acusada en el sector público, mientras que la Unión Europea ha mantenido una trayectoria de crecimiento. Nuestro diferencial con Europa es actualmente del 0,85 frente al 0,50 que teníamos al inicio de esta última crisis. Las inversiones en Investigación y Desarrollo de la Unión Europea, en el período 2009-2016, han crecido un 27%, liderados por Reino Unido (39%) y Alemania (38%), mientras que España las ha reducido en un 9%. De las cinco grandes economías de Europa, nuestro país es el único que no ha recuperado los niveles de inversión previos a la crisis.

Se debería tomar conciencia de que se está poniendo en riesgo una parte de nuestro frágil sistema de investigación y desarrollo y, en cierto modo, la posibilidad de que la economía y la sociedad española construyan unas bases más sólidas y sostenibles para mejorar el bienestar de sus ciudadanos en el próximo futuro. En definitiva, un modelo económico basado en la generación de conocimiento solo tendrá éxito si se garantiza la estabilidad del sistema de investigación en términos de recursos económicos y humanos y si hay un sector privado que, más allá de las declaraciones de intenciones, apueste de verdad por la investigación y la innovación.

La crisis ha afectado de un modo muy preocupante a nuestros investigadores más jóvenes. Según datos del INE, entre 2010 y 2016 se ha producido una re-

ducción superior a ocho mil investigadores a jornada completa. En un informe sobre el sistema de ciencia y tecnología español realizado en 2014, por el *European Research Area Committee (ERAC)* de la Unión Europea, se señala como un problema, especialmente acuciante, el envejecimiento de la actual plantilla de investigadores, que está por encima de los cincuenta años, así como la necesidad de un incremento de los recursos humanos y materiales disponibles que debería ir asociado a reformas estructurales. Una consecuencia indudable, y muy preocupante de este descenso en inversiones en investigación y desarrollo, está siendo la indeseable emigración de varios miles de jóvenes científicos y tecnólogos españoles que están ocupando posiciones muy destacadas en universidades y empresas extranjeras. Son otros los países que están disfrutando de nuestra inversión en jóvenes científicos muy cualificados. Estoy seguro de que no volveremos a escuchar palabras similares a las pronunciadas por el Rector Ignacio Chavez, pero debiéramos pensar si, al no apostar por una economía del conocimiento, no nos aboca a la peor de las hemorragias.

El esfuerzo hecho a lo largo de los últimos decenios no puede desaprovecharse. Por el contrario, deberíamos volver a hacer un esfuerzo en I+D anticíclico aplicando una política científica adecuada que permita sacar a flote las fortalezas, que las hay, de nuestras universidades y de nuestro sistema de ciencia y tecnología.

No podemos permitirnos la pérdida de una generación de científicos españoles excelentemente formados. Sé que algunos ya no volverán, pero no perdamos una gran mayoría. Otra vez no.

Luis Oro  
Dpto. de Química Inorgánica  
Universidad de Zaragoza  
Vocal del Consejo Rector de la  
Agencia Estatal de Investigación



# Construyendo...



## EL ESPACIO EUROPEO DE EDUCACIÓN SUPERIOR

### GRADOS

- Grado en Biotecnología
- Grado en Física
- Grado en Geología
- Grado en Matemáticas
- Grado en Óptica y Optometría
- Grado en Química


### MÁSTERES

- Máster en Biología Molecular y Celular
- Máster en Física y Tecnologías Físicas
- Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones
- Máster en Modelización e Investigación Matemática, Estadística y Computación
- Máster en Química Industrial
- Máster en Química Molecular y Catálisis Homogénea
- Máster en Materiales Nanoestructurados para Aplicaciones Nanotecnológicas (NANOMAT)
- Máster Erasmus Mundus en Ingeniería de Membranas

## ¡MATRICÚLATE!

[ciencias.unizar.es/web](http://ciencias.unizar.es/web)





# Sobre el almacenamiento de agentes químicos en el laboratorio

“Los estados consideran la seguridad y la salud de las personas y la protección del medioambiente temas prioritarios en la sociedad actual”.

Antonio Blein y Ana Isabel Elduque



www.allthingsupplychain.com

**E**n lo que va de siglo ha habido importantes avances en el ámbito de los agentes químicos y su seguridad, especialmente en la Unión Europea (UE). Dicho progreso se ha ido plasmando en normativas jurídicas de obligado cumplimiento, ya que los estados consideran la seguridad y la salud de las personas y la protección del medioambiente temas prioritarios en la sociedad actual.

El Reglamento REACH de la UE, sobre el Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias y mezclas, tiene como finalidad mejorar la protección de la salud humana y el medio ambiente contra los riesgos que pueden presentar los productos químicos. Ha supuesto una revolución en el mundo de la Química al trasladar la carga de la prueba a las empresas. Para cumplir con la normativa, las empresas deben identificar y gestionar los riesgos vinculados a las sustancias que fabrican y comercializan en la UE.

	INDUSTRIA	LABORATORIO
Cantidad manejada	Toneladas	Gramos*
Personal	Experiencia	Rotación
Número de AQ	Pocos	Muchos
Procesos	Repetitivos	Variables
Peligros	Pocos	Muchos

**Diferencias entre industria y laboratorio.**

\*Excepto disolventes.

Muy ligado con el anterior está el Reglamento CLP, sobre Clasificación, Etiquetado y Envasado de sustancias y mezclas. Se basa en el Sistema Globalmente Armonizado de las Naciones Unidas y su propósito es garantizar un elevado grado de protección de la salud y el medioambiente, así como la libertad de circulación de las sustancias, las mezclas y los artículos.

Para adecuar la normativa española a estos dos reglamentos se publica el Real Decreto 656/2017 y sus ITC, que sustituye al anterior Reglamento de almacenamiento de productos químicos. Hay dos nuevas ITC que recogen las definiciones comunes a todas ellas, y sobre recipientes móviles.

#### INDUSTRIA VS. LABORATORIO

Las normas anteriores, y alguna otra más, forman un conjunto de normativas acerca de la seguridad de los agentes químicos. Conviene señalar, sin embargo, que dicha legislación está dirigida a la industria más que al laboratorio.

Las diferencias entre los dos ámbitos son notables (ver tabla). Mientras que en la industria es habitual hablar de toneladas de productos, en el laboratorio se manejan gramos o incluso miligramos de reactivos. Únicamente en el caso de los disolventes se consumen cantidades mayores, del orden de litros. Este caso lo trataremos más adelante.

Respecto a los procesos que se llevan a cabo, en la industria son, habitualmente, más repetitivos (fabricación de un producto con las mismas materias primas y con-

**“Mientras que en la industria es habitual hablar de toneladas de productos, en el laboratorio se manejan gramos o incluso miligramos de reactivos”.**

diciones), en tanto que en el laboratorio son, en general, mucho más variables. También se ha de considerar que la esencia de la investigación es la novedad.

Un alto porcentaje del personal en la industria tiene una elevada experiencia. En el laboratorio de investigación en un entorno universitario, además del personal de mayor experiencia, es habitual encontrar a personal en formación que desarrolla sus trabajos fin de estudios, tesis doctorales u otros proyectos de investigación. Este personal suele, en un alto porcentaje, cambiar de destino al finalizar su estudio por lo que la rotación de los investigadores en el laboratorio suele ser elevada.

#### UN CASO CONCRETO: LOS DISOLVENTES

Es habitual leer en los escritos, que tratan sobre seguridad en el laboratorio, que el Reglamento de Almacenamiento de Productos Químicos (RAPQ), y sus Instruc-

ciones Técnicas Complementarias (ITC), no afectan a los laboratorios por no alcanzar los productos químicos almacenados la cantidad mínima que fija dicha norma.

Estas cantidades mínimas, para la aplicación de la norma, se fijan ahora en función de la clase y categoría de peligro del agente químico, indicando la frase H. Uno de los cambios en este reglamento, respecto al anterior, es la incorporación de las frases H en la indicación del peligro (equivalentes, en parte, a las anteriores frases R). Las cantidades de reactivos almacenadas suelen ser muy bajas, como ya se ha indicado. Sin embargo, en el caso de los disolventes es habitual tener en el laboratorio cantidades algo mayores. Aunque no lleguen a cantidades "industriales", conviene comprobar si es obligatorio aplicar el APQ.

Para ello se acude a la norma, que dice en la nota de la tabla I "En ningún caso la suma de los cocientes entre las cantidades almacenadas y las indicadas en las columnas 5 o 6 agrupadas por el tipo de peligro, según las partes 2, 3 y 4 del anexo I del CLP (columna 1 de la tabla), superará el valor de 1".

Así por ejemplo, entre los disolventes en el laboratorio es frecuente encontrar acetona, acetato de etilo, acetonitrilo, dicloroetano, etanol, éter dietílico, etilmetilcetona, hexano, isopropanol, metanol, tetrahidrofurano y tolueno. Todos ellos son líquidos inflamables<sup>1</sup> categoría 2 y su indicación de peligro es la "H225 Líquido y vapores muy inflamables". A este peligro le corresponde una cantidad umbral de 50 L.

En la Guía técnica del RAPQ, editada por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, se indica que el método de cálculo, para comprobar si ha de aplicarse dicho reglamento, es mediante la fórmula:

$$R_i = \sum_n \left( \frac{P_1}{C_1} + \frac{P_2}{C_2} + \dots + \frac{P_n}{C_n} \right)$$

R<sub>i</sub>: ratio para cada clase i de producto según anexo CLP .  
 P: cantidad de cada producto químico que presenta ese peligro.  
 C: cantidad umbral (columna 5 o 6) para ese peligro.

Aplicación en el sitio web del INSST para calcular si es necesario aplicar el RAPQ.



Envases de disolventes para laboratorios.

www.merckmillipore.com

“Las cantidades de reactivos almacenadas suelen ser muy bajas. Sin embargo, en el caso de los disolventes es habitual tener en el laboratorio cantidades algo mayores”.

Esta fórmula ha de aplicarse a cada clase y categoría de peligro, es decir, a cada frase H. Si en algún peligro R > 1 entonces ha de aplicarse el RAPQ. Veamos un ejemplo:

Al aplicar la fórmula únicamente para el peligro de incendio para productos con la indicación de peligro H225, vemos que, si las cantidades de estos disolventes suman más de 50 L, ya es obligatorio aplicar el Reglamento APQ, puesto que en ese caso R > 1. Realmente esto es muy habitual, por lo que en muchos laboratorios será obligatorio aplicar el RAPQ.

Otra forma de calcular si hay que aplicar el Reglamento APQ es mediante la aplicación que ha desarrollado el INSST y que está disponible en su web desde hace poco tiempo.

Hay que introducir para cada sustancia la descripción del producto, el volumen total, la capacidad del recipiente, la indicación de peligro y la categoría de peligro. Al final la aplicación hace los cálculos y dice si es necesario o no aplicar el Reglamento APQ.



**PELIGRO  
LÍQUIDOS  
INFLAMABLES**

Adaptado de [www.metacontratas.com](http://www.metacontratas.com)

▲  
**Señal de advertencia de líquidos inflamables con cartel.**

En caso de tener que aplicar el Reglamento APQ, solo hace falta cumplir los requerimientos que en él se indican. Que no sea obligatorio aplicarlo no significa que haya que despreciar las medidas de seguridad. Hay que llevar a cabo la Evaluación de Riesgos, que determinará en este caso qué medidas deben adoptarse.

En cuanto a la cantidad, son precisamente los disolventes sobre los que es más factible actuar, reduciéndola. Heras Cobo, Carlos et al. indican<sup>3</sup>: “Un laboratorio mantiene stocks excesivos por dos razones: Por la preocupación ante los posibles fallos de suministro y porque es más sencillo llevar el control del almacén si hay menos movimientos. Respecto a la primera: hoy día las redes comerciales y de transporte garantizan el suministro sin fallos (salvo raras excepciones). No se justifica el mayor almacenamiento. En cuanto a la segunda: Con mayor stock, sobre todo de inflamables,

“Instalar en el laboratorio un armario de seguridad para inflamables permite almacenar de forma segura hasta 250 L de productos inflamables H225”.

*aumenta mucho la carga térmica en caso de incendio. Se puede plantear tener cubiertas las necesidades, por ejemplo de inflamables, para unas dos semanas”.*

Por otra parte, una práctica habitual en la industria es adquirir una cierta cantidad de un producto y diferir la entrega de dicho producto en varias fechas posteriores mediante una programación flexible. Esta forma de adquisición puede llevarse a cabo también en el laboratorio.

A pesar de lo anterior, el almacenamiento de disolventes en el laboratorio presenta dos características: la cantidad, que en comparación con el resto de productos (reactivos) es algo mayor, y la inflamabilidad, que es su peligro común principal.

La solución a esta cuestión es instalar en el laboratorio un armario de seguridad para inflamables<sup>4</sup>, que permite almacenar de forma segura hasta 250 L de productos inflamables H225. El armario debe estar certificado como tipo 90<sup>5</sup> y debe llevar un letrero bien visible con la indicación de inflamable. Se debe colocar un extintor en las inmediaciones del armario.

Si el laboratorio dispone de un cuarto-almacén para agentes químicos – lo que suele ser frecuente – se puede instalar otro armario de las mismas características, si fuera necesario. Este tipo de armario está considerado como un sector de incendios “per se”.

**ALGO IMPORTANTE: CÓMO ORDENAR**

Antiguamente el almacenamiento de los productos químicos se llevaba a cabo según el orden alfabético. Posteriormente ha pasado a ser habitual su almacenamiento por familias químicas: ácidos, alcoholes y fenoles,

SUSTANCIA	Nº CAS	PELIGROS (según el Reglamento 1272/2008)
<b>ALCOHOLES Y FENOLES</b>		
Metanol	67-56-1	Líquido Inflamable Cat 2 H225 Toxicidad aguda Cat 3 Oral H301 Toxicidad aguda Cat 3 Inhalación H331 Toxicidad aguda Cat 3 Cutáneo H311 TEDO exp única Cat 1 Ojos H370
1-Propanol	71-23-8	Líquido Inflamable Cat. 2 H225 Lesiones oculares graves Cat 1 H318 TEDO exp. única Cat 3 Sist. Nerv. Central
1-Decanol	112-30-1	Irritación ocular Cat 2 H319 Toxicidad acuática crónica Cat 3 H412
Pentaeritritol	115-77-5	No peligrosa
<b>HIDROCARBUROS HALOGENADOS/HALÓGENOS</b>		
1-Bromobutano	109-65-9	Líquido inflamable, Cat 2, H225 STOT exp única Cat3 H335 Irritación cutáneas, Cat 2, H315 Irritación ocular, Cat 2, H319 Toxicidad acuática crónica, Cat 2, H411
2-Bromobutano	78-76-2	Líquido inflamable, Cat 2, H225 Toxicidad acuática crónica, Cat 3, H412
1-Iodobutano	542-69-8	Líquido inflamable, Cat 3, H226 Toxicidad aguda Cat 3 Inhalación H331
1-Iododecano	4292-19-7	Irritación cutáneas, Cat 2, H315 Irritación ocular, Cat 2, H319
<b>AMINAS</b>		
1-Propilamina	107-10-8	Líquido inflamable Cat 2 H225 Toxicidad aguda Cat 3 Inhalación H331 Toxicidad aguda Cat 3 Cutáneo H311 Toxicidad aguda Cat 4 Oral H302 Corrosión cutáneas Cat 1B H314 Corrosivo para los metales Cat 1 H290
Decilamina	2016-57-1	Toxicidad aguda Oral Cat 3 H301 Toxicidad aguda, Cutáneo Cat 3 H311 Corrosión cutánea Cat 1B H314 Toxicidad acuática aguda Cat 1 H400
4-Aminobencilamina	4403-71-8	Corrosión cutánea Cat 1B H314
Etanolamina	141-43-5	Toxicidad aguda Cat 4 Oral H302 Toxicidad aguda Cat 4 Inhalación H332 Toxicidad aguda Cat 4 Cutáneo H312 Corrosión cutáneas Cat 1B H314

halógenos, aminas y anilinas, éteres, etc. Se parte de la base de que sustancias de la misma familia presentan los mismos peligros.

Sin embargo esto no es totalmente cierto. Como puede observarse en la tabla, el almacenamiento de agentes químicos por familias no garantiza que todos los de la misma familia tengan los mismos peligros. Por ello el criterio de ordenación que recomendamos se basa en

▲  
**Comparación de los peligros de varios agentes químicos por familias**



Pictogramas de peligro del Reglamento CLP.

www.tandemsl.com

las indicaciones de peligro, esto es, en las frases H. Prueba de ello es que en el RAPQ son las frases H las que caracterizan los peligros de los agentes químicos.

Conocida la peligrosidad de los agentes químicos para almacenarlos, se ha de tener en cuenta sus incompatibilidades y no almacenarlos juntos si son incompatibles. Dos sustancias son incompatibles cuando al entrar en contacto, o mezclarse, generan un efecto dañino o potencialmente dañino<sup>6</sup>.

Para determinar las incompatibilidades se ha de tener en cuenta la clasificación que aparece en el Reglamento APQ, en el que se indican las incompatibilidades por frases H. Luego, se ha de consultar la Ficha de Datos de Seguridad (FDS) de cada sustancia para ver si tiene incompatibilidades y con qué productos.

En las condiciones de almacenamiento de dicha FDS hay que verificar que no haya contradicciones entre la temperatura, el grado de humedad o la ausencia de oxígeno de los productos a almacenar conjuntamente. También se ha de prestar atención a los agentes de extinción que hay que usar en caso de incendio, dado que algunas sustancias son incompatibles con el agua. Entonces no se deben almacenar conjuntamente.

Tampoco se debe olvidar que hay productos que presentan peligros por almacenamiento prolongado. Estos son, entre otros, aquellos que conducen a la formación

de peróxidos inestables, la polimerización de la sustancia y la descomposición lenta con producción de gases que incrementan la presión interior del recipiente. Por ello es necesario que el inventario de lo almacenado incluya la fecha de entrada y, si la sustancia la tiene, la de caducidad.

#### OTROS AGENTES QUÍMICOS CON REQUERIMIENTOS ESPECIALES

- **Agentes químicos CMR:** los agentes químicos así denominados son los cancerígenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción. El almacenamiento de los agentes cancerígenos o mutágenos se efectuará en un lugar específico, debidamente protegido y diferenciado de los otros productos almacenados, al que únicamente tendrán acceso las personas autorizadas. El control del mismo estará a cargo de una persona informada de los riesgos de su utilización y entrenada en su manipulación y actuación en caso de emergencia.
- **Productos pestilentes:** estos productos deben guardarse en envases bien cerrados en un armario con extracción. Como ejemplo podemos indicar un considerable número de aminas, tioles o, más popular, el ácido sulfhídrico. Se dice que la sustancia química de peor olor que se conoce es la tioacetona, hasta el punto de que se evita sintetizarla.

- **Productos que requieren bajas temperaturas:** la utilización de frigoríficos o congeladores domésticos para esta función es un error. Tienen una lámpara en su interior que puede dar lugar a chispas (fuentes de ignición). Se han de utilizar frigoríficos homologados para agentes químicos inflamables. Se ha de cuidar que los recipientes que se guarden en ellos estén bien cerrados y sean capaces de resistir la sobrepresión interna en caso de recalentamiento accidental. También es necesario, en este caso, aplicar la normativa de atmósferas explosivas.

#### VARIOS PELIGROS EN UN PRODUCTO

Es claro que una sustancia puede presentar más de un peligro. En ese caso se debe almacenar por su peligro mayor, siguiendo el siguiente orden de prioridad<sup>7</sup>:

1. Explosivos.
2. Incompatibles con el aire o la humedad. Es decir, productos pirofóricos, autorreactivos y que experimentan calentamiento espontáneo. También los que en contacto con humedad desprenden gases inflamables.
3. CMR: cancerígenos, mutágenos y tóxicos para la reproducción.
4. Comburentes.
5. Inflamables.
6. Corrosivos.
7. Tóxicos.
8. Otros peligros.

#### CONCLUSIÓN

Es importante que quien desarrolla su actividad profesional en un laboratorio se conciencie de los peligros de los productos químicos que le rodean y actúe en consecuencia.

Tomando las medidas de prevención y protección adecuadas, el trabajo en el laboratorio puede ser apasionante por muchos años.

Antonio Blein y Ana Isabel Elduque  
Dpto. de Química Inorgánica  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

#### REFERENCIAS

1. Guía técnica de aplicación del Reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias. Disponible en: [http://www.f2i2.net/documentos/Isi/AlmacenamientoProductosQuimicos/GUIA\\_APQ\\_2018\\_MAYO.pdf](http://www.f2i2.net/documentos/Isi/AlmacenamientoProductosQuimicos/GUIA_APQ_2018_MAYO.pdf)
2. Calculadora para determinar si el Reglamento APQ es obligatorio o no. Disponible en: <http://calculadores.insbt.es/RAPQ/Introducci%C3%B3n.aspx>
3. Seguridad y condiciones de trabajo en el laboratorio. Heras Cobo, C. et al. INSHT-Madrid. 2001. ISBN 84-7425-584-8.
4. Armarios de seguridad para inflamables. Art. 21.2 Reglamento APQ. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2017-8755>
5. Norma UNE-EN 14470-1:2005 Armarios de seguridad contra incendios. Parte 1: Armarios de seguridad para líquidos inflamables. Dep. legal: M 1305:2005 Ed. AENOR. Madrid.
6. Almacenamiento de productos químicos. Servicio de Prevención de Riesgos Laborales. Universidad de Jaén. Disponible en: [https://www.ujaen.es/servicios/prevencion/sites/servicio\\_prevencion/files/uploads/almacenamiento\\_productos\\_quimicos.pdf](https://www.ujaen.es/servicios/prevencion/sites/servicio_prevencion/files/uploads/almacenamiento_productos_quimicos.pdf)
7. Adaptado de: NTP-725 Seguridad en el laboratorio: almacenamiento de productos químicos. Rosell Farrás, M. Gracia. INSHT. Madrid. 2006. Disponible en: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp\\_725.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_725.pdf)

“Conocida la peligrosidad de los agentes químicos para almacenarlos, se ha de tener en cuenta sus incompatibilidades”.

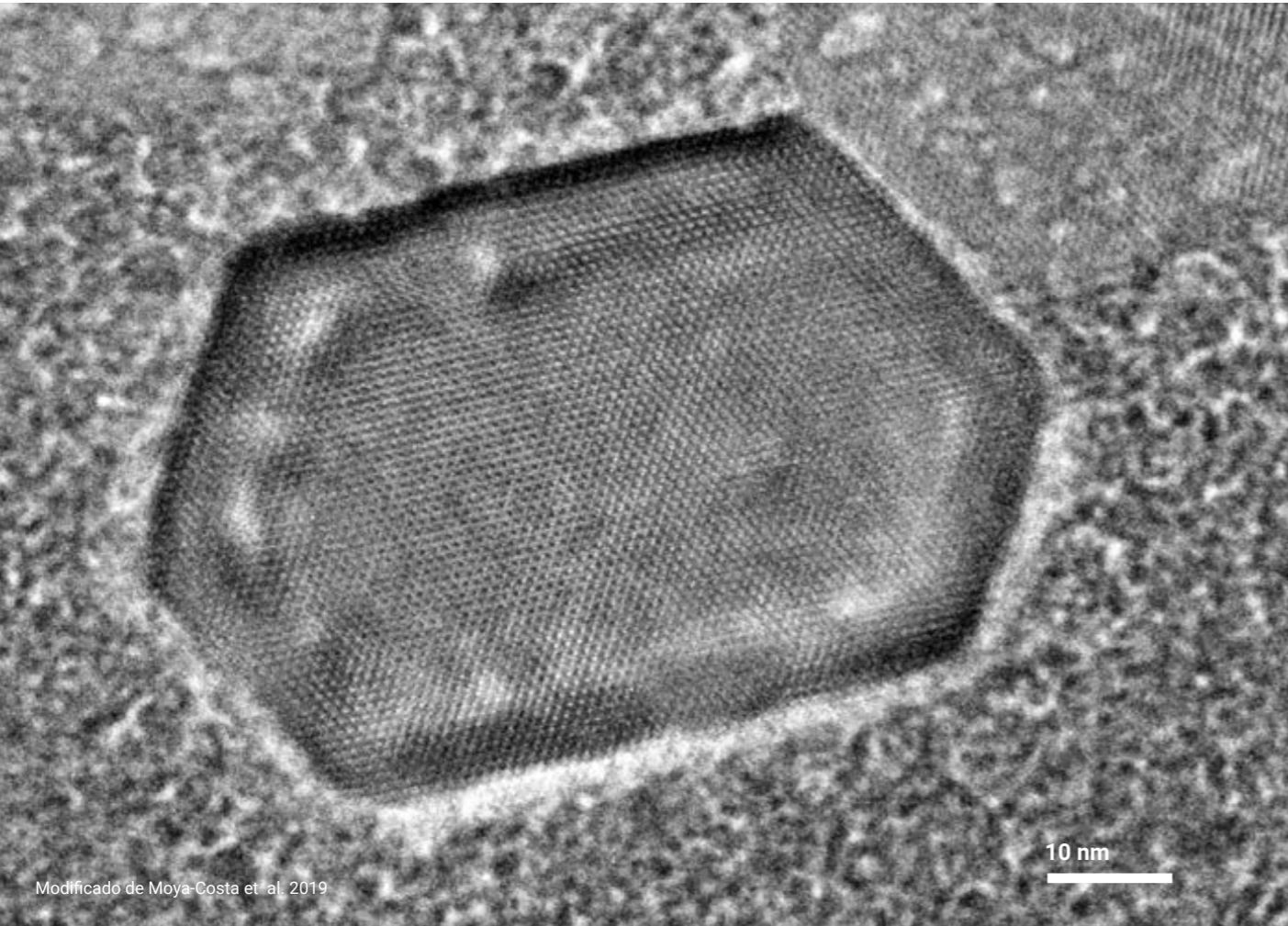
# Cristalografía y biominerales

“Los seres vivos estamos  
formados por cristales  
y también somos capaces  
de producirlos”.

Acantilados de Dover.  
Rocas calizas formadas  
por caparazones  
de organismos  
planctónicos.

Raquel Moya





Tsester commons.wikimedia.org. Licencia: CC0 1.0

**Cristal de apatito en esmalte dental (izquierda) y cálculo renal (arriba).**

**L**a Cristalografía es la ciencia que se ocupa del estudio de los cristales, que pueden ser de origen natural, es decir minerales, o sintéticos. Podemos encontrar cristales en diversos contextos, en medicamentos, materiales (no confundir con el vidrio), joyería, en la naturaleza... Están incluso formando parte de nosotros mismos, de los seres vivos, a estos les llamamos biominerales.

A continuación vamos a ver cómo se generan, qué forma adquieren y qué papel juegan en una gran variedad de organismos.

Pero... ¿qué es exactamente un cristal? Un cristal es un sólido cuyos componentes presentan un orden interno que se repite en las tres direcciones del espacio. Estos componentes pueden ser cualquier tipo de elemento o

**“Los cálculos renales se producen por la precipitación de sales de calcio, oxalatos y ácido úrico al ser filtrada la sangre en los riñones”.**

de molécula y su ordenamiento se produce por distintos procesos y en distintos ambientes. El proceso de cristalización parte, en numerosas ocasiones, de un fluido o una disolución, es decir, con sus componentes desordenados y bajo unas determinadas condiciones de presión, temperatura, concentración y pH. Al modificar estas condiciones, los componentes se pueden empezar a unir entre sí de forma ordenada y pasar al estado sólido, formando el cristal.

Si nos centramos en los cristales naturales, las condiciones y el ambiente de crecimiento dependen de la naturaleza, ya sea geológica o biológica.

Los minerales tienen un origen geológico, es decir, que las condiciones físicas y químicas de formación dependen del ambiente en que se encuentran como,



por ejemplo, el proceso por el que los minerales de las rocas ígneas y volcánicas se forman al ascender desde la cámara magmática hasta la superficie, o los cristales de yeso que cristalizan al evaporarse el agua de lagos en condiciones de aridez.

Los cristales de origen biológico pueden dividirse según su composición en orgánicos e inorgánicos. Entre los cristales orgánicos, encontramos las proteínas o los aminoácidos, que se pueden estudiar gracias a sus propiedades cristalográficas. Hay otros inorgánicos, a los que denominamos biominerales, como los que forman las conchas de los bivalvos o las cáscaras de huevo. Un ejemplo de elementos formados por cristales, tanto orgánicos como inorgánicos de origen biológico, son los cálculos renales. Se producen por la precipitación de sales de calcio, oxalatos y ácido úrico al ser filtrada la sangre en los riñones (Gràcia-Garcia et al., 2011).

Los biominerales, al igual que los minerales, se pueden clasificar por su composición según su estructura y composición química (elementos nativos, sulfuros y sulfosales, óxidos e hidróxidos, haluros, carbonatos, nitratos y boratos, sulfatos, cromatos, wolframatos y molibdatos, fosfatos, arseniatos y vanadatos, y silicatos), aunque los que nos resultan más familiares sean solo unos pocos (Skinner, 2005). Estos biominerales más comunes son los carbonatos, especialmente la calcita y el aragonito ( $\text{CaCO}_3$ ), y los fosfatos, fundamentalmente el apatito [ $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ ]. Otros son óxidos como la magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), goethita [ $\text{FeO}(\text{OH})$ ], hematites ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) o disulfuros como la pirita ( $\text{FeS}_2$ )... A continuación se van a describir algunos ejemplos de biominerales producidos por diversos grupos de seres vivos para los cuales representan distintas ventajas adaptativas.

La formación de biominerales por parte de seres vivos puede ser por precipitación mineral bioinducida o precipitación mineral biocontrolada (Päbller et al., 2018).

La precipitación mineral bioinducida consiste en la formación de biominerales como consecuencia de la actividad –generalmente metabólica– de algún organismo. Al no ser el propio organismo el que regula la cristalización, los cristales que se forman son heterogéneos, tienen distintas formas y tamaños y se distribuyen desordenadamente.

Un ejemplo es el de los estromatolitos, que son estructuras de distintas formas (en domo, en láminas, columnas...) que se encuentran en la tierra desde hace

3500 Ma y que aún hoy se siguen formando en zonas someras de lagos y mares. Están constituidas por cristales de calcita y por sedimentos que quedan atrapados entre ellos. Los responsables de su formación son cianobacterias y algas que al realizar la fotosíntesis atrapan el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera y lo hacen precipitar. Como no crecen de forma continua, crean laminaciones de cristales y partículas (Perri y Spadafora, 2011).

Otro ejemplo de precipitación mineral bioinducida es el de las formaciones de hierro bandeado. Están formadas principalmente por bandas alternas de sílex y de minerales de óxidos de hierro, fundamentalmente magnetita y hematites. Estas formaciones representan los primeros indicios de oxígeno libre en la Tierra, que sería liberado por bacterias fotosintéticas desde hace 3800 Ma. Al haber oxígeno libre en grandes cantidades por primera vez, se inició la oxidación del hierro y el depósito de cristales de magnetita y hematites que dieron lugar a capas de minerales (Benedetto 2010).

**“Los estromatolitos son estructuras que se encuentran en la tierra desde hace 3500Ma y que aún hoy se siguen formando en zonas someras de lagos y mares”.**



A.

pixabay.com



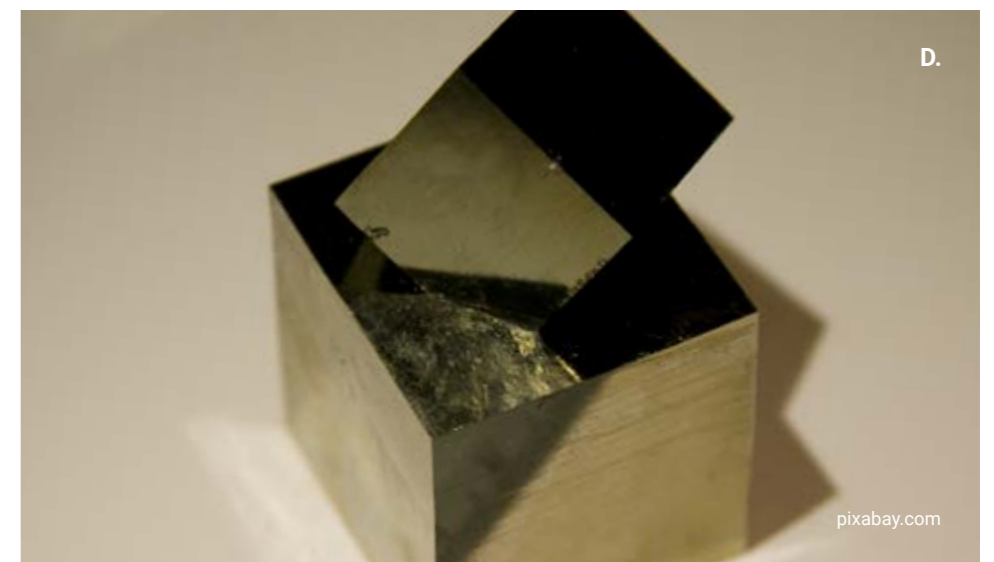
B.

commons.wikimedia.org. Licencia: CC BY SA 3.0



C.

pixabay.com



D.

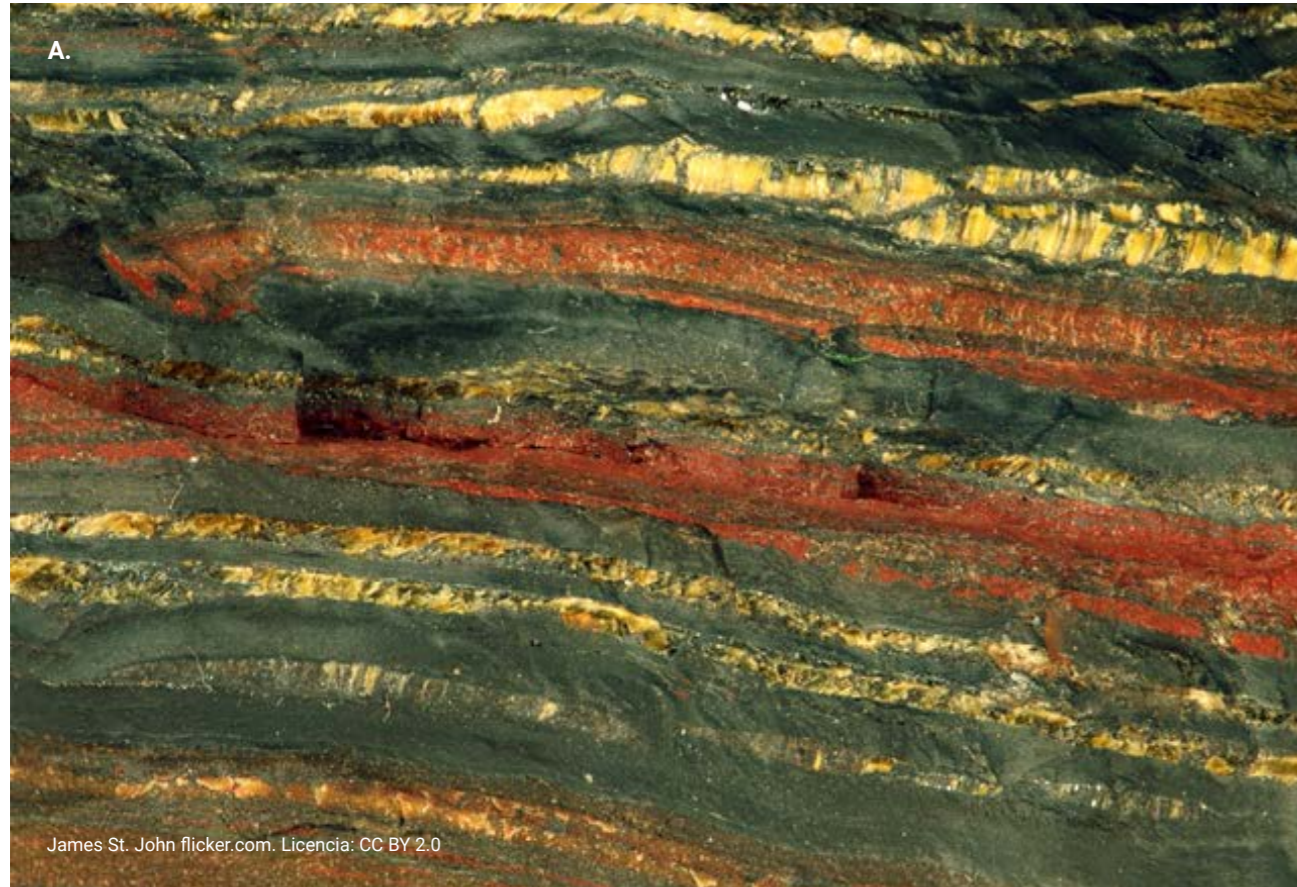
pixabay.com

A.- Calcita.

B.- Aragonito.

C.- Estromatolitos.

D.- Pirita.



A.

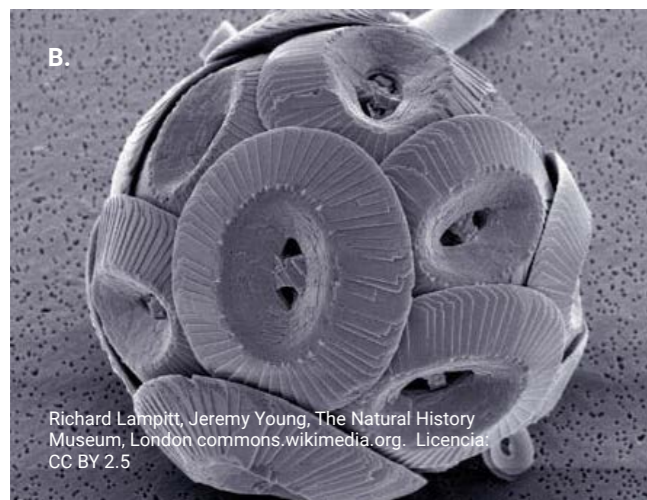
James St. John flicker.com. Licencia: CC BY 2.0

A.- Formación de hierro bandeado.

B.- Cocolitofórido.

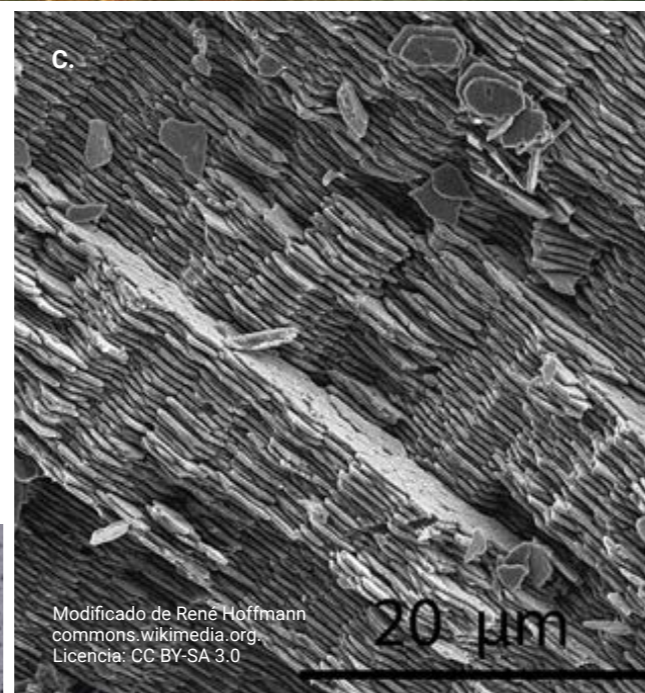
C.- Estructura del nácar de un ammonite formado por cristales de calcita.

D.- Bacteria magnetotáctica.



B.

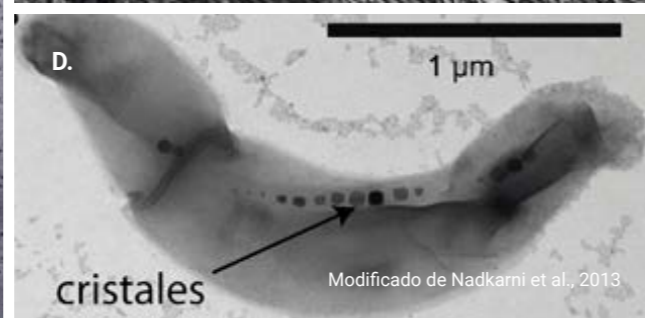
Richard Lampitt, Jeremy Young, The Natural History Museum, London commons.wikimedia.org. Licencia: CC BY 2.5



C.

Modificado de René Hoffmann commons.wikimedia.org. Licencia: CC BY-SA 3.0

20 µm



D.

1 µm

cristales

Modificado de Nadkarni et al., 2013

“Otro ejemplo de precipitación mineral bioinducida es el de las formaciones de hierro bandeado”.

Sección de concha de *Nautilus*.



Por otro lado, la precipitación mineral biocontrolada implica que el organismo tiene control total sobre la cristalización. Los cristales forman parte de sí mismo, funcionando en algunos casos como tejidos propios. Estos biominerales forman parte de cualquier ser vivo, como por ejemplo de algunos organismos unicelulares.

Buena parte del plancton que se encuentra en el océano está formado por organismos unicelulares como son los foraminíferos (protistas) o los cocolitofóridos (algas). Ambos están protegidos y soportados por diminutos y complejos caparazones de calcita y aragonito, milimétricos en el caso de los foraminíferos y nanométricos en el de los cocolitofóridos. En el caso de los cocolitofóridos, los cristales de calcita constituyen plaquitas que se ordenan de una forma determinada según la especie. Cuando estos organismos mueren, sus caparazones caen al fondo y allí se acumulan llegando a formar rocas calizas (Molina 2004).



commons.wikimedia.org Licencia: CC BY SA 3.0.

Los biominerales en organismos suelen tener una función de soporte o de defensa como en el caso anterior, pero no es la única, como ocurre con las bacterias magnetotácticas. Estas bacterias segregan una serie de cristales individuales de biominerales con propiedades magnéticas, como la magnetita. Estos cristales se alinean en su interior formando una cadena que se comporta como un imán y que utilizan como brújula para orientarse según el campo magnético terrestre y desplazarse en función de este (Faivre y Schüller, 2008).

Algunas plantas también son capaces de formar biominerales llamados fitolitos. Entre sus posibles funciones están la de dar más soporte a la planta, servir como almacenes de algunos elementos o como defensa frente a los animales herbívoros. Estos fitolitos suelen estar compuestos por sílice o por carbonatos (Zurro 2006) y, en estudios paleontológicos, son útiles para determinar especies de plantas ya que es fácil que se conserven, pero también para estudiar dietas de animales herbívoros a partir de las marcas que dejan en sus dientes. Los animales que se alimentan de ellas están adaptados al fuerte desgaste que producen en sus dientes, algunos tienen un esmalte dental muy grueso o muy duro y, otros, coronas altas o incluso de crecimiento continuo que les permiten alimentarse.

Pasando a los biominerales del reino animal, entre los invertebrados hay una gran variedad de estructuras biominerales que se utilizan como soporte esquelético y protección.

Un tipo de estructura de soporte y protección es el esqueleto de los corales coloniales que está formado por calcita y cada individuo vive en una cavidad. Cada especie forma un esqueleto diferente y con unas estructuras determinadas. Por otra parte, las conchas y los caparazones también están formados por biominerales.

Los moluscos suelen tener conchas formadas por cristales de calcita o de aragonito. Tienen distintas formas de ordenarse y, normalmente, están rodeados o unidos

**“Este gasterópodo incorpora pirita en su estructura, disulfuro de hierro, lo que le proporciona gran resistencia”.**

***Chrysomallon squamiferum.***  
Gasterópodo con pirita en el caparazón.



Modificado de:  
Nakamura et al., 2012  
Licencia: CC Attribution 2.5  
Generic license.

por alguna sustancia orgánica. Por ejemplo, el nácar de algunos nautiloideos, bivalvos y gasterópodos está compuesto por pequeños cristales hexagonales planos de aragonito. Están apilados y entrelazados con la misma orientación, lo que provoca que al refractarse la luz se produzca su característico brillo iridiscente (Tan et al., 2004). Este apilamiento de placas cristalinicas ayuda a disipar los esfuerzos mecánicos en la concha, por lo que la hace muy resistente frente a depredadores que puedan intentar partirla o perforarla.

Los artrópodos también tienen caparazón. La mayor parte tiene una composición fundamentalmente orgánica, pero en algunos de ellos, como los extintos trilobites, es calcítica. Se ha observado que a estos animales les servían para ver, además de para protegerse, ya que los cristales de calcita que cubrían sus ojos funcionaban como pequeñas lentes (Towe 1973). Estas composiciones carbonatadas son las más habituales en los moluscos y artrópodos, pero hay especies que desarrollan estrategias más específicas.

Hay una especie de caracol marino que vive en las profundidades oceánicas soportando una enorme presión hidrostática. La razón por la que no se aplasta es, en parte, la composición de su caparazón. Este gasterópodo incorpora pirita en su estructura, disulfuro de hierro, lo que le proporciona gran resistencia (Nakamura et al., 2012). Además forma escamas de este mineral alrededor de la parte carnosa que le sirven como protección.

Los vertebrados producen también calcita y aragonito como biomineral. No como parte de su cuerpo, sino como como protección para los embriones. Lo hacen como cáscaras de huevo. Su composición y su forma de organizarse permiten que la cáscara sea permeable a la par que protege al embrión. La composición y la estructura son distintas en cada grupo animal de forma que, con un pequeño fragmento, se puede determinar si procede de lagarto, tortuga, dinosaurio o ave (Hincke et al., 2012).

Nosotros, los vertebrados, tenemos biominerales que forman parte del cuerpo. Un tejido que nos caracteriza es el óseo, compuesto principalmente por apatito, además de por agua y colágeno (Pasteris et al., 2008). Al formar los huesos se constituye un soporte imprescindible para nuestro cuerpo. Es un tejido vivo que crece y se regenera cuando se daña, está formado por distintas células óseas y está continuamente irrigado por fluidos que lo mantienen vivo.

## REFERENCIAS

- Benedetto J. L. (2010). «Capítulo 2. El tiempo profundo: El Eón Arcano». El continente de Gondwana a través del tiempo. Una introducción a la Geología Histórica. Academia Nacional de Ciencias, 373 p.
- Gràcia-García S., Millán-Rodríguez F., Rousaud-Barón F., Montañés-Bermúdez R., Angerri-Feu O., Sánchez-Martin F., Villavicencio-Mavrich H. y Oliver-Samper A. (2011). Por qué y cómo hemos de analizar los cálculos urinarios. Actas Urológicas Españolas, 35: 354.
- Faivre D, Schuler D (2008) Magnetotactic Bacteria and Magnetosomes. Chemical Reviews 108: 4875.
- Hincke M., T., Nys Y., Gautron J., Mann K., Rodríguez-Navarro y McKee M.D. (2012). The eggshell: structure, composition and mineralization. Frontiers in Bioscience 17: 1266.
- Molina E. (editor) (2004) Micropaleontología. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 704 p.
- Moreno-Azanza M., Bauluz B., Canudo J.I., Gasca J.M. y Torcida Fernández-Baldor F. (2016). Combined Use of Electron and Light Microscopy Techniques Reveals False Secondary Shell Units in Megalolithidae Eggshells. PLoS ONE 11(5): e0153026.
- Moya-Costa R., Cuenca-Bescós G., Bauluz B. y Rofes J. (2018) Structure and composition of tooth enamel in quaternary soricines. Quaternary International, 481: 52.
- Moya-Costa R., Bauluz B. y Cuenca-Bescós G. (2019). Structure and composition of the incisor enamel of extant and fossil mammals with tooth pigmentation. Lethaia, en prensa.
- Nadkarni R., Barkley S., Fradin C. (2013). A Comparison of Methods to Measure the Magnetic Moment of Magnetotactic Bacteria through Analysis of Their Trajectories in External Magnetic Fields. PLoS ONE 8(12): e82064.
- Nakamura K., Watanabe H., Miyazaki J., Takai K., Kawagucci S., Noguchi T., Nemoto S., Watsuji T., Matsuzaki T., Shibuya T., Okamura K., Mochizuki M., Orihashi Y., Ura T., Asada A., Marie D., Koonjul



Huevo de gallina (arriba) y mandíbula de musaraña de dientes rojos (abajo).



Fotografía cedida por la autora.

Los dientes también son de apatito. Un diente está compuesto por dentina, cemento y esmalte. Los dos primeros tienen características muy similares a las del hueso, sobre todo la dentina que está vascularizada, pero el esmalte es muy diferente. Aquí su función es la de procesar el alimento. Es muy compacto y prácticamente inorgánico. Para ello forma unos entramados de haces de cristales de apatito que son diferentes según las especies. En los mamíferos es muy complejo, tiene capas diferentes con distintas estructuras que se adaptan al tipo de diente y a cada una de sus partes.

Aun así, algunos mamíferos han desarrollado adaptaciones en los dientes que implican la formación de biominerales distintos. Dos ejemplos son los roedores y los sorícidos o musarañas.

Si observamos los incisivos de una rata, un hámster o un castor, podremos apreciar que tienen un color entre anaranjado y marrón oscuro. Esto es debido a que su esmalte dental contiene cristales de hidróxidos de hierro que, al parecer, le aportan resistencia mecánica, algo muy importante al utilizarlos continuamente para roer.

Menos conocidas son las musarañas de dientes rojos. Mientras que los roedores solo tienen pigmentados los incisivos, estas tienen las puntas de todos los dientes de color normalmente rojo aunque en algunas especies es naranja y, en otras, prácticamente negro. El color también se debe a la incorporación de biominerales de hierro que forman cristales nanométricos y se localizan entre los cristales de apatito (Moya-Costa et al., 2019).

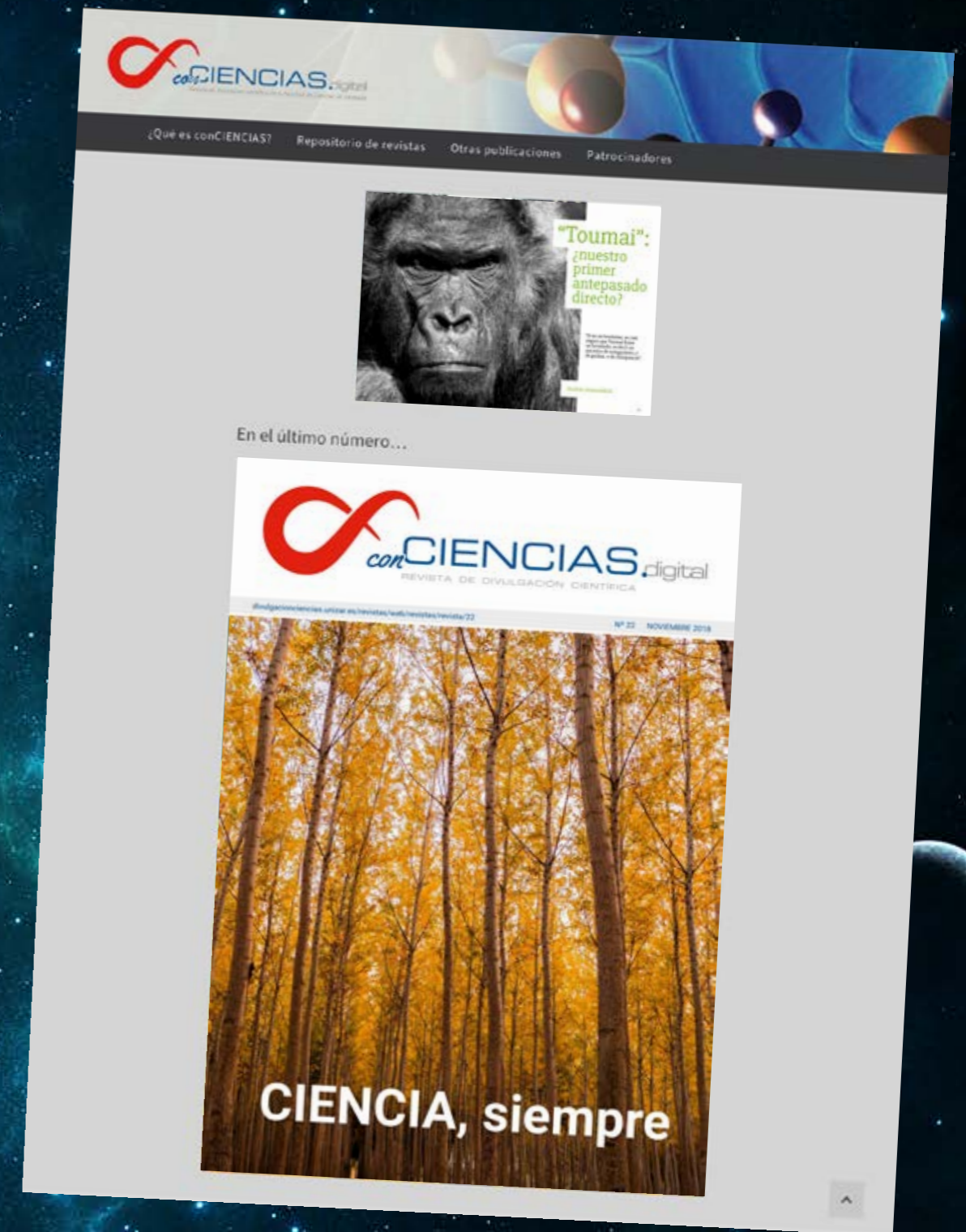
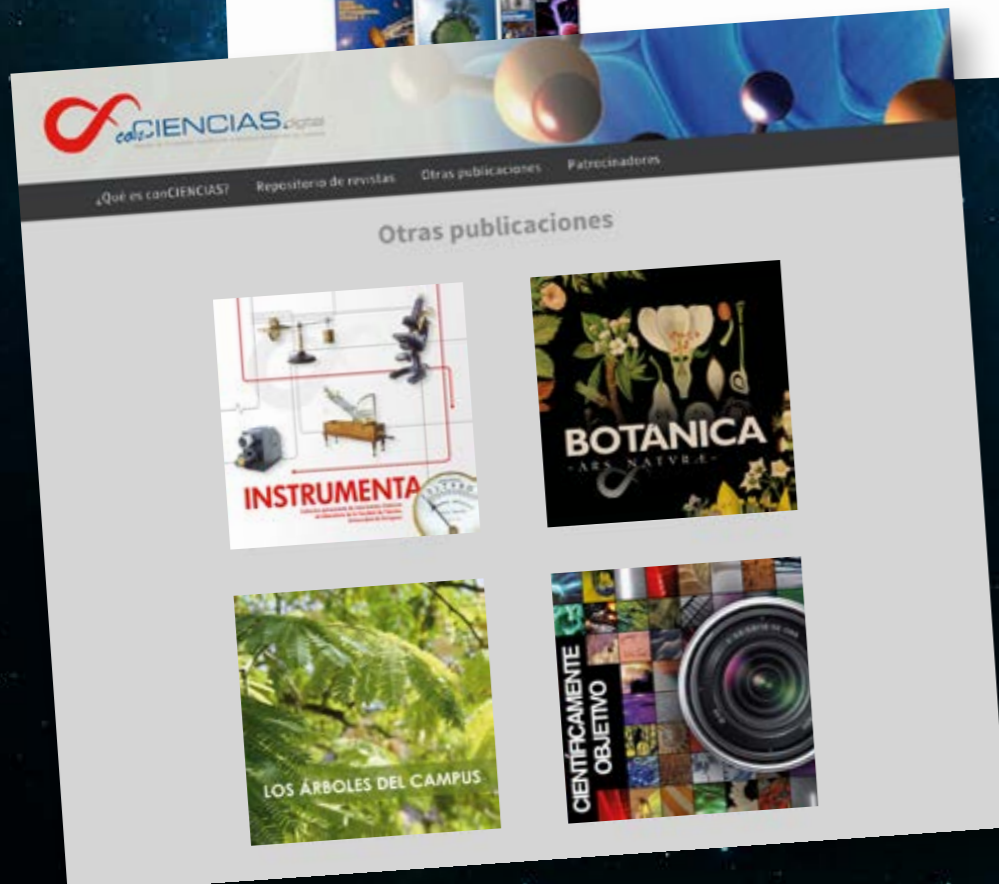
Después de ver diversos ejemplos de biominerales, y las formas que adquieren en los seres vivos, podríamos concluir que los seres vivos estamos formados por cristales y que somos capaces de producirlos; que los biominerales tienen distintas funciones como de protección, sostén o herramientas para procesar el alimento; y que los más comunes son carbonatos y fosfatos, aunque existen numerosos tipos, casi tantos como minerales.

Raquel Moya  
Aragosaurus-IUCA  
Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza.

M., Singh M., Beedessee G., Bhikajee M., Tamaki K. y Schnur J. M. (2012). "Discovery of New Hydrothermal Activity and Chemosynthetic Fauna on the Central Indian Ridge at 18–20S". *PLoS ONE* 7(3): e32965.

- Päßler J.P., Jarochovska E., Bestmann M. y Munnecke A. (2018). Distinguishing between biologically induced and biologically controlled mineralization in fossil organisms using electron backscatter diffraction (EBSD). En: *Abstract Book. 1st Palaeontological Virtual Congress*, p. 120.
- Pasteris J. D., Wopenka B. y Valsami-Jones E. (2008). Bone and Tooth Mineralization: Why Apatite?. *Elements*, 4: 97.
- Perri E. y Spadafora A. (2011). Evidence of microbial biomineralization in modern and ancient stromatolites. En: Tewari, V., Seckbach (Eds). *Stromatolites: Interaction of Microbes with Sediments*, Springer.
- Skinner H.C.W. (2005). Biominerals. *Mineralogical Magazine*, 69: 621.
- Tan, T.L., Wong, D. y Lee, P. (2004) Iridescence of a Shell of mollusc *Haliotis Glabra*. *Optical Society of America*, 12 (20).
- Towe K. M.(1973). Trilobite Eyes: Calcified Lenses in vivo. *Science*, 179, 1007.
- Zurro D. (2006). El análisis de fitolitos y su papel en el consumo de recursos vegetales en la prehistoria: bases para una propuesta metodológica materialista. *Trabajos de prehistoria* 63: 35.

ii Más de 11 años divulgando la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es



# Paisajes que nos hemos perdido

“Es frecuente descubrir paisajes fascinantes que nos hubiera gustado contemplar y que nos hemos perdido porque no estábamos hace unos cuantos millones de años”.



**L**os geólogos, en muchos trabajos, tratamos de reconstruir la historia geológica a escala local, regional o global, en el único campo temporal al que podemos acceder: el que es mensurable por cambios físicos, pero que resulta difícil de concebir por sus magnitudes, tan alejadas de la experiencia humana. En este empeño es frecuente descubrir paisajes fascinantes que nos hubiera gustado contemplar, que no tienen equivalentes actuales y que nos hemos perdido porque no estábamos hace unos cuantos millones de años (ni estar hoy disponibles los viajes en el tiempo).

Alguno de esos paisajes lo tuvimos bien cerca de nuestras costas mediterráneas, hace poco en términos de tiempo geológico (total, hace entre 5,97 y 5,33 millones de años; Krijgsman et al., 1999), relacionados con un episodio denominado "Crisis de Salinidad Messiniense" (en adelante CSM). Aunque existen antecedentes, las noticias más trascendentes sobre la CSM las dieron Hsü, Ryan y Cita en 1973 con su primera interpretación de los sondeos del *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) en el Mediterráneo.



►  
**Yesos messinienses en la Cuenca del Bajo Segura. Aspecto de campo y detalle.**

Fotografía cedida por los autores.

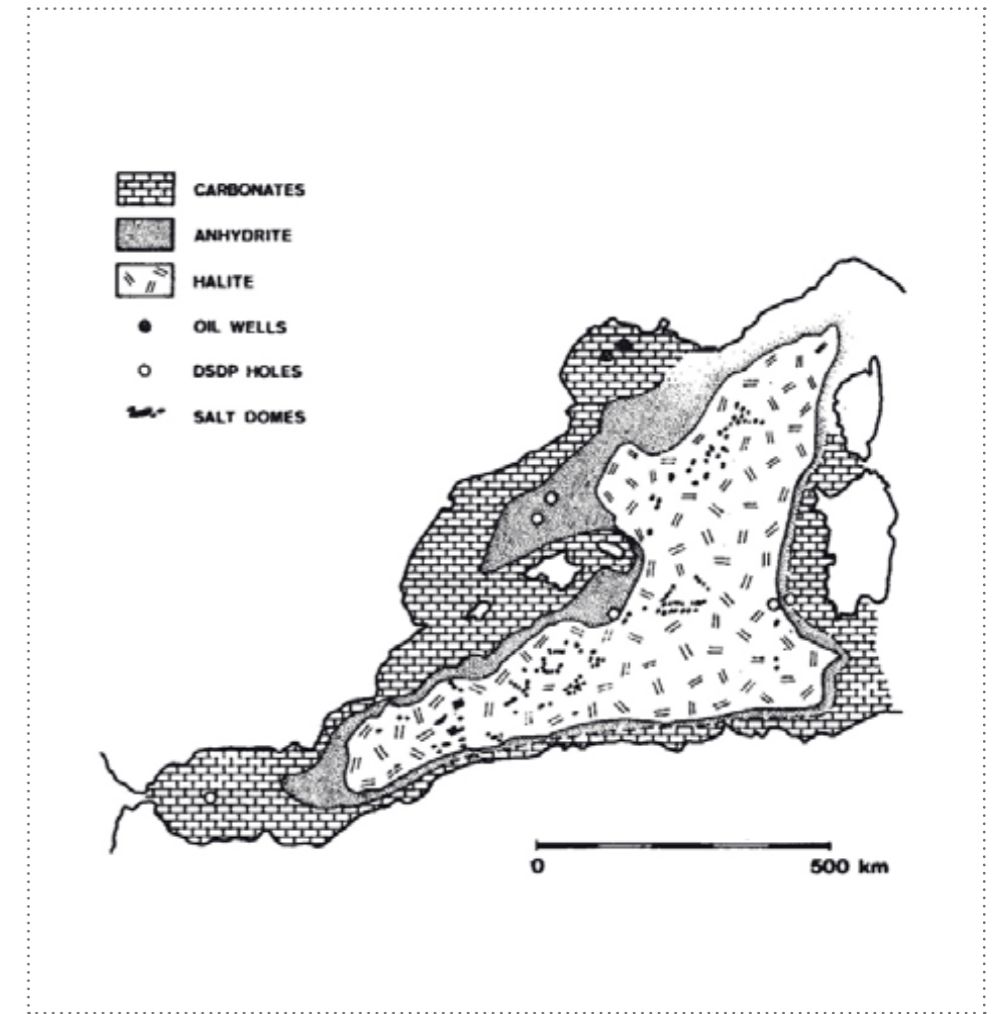
Kennet J. Hsü, nacido en China en 1929, desarrolló la mayor parte de su trabajo en el Instituto Federal de Tecnología de Zúrich. Impactó a la comunidad geológica, aparte de con el anuncio de la CSM, con sus ideas sobre el "Catastrofismo actualista", en 1983. Con esta denominación Hsü se refiere a los acontecimientos geológicos excepcionales, en nuestra percepción asimilables a grandes catástrofes. Tales acontecimientos no son físicamente imposibles sino perfectamente naturales; son improbables en nuestro corto tiempo de vida, pero casi

con certeza ocurrieron a lo largo de la historia del planeta. Por ejemplo, hacía poco que Alvarez et al. (1980) habían postulado la caída de un meteorito como causa de la extinción que marca el límite Mesozoico/Cenozoico hace 66 Ma. Hsü sostiene que tales acontecimientos se reconocen como formas o como depósitos en el registro geológico, y que su frecuencia a lo largo de la historia terrestre es inversamente proporcional a sus dimensiones (p.e., diámetro de los cráteres de impacto meteorítico) o al volumen de los depósitos relaciona-



wikipedia.es

► Probable distribución de evaporitas en el Mediterráneo occidental, según Hsü et al. (1973). Esta distribución tipo "ojo de buey" se ha confirmado con posteriores sondeos.



dos (p.ej., gigantes salinos, deslizamientos gravitacionales de grandes masas), y afirma que el Catastrofismo actualista debe ser aceptado como filosofía de trabajo por los sedimentólogos. Otros autores rebautizaron ese término, quizá más adecuadamente, como "Neouniformitarismo".

Cualquiera que sea la denominación, el concepto está claro: en el pasado ocurrieron procesos geológicos graduales y continuos, como los que podemos observar hoy, pero también otros ocasionales de magnitud excepcional, con grandes efectos a escala regional e incluso global. Hoy, el catastrofismo, con sesgo apocalíptico, se vende en la prensa y en los reportajes de televisión: se nos advierte de los efectos de un supervolcán como el de Yellowstone, cuya última explosión fue hace 640.000 años, pero antes tuvo otras hace 1,3 y 2,1 Ma, o del megatsunami que provocaría la avalancha al océano de una ladera volcánica de Canarias o de Hawái.

▲ **El buque oceanográfico Glomar Challenger. Del trajín que llevó en las campañas del DSDP da cuenta que fue botado en 1968 y quedó fuera de servicio en 1983.**

**“Los testigos extraídos en varios pozos perforados desde el Glomar Challenger rescataron anhidrita y halita”.**

Uno de esos acontecimientos excepcionales que invocaba el Catastrofismo actualista de Hsü es la CSM, a la que volvemos ahora. "Messiniense" es la denominación del último piso del Mioceno, definido en Mesina, Sicilia, en gran parte compuesto por depósitos evaporíticos, que abarca una edad de 7,246 a 5,333 Ma. Luego viene el Plioceno, la última época del Neógeno. Después, a los 2,588 Ma, se entra ya en el Cuaternario. En muchos otros lugares del área mediterránea afloran depósitos evaporíticos del Messiniense; por ejemplo, en España, en las cuencas cenozoicas de Sorbas (Almería) o del Bajo Segura (Alicante). Eran cuencas marinas marginales de aguas someras.

En 1970 se iniciaron los trabajos de perforación del DSDP en el Mediterráneo con el Glomar Challenger, un buque oceanográfico diseñado para perforar 1000 m de sedimentos a profundidades de más de 6000 m. La finalidad de la campaña era alcanzar un potente y

enigmático reflector sísmico, conocido como "reflector M", que había sido detectado en los sedimentos de los fondos del Mediterráneo, tanto en su parte occidental, al sur de Baleares y en el Mar Tirreno, como en su sector oriental, en el Mar Jónico. Este reflector muestra estructuras diapíricas que perforan los sedimentos suprayacentes, lo que apunta a la movilidad propia de las litologías salinas. Y así es, los testigos extraídos en varios pozos perforados desde el Glomar Challenger rescataron anhidrita y halita cuando alcanzaron el reflector M.

La distribución de estos depósitos evaporíticos sigue un esquema de "ojo de buey" en el Mediterráneo occidental, es decir, con las sales distribuidas según un patrón concéntrico: la halita en el área central de la cuenca, los sulfatos rodeándola y los carbonatos ocupando la periferia. Esta disposición llevó a Hsü y coautores a establecer que el Mediterráneo habría perdido su comunicación





wikipedia.es



Fotografía cedida por los autores.

◀  
Reconstrucción del *Myotragus balearicus* (arriba) y sus huellas en la superficie de una duna pleistocena en Mallorca (abajo).

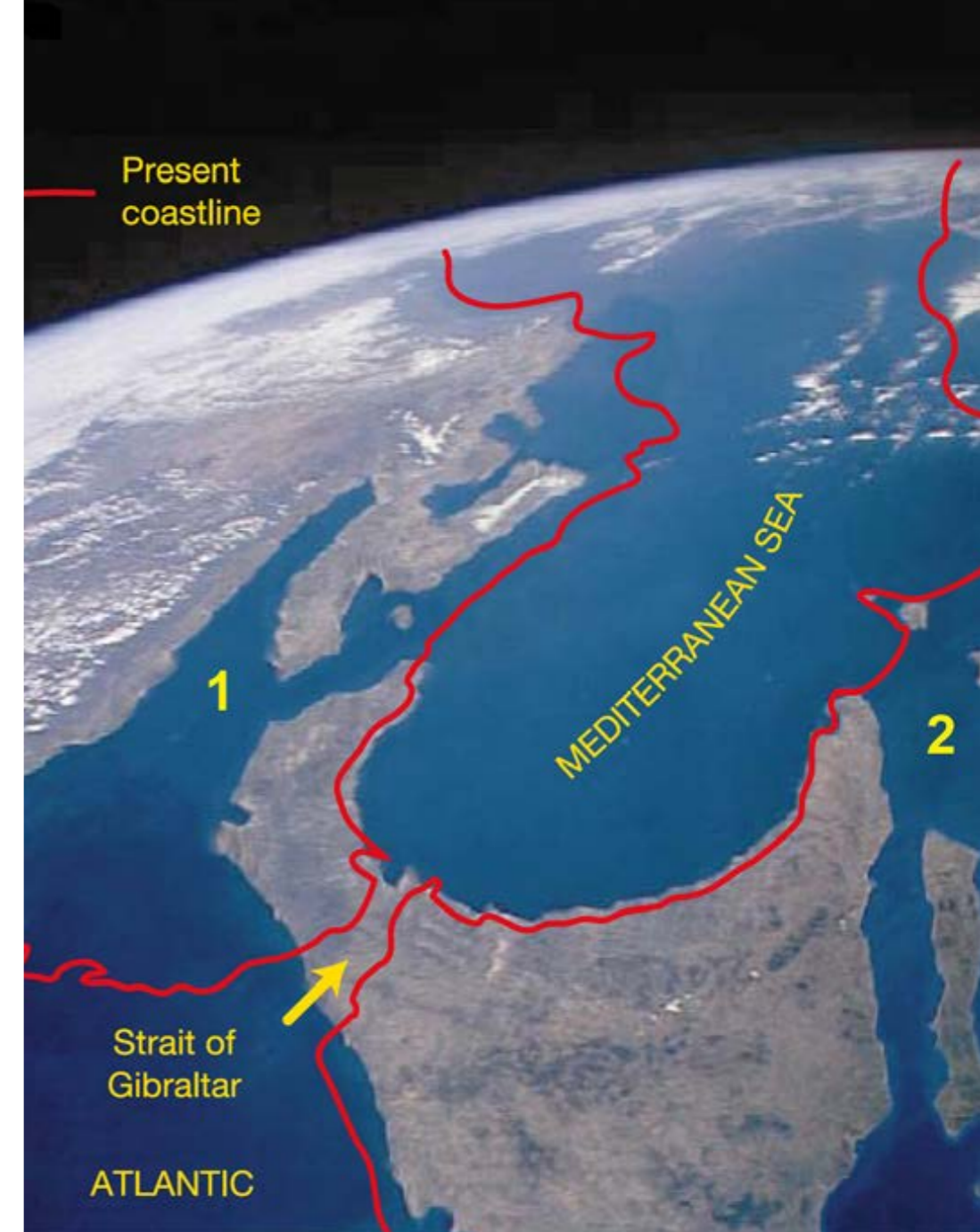
con el Atlántico durante el Messiniense. Dado que en el agua marina de salinidad normal (alrededor de 35 g/l) precipita NaCl cuando se evapora aproximadamente en un 90%, Hsü et al. supusieron que su existencia en el fondo del Mediterráneo implicaba un descenso del nivel marino superior a 1000 m en cualquier punto.

Imaginemos el paisaje desde el lugar donde hoy están Salou, el Cabo de Gata o la Sierra de Levante en Mallorca: el mar brillaría por su ausencia, pero lo que sí brillaría en la lejanía, y cientos de metros más abajo, sería una superficie deslumbrante de yeso y anhidrita cuarteada por grietas de desecación, y al fondo un gran lago hipersalino, donde precipitaba halita, en el que se flotaría

mejor que en el Mar Muerto. El peor de los desiertos imaginables, una inmensa *sebja* a más de 1 km por debajo del nivel del mar actual, donde la formación de anhidrita implica que la temperatura superaba los 60° C.

La única “ventaja” de un panorama como este es que no sería necesario el barco o el avión para ir hasta las Baleares. No es que hubiera un puente desde Valencia hasta Mallorca, como reclamaba el grupo Los Mismos en su “canción del verano” de finales de los 60 del pasado siglo, pero se podía ir a pie, y eso hizo la denominada “fauna de *Myotragus*” (Mas et al., 2018). Superada la Crisis de salinidad, con el Mediterráneo nuevamente inundado al inicio del Plioceno, *Myotragus*, una intrépida cabra que

▶  
Fotografía de la NASA del Mediterráneo occidental, modificada por Duggen et al. (2003) para mostrar las comunicaciones con el Atlántico hace unos 8 Ma.  
1) Estrecho Bético;  
2) Estrecho Rifeño.



ramoneaba por las dunas isleñas, quedó aislada y evolucionó en Baleares dando endemismos que culminaron en la especie *Myotragus balearicus*. Este animal se extinguió hace unos 5000 años, quizá con la colonización humana de las islas. Para que fuera posible su llegada a Baleares, donde no se conocía anteriormente, el nivel del Mediterráneo tuvo que bajar de 1000 a 1200 m, la profundidad mínima estimada del Surco de Valencia entonces. Otros autores calculan descensos de 1500 a 2700 m (García-Castellanos et al., 2009), según se considere las cuencas occidentales o las orientales, más profundas.

También podemos imaginar que estamos al este de los Apeninos, en Italia: nada de bañarnos en el Adriá-

“La crisis de salinidad se desencadenó porque se bloquearon los estrechos Bético y el Rifeño”.

tico; como mucho en el río Po, que discurría como curso fluvial hasta el Mar Jónico, más profundo que la cuenca que veíamos al sur de Baleares. A cambio podríamos hacer una excursión a pie hasta Sicilia, y luego hasta Túnez, porque el estrecho de Sicilia era entonces un alto fondo emergido que separaba los mares Tirreno y Jónico (ver imagen de portada).

¿Cuánto tiempo se necesitaría para llegar a esta situación? A partir del balance hídrico actual del Mediterráneo (precipitaciones más aportes fluviales menos evaporación), resulta un déficit de más de  $3 \times 10^3 \text{ Km}^3$  anuales, que es lo que ahora suple el aporte atlántico por el Estrecho de Gibraltar. Si este se cerrase, el Mediterráneo se desecaría en unos 1000 años. Un instante en el tiempo geológico.

Ahora detallaremos las ideas de Hsü et al., pero antes debemos ir a cómo se comunicaban el Atlántico y el Mediterráneo antes de la CSM: el Estrecho de Gibraltar no existía; era un relieve de origen tectónico, un arco

que enlazaba las Béticas y el Rif en pleno levantamiento. En su lugar había dos estrechos. Uno discurría por el actual valle del Guadalquivir, al norte de la Cordillera Bética y alcanzaba el Mediterráneo a través de las cuencas de Guadix-Baza, Fortuna y Bajo Segura. El otro pasaba entre Rabat y Melilla-Nador, al sur del Rif marroquí. Es decir, la crisis de salinidad se desencadenó porque se bloquearon los estrechos Bético y Rifeño.

Hsü et al. (1973) exponen que el Mediterráneo era un mar profundo antes de la CSM, porque los sedimentos messinienses inmediatamente subyacentes (es decir, de más de 5,99 Ma), al igual que los suprayacentes del Plioceno, contienen organismos fósiles de aguas marinas profundas y frías. También señalan que, según datos geofísicos, ríos como el Ródano y el Nilo presentan bajo sus deltas actuales profundos cañones (el del Nilo comparable en dimensiones al Gran Cañón del Colorado) rellenos por sedimentos fluviales. Estos cañones, ya sin relleno sedimentario, se prolongan a mayores batimetrías, hasta las llanuras abisales actua-

les. Hay otros cañones submarinos que conservan su morfología en los márgenes continentales mediterráneos, y todos ellos pudieron formarse por la incisión vertical de los ríos, forzada por el descenso del nivel de base que implicó la desecación. Incisiones menos espectaculares se conocen también en tierra como canales profundos rellenos de gravas, entre materiales marinos pre y post-CSM, emergidos posteriormente.

Hsü et al. (1973) también señalan que la desecación del Mediterráneo no puede dejar más de 60 m de halita en un mar reducido por evaporación a prácticamente la mitad de su superficie. Sin embargo, la halita messiniense alcanza más de 1 km de espesor. Los aportes de los ríos no son capaces de justificar tal volumen, por lo que proponen episodios recurrentes de relleno parcial de las cuencas mediterráneas desde el Atlántico. Tales episodios podrían deberse a ascensos del nivel oceánico, pero la inundación final, al inicio del Plioceno, la ven como un proceso catastrófico, consecuencia de la apertura del Estrecho de Gibraltar por la

actividad extensiva en la falla transformante de Azores, la que separa las placas africana y euroasiática.

Desde el primer momento la hipótesis de la desecación de un Mediterráneo profundo tuvo críticas, incluso entre los mismos científicos involucrados en la campaña del Global Challenger. Alguno de ellos postuló una profundidad de solo 200 a 600 m para el Mediterráneo antes de la crisis de salinidad; las profundidades actuales serían debidas a subsidencia. De hecho, los procesos isostáticos se dieron con toda seguridad, al restar o sumar grandes volúmenes de agua y añadir potentes depósitos evaporíticos en el centro de las cuencas. Pero trabajos posteriores aportan datos que aseguran el modelo inicial de cuenca profunda, aunque algunos rebaten su desecación total.

Una segunda campaña del DSDP en el Mediterráneo se realizó en 1975, y como resultado se obtuvieron nuevos datos sobre la CSM (Hsü et al., 1977): la sucesión messiniense estaría formada por dos unidades, las Evaporitas Inferiores y las Evaporitas Superiores, separadas por una discontinuidad. Esta discontinuidad marcaría el momento de máxima desecación, y sería entonces cuando los ríos excavaron los cañones en los márgenes de las cuencas. Las Evaporitas Superiores las atribuyen a una nueva inundación y posterior desecación, aunque con aportes periódicos de agua marina. Pero ojo, estas unidades y la discontinuidad que las separa no han sido perforadas en su totalidad; son visibles en Sicilia, una cuenca que se supone de profundidad intermedia (menos de 1000 m) durante el Messiniense y emergida después por procesos tectónicos. Hay autores, como Martínez del Olmo (1996), que ponen en duda la correlación entre las unidades de Sicilia y las del centro de las cuencas, solo conocidas en su totalidad por imágenes sísmicas, y rechaza asimismo la desecación total. En realidad, la sísmica diferencia hasta tres unidades en las áreas centrales: añade a la Inferior y a la Superior una intermedia denominada "Unidad móvil" (o sea, capaz de migrar y formar diapiros) interpretada como el mayor depósito de halita. Esta unidad supera los 1000 m de espesor en las cuencas occidentales y los 2000 m en las orientales.

Pero lo más curioso es el final de la sucesión messiniense, justo antes de la definitiva invasión atlántica en el Plioceno. Las Evaporitas Superiores están cubiertas por sedimentos margosos y arenosos con una fauna de foraminíferos bentónicos (p.ej., *Ammonia becarii*) y ostrácodos (p.ej., *Cyprideis pannonica*) de aguas



“La hipótesis de la desecación de un Mediterráneo profundo tuvo críticas, incluso entre los mismos científicos involucrados en la campaña del Global Challenger”.



**Depósito conglomerático sobre margas con foraminíferos pre-Crisis messiniense, al que se superponen areniscas marinas someras pliocenas. Los conglomerados rellenan un canal fluvial. Cuenca del Bajo Segura (Alicante).**



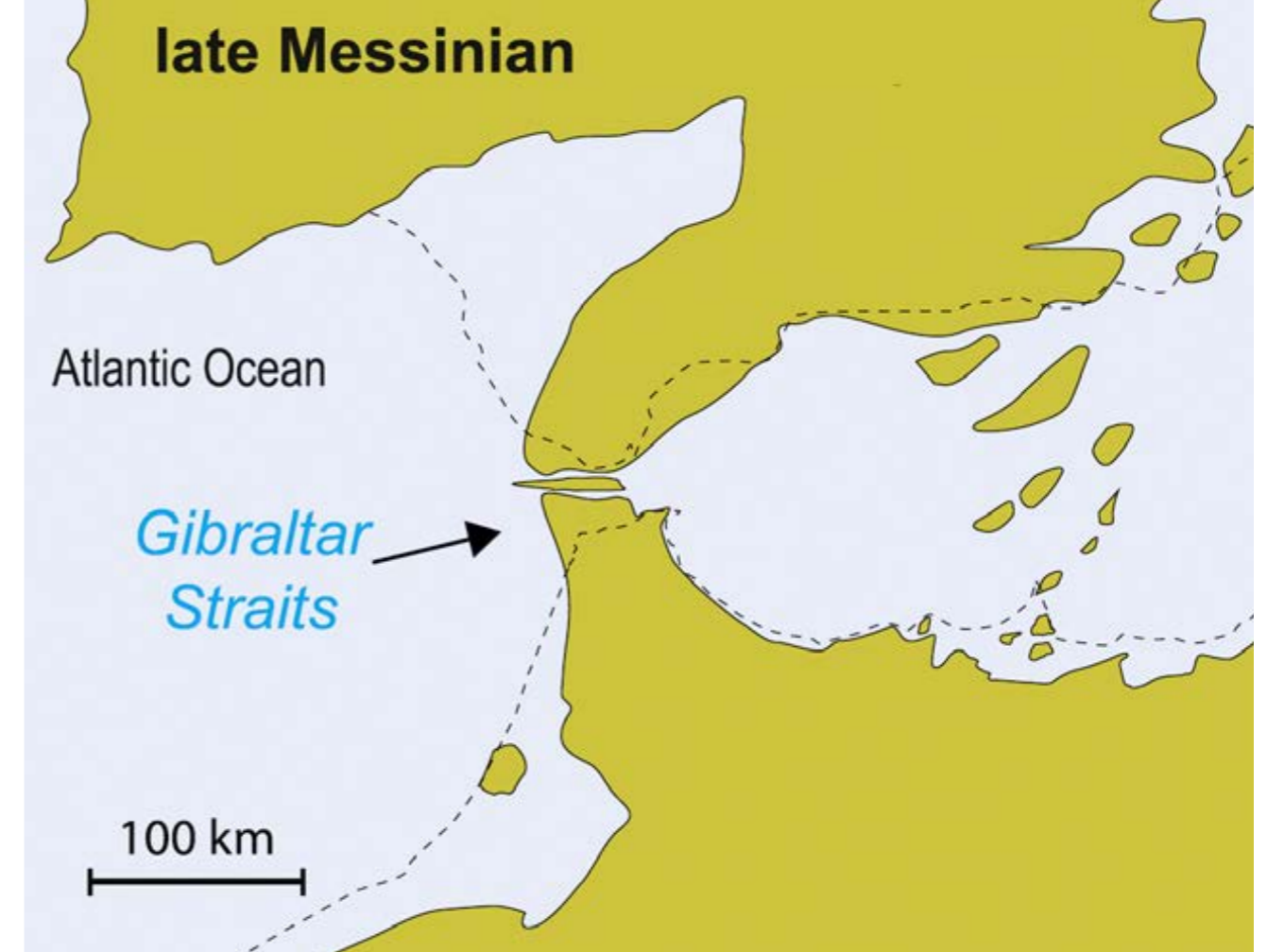
El área mediterránea y el Paratetis antes de la Crisis de salinidad messiniense.

- A) Estrecho Bético;
- B) Estrecho Rifeño;
- C) Paratetis, en ese momento sin conexión con el Mediterráneo.

dulces o de baja salinidad. Estos depósitos se registran en todo el Mediterráneo, y Hsü et al. (1977) los bautizaron como *episodio Lago Mare*. Así pues, el Messiniense mediterráneo termina como un lago oligohalino. ¿De dónde proviene ese volumen de agua? Al parecer del *Paratetis*, una extensa masa de aguas continentales que se situaba sobre el continente euroasiático, abarcando como un todo continuo el área de los mares Aral, Caspio, Negro y la denominada Cuenca Panónica en la Hungría y Rumanía actuales, entre los Cárpatos y los Alpes Dináricos. Precisamente los Alpes, Dinárides y Balcanes impedían su comunicación con el Mediterráneo, hasta que el Paratetis traspasó esas barreras y le vertió sus aguas al final del Messiniense, en un episodio que probablemente duró menos de 100.000 años.

Desde las primeras campañas del Glomar Challenger se han sucedido los trabajos de perforación y geofísica en las cuencas mediterráneas, incluidos los estudios para un túnel a través del Estrecho de Gibraltar realizados por la "Sociedad española de estudios para la comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar" (SECEG, S. A.), así como numerosos artículos sobre el Messiniense en los países ribereños. Sin embargo, el tema no está

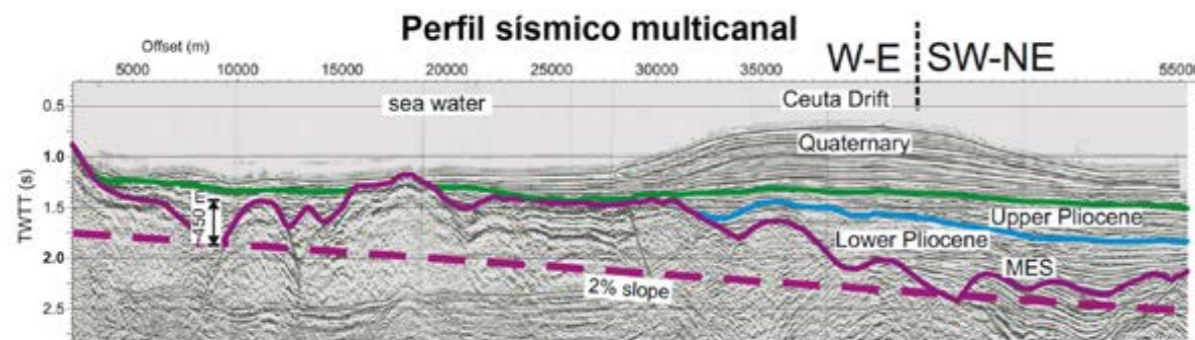
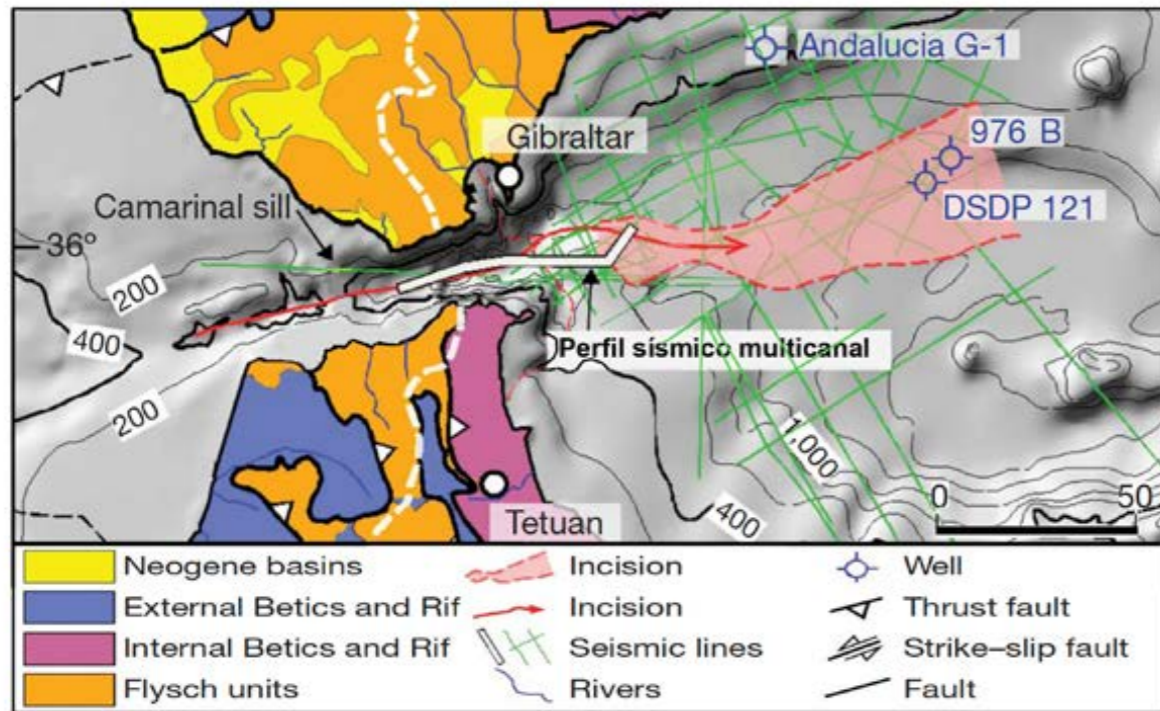
“Aún está por investigar en profundidad la repercusión que pudo tener a escala global un evento que secuestró un 10% de las sales de los océanos”.



cerrado todavía, al no tener testigos de la secuencia evaporítica total en el centro de las cuencas mediterráneas. Hay grupos de investigación que aspiran a realizar su perforación completa en el marco de los actuales programas internacionales de perforaciones oceánicas.

Por otra parte, aún está por investigar en profundidad la repercusión que pudo tener a escala global un evento que secuestró un 10% de las sales de los océanos. ¿Cómo afectó al clima la CSM; se congelaba con más facilidad y en más extensión el Ártico, con el consiguiente incremento del albedo? Y al contrario, ¿hubo relación entre oscilaciones eustáticas, debidas a las variaciones del casquete antártico en esa época, el aislamiento del Mediterráneo y sus comunicaciones parciales con el Atlántico y, finalmente, con la inundación pliocena? Eso sugieren Ohneiser et al. (2015). En cambio, García-Castellanos y Villaseñor (2011) elaboraron un modelo computacional en que la erosión, producida por el flujo de entrada de agua a través del estrecho de conexión con el Atlántico, competía con el levantamiento tectónico, llegándose a un equilibrio que mantuvo la profundidad de ese estrecho casi constante. Y si no se conoce con seguridad el mecanismo de las recargas

La vía de recarga entre el Atlántico y el Mediterráneo hacia el final del Messiniense, antes de la inundación pliocena, según Krijgsman et al. (2018). Los trazos discontinuos representan las líneas de costa actuales.



García-Castellanos et al., 2009

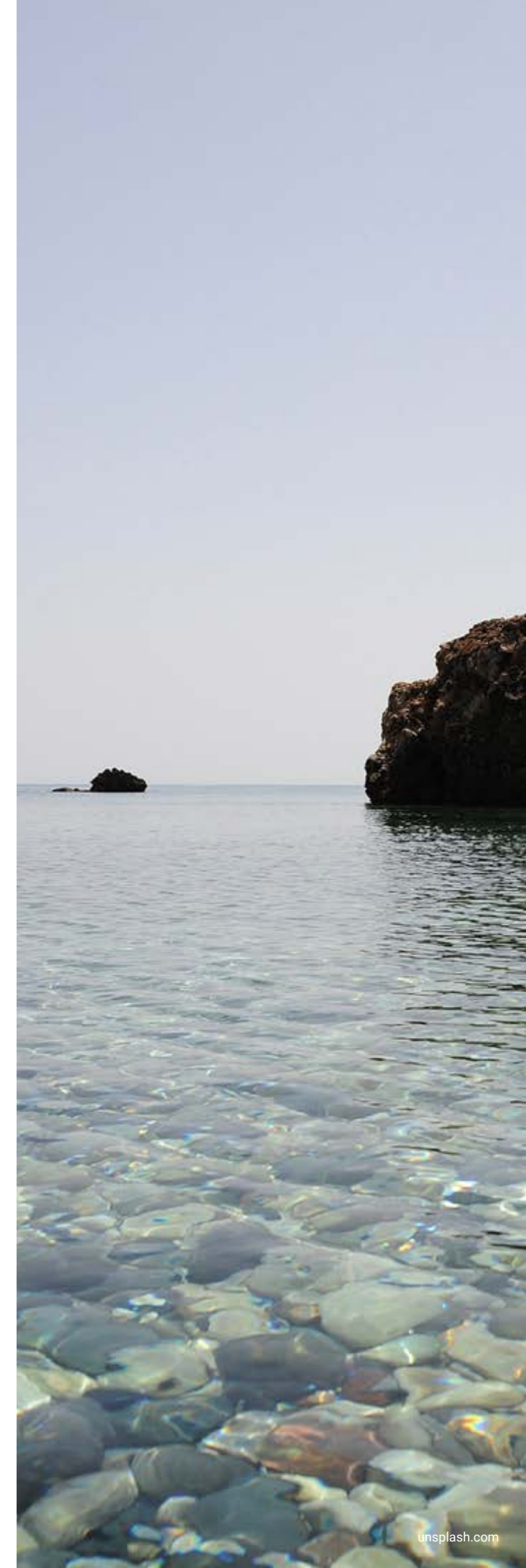
▲  
**Esquema geológico del área del Estrecho de Gibraltar y perfil sísmico multicanal a lo largo del mismo (línea blanca aproximadamente Este-Oeste en el mapa). El perfil tiene la escala vertical en two-way travel time (TWTT, tiempo de ida de las ondas sísmicas del emisor al reflector y regreso, en segundos). En él se interpreta la superficie de erosión producida durante la inundación del Mediterráneo al final de la Crisis de salinidad messiniense (línea MES), de un 2% de pendiente media, fosilizada por depósitos pliocenos y cuaternarios**

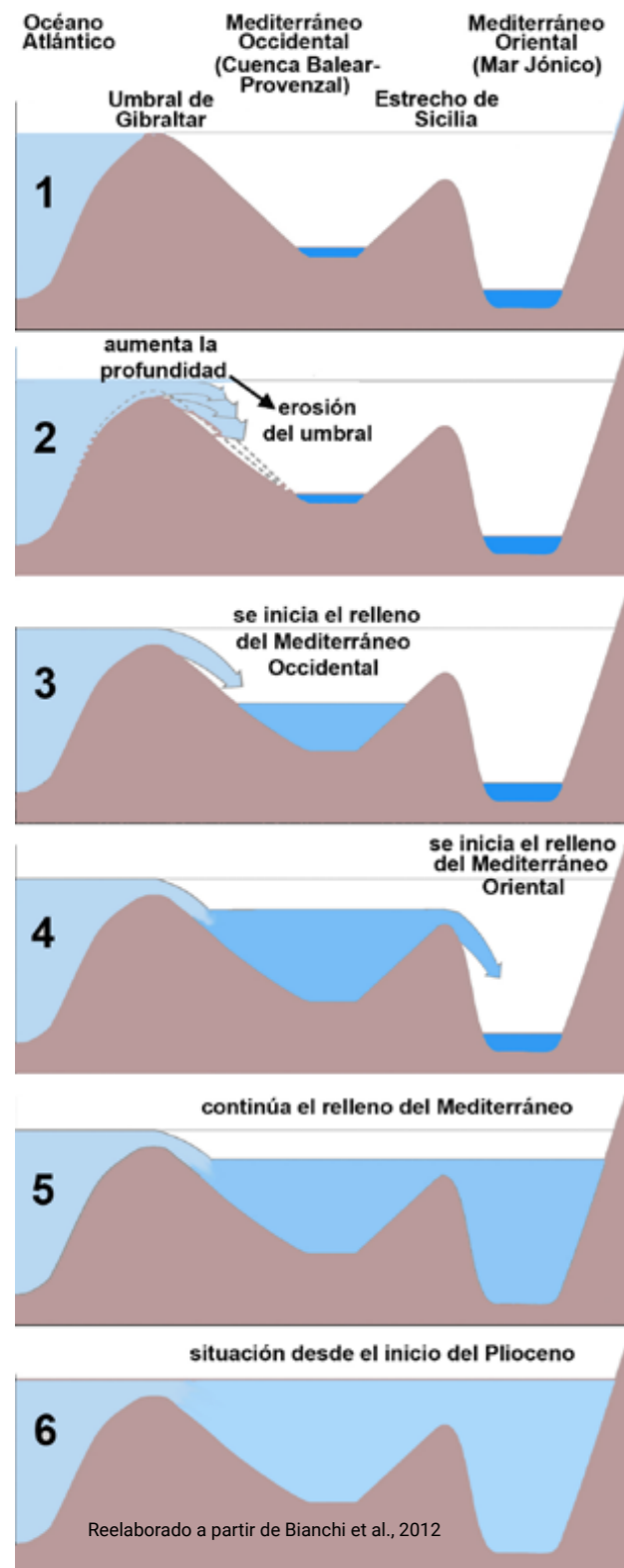
“El 90% de la recarga de agua del Mediterráneo se realizaría entre unos pocos meses y 2 años, con ascensos del nivel del agua ¡de más de 10 m por día!”.

oceánicas que dieron lugar a la potencia total de sales messinienses, tampoco su vía (o vías) de entrada. Unos autores apuntan al Estrecho Rifeño; otros, como Krijnsman et al. (2018) añaden a este un Estrecho de Gibraltar en sus momentos iniciales, en los que, interpretando datos geofísicos, sería doble y muy, muy estrecho.

Pero en fin, vayamos al término de la CSM con la inundación del Mediterráneo a través del Estrecho de Gibraltar. Este es otro formidable paisaje que nos hemos perdido. Hsü et al. en 1973 ya consideran que se trató de un proceso catastrófico. Blanc (2002) elaboró un modelo numérico a partir de datos geomorfológicos e hidrológicos del Estrecho y concluyó que las aguas atlánticas fueron capturadas por la erosión remontante de un curso fluvial que nacía en el Arco Bético-Rifeño y drenaba hacia el Mediterráneo. Este río pudo aprovechar estructuras preexistentes (por ejemplo, fallas) para encajarse en el sustrato rocoso. En los primeros años el nivel del agua en el Mediterráneo variaría poco, pero después el relleno se completaría ¡en solo 10-11 años!

En esta idea abundan García-Castellanos et al. (2009), que dan cuenta de un canal de 200 km de longitud entre el Atlántico y el Mediterráneo, resultado de la erosión producida por la inundación pliocena. Su modelo sugiere que la inundación se iniciaría con descargas moderadas durante unos cientos de años, pero alcanzaría finalmente los  $10^8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (tres órdenes de magnitud la del río Amazonas actualmente) con valores de incisión de 0,4 m diarios en el canal. Esto supone que el 90% de la recarga de agua del Mediterráneo se realizaría entre unos pocos meses y 2 años, con ascensos del nivel del agua ¡de más de 10 m por día! (como para pensar en un apartamento en primera línea de playa). Sin embargo, no habría una catarata





espectacular, como otros habían sugerido, ya que la pendiente en el canal variaba del 1 al 4% tan solo.

Pero donde quizás sí hubo una catarata espectacular fue entre el Mediterráneo occidental y el oriental. Si se interpreta lo que Micalleff et al. (2018) no dicen, pero puede entresacarse de su trabajo, tal catarata pudo tener inicialmente ¡1500 m de altura! (véase El Periódico de Aragón de 5/5/2018, p. 33). Ya se ha dicho que el Estrecho de Sicilia, entre Sicilia y Túnez, fue un umbral durante la desecación messiniense. Es lógico pues que la apertura del Estrecho de Gibraltar rellenase primero las áreas mediterráneas occidentales: Alborán, Balear-Provenzal y Tirrena, hasta alcanzar el umbral del Estrecho de Sicilia a 430 m de profundidad actual, para luego rellenar las cuencas orientales, entonces a 2400 m de profundidad referido nivel del mar actual.

En resumen, esta podría ser, en breve (y con reservas), la historia de la CSM:

- Hace 5,97 Ma el Arco Bético Rifeño se elevó; los dos estrechos que comunicaban Atlántico y Mediterráneo terminarían cerrándose, pero aún se mantuvo una conexión limitada entre ambos mares. A causa de la evaporación, el nivel del Mediterráneo comienza a descender y sus aguas se concentran en una salmuera que da lugar a la precipitación de sulfatos.
- Hace entre 5,6 y 5,55 Ma se alcanzó el máximo descenso del nivel del agua. Los ríos tributarios excavaron cañones en los márgenes de las cuencas. En las áreas centrales se depositó principalmente halita.
- Entre 5,55 y 5,33 Ma, nuevas recargas dieron lugar al depósito de las Evaporitas Superiores. Sobre los 5,42 Ma el Paratetis vertió sus aguas, dulces o salobres, al Mediterráneo (episodio Lago Mare). Al reconocerse este episodio en todas las cuencas la desecación no pudo ser total (habría de superarse el umbral de Sicilia). Las aguas del Paratetis, menos densas, flotarían sin mezclarse sobre la salmuera preexistente, difundiendo su fauna por todo el ámbito mediterráneo.

**término al inicio del Plioceno. La gradación de azules simboliza la salinidad, desde la normal marina (más claro) a la hipersalina en las cuencas evaporadas (más oscuro).**

“La MSC es un fenómeno excepcional en la historia geológica, sin equivalentes actuales”.

- Hace 5,33 Ma el Atlántico anegó el Mediterráneo excavando un canal de 200 km de largo por 8 km de ancho. El proceso de inundación fue prácticamente instantáneo a escala de tiempo geológico.

En definitiva, la MSC es un fenómeno excepcional (esto es, un evento en términos estratigráficos) en la historia geológica, sin equivalentes actuales y todavía abierto a la investigación. De su interés científico da fe la calidad de las revistas de muchos de los trabajos reseñados.

Gonzalo Pardo y Concepción Arenas  
Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS

- Alvarez L.W. et al. (1980). Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction. Experimental results and theoretical interpretation. *Science*, New Series, V. 208, No. 4448, 1095-1108.
- Bianchi C.N. et al. (2012). Mediterranean Sea biodiversity between the legacy from the past and a future of change. In: N. Stambler (ed.), *Life in the Mediterranean Sea: A Look at Habitat Changes*. Nova Science Publishers, Inc., New York, pp. 1-55.
- Blanc P.L. (2002). The opening of the Plio-Quaternary Gibraltar Strait: assessing the size of a cataclysm. *Geodinamica Acta*, 15, 303-317.
- Duggen S. et al. (2003). Deep roots of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 422, 602-606.
- García-Castellanos D. et al. (2009). Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature*, 462, 778-781.
- García-Castellanos D. and Villaseñor, A. (2011). Messinian salinity crisis regulated by competing tectonics and erosion at the Gibraltar arc. *Nature*, 480, 359-363.
- Hsü K.J.; Ryan W.B.F. and Cita M.B. (1973). Late Miocene dessication of the Mediterranean. *Nature*, 242, 240-244.
- Hsü K.J. et al., (1977). History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature*, 267, 399-403.
- Hsü K.J. (1983). Actualistic Catastrophism. Address of the retiring President of the International Association of Sedimentologists. *Sedimentology*, 30, 3-9.
- Krijgsman W. et al. (1999). Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature*, 400,652-655.
- Krijgsman W. et al. (2018). The Gibraltar Corridor: Watergate of the Messinian Salinity Crisis. *Marine Geology*, 403, 238-246.
- Mas G. et al. (2018). Terrestrial colonization of the Balearic Islands: New evidence for the Mediterranean sea-level drawdown during the Messinian Salinity Crisis. *Geology*, 46, (6), 527-530.
- Martínez del Olmo W. (1996). Yesos de margen y turbidíticos en el Messiniense del Golfo de Valencia: una desecación imposible. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 9 (1-2), 97-112.
- Ohneiser C. et al. (2015). Antarctic glacio-eustatic contributions to late Miocene Mediterranean desiccation and reflooding. *Nature Communications*, 6:8765. DOI: 10.1038/ncomms9765.

▲  
**Esquema conceptual de la inundación del Mediterráneo que puso fin a la Crisis de salinidad messiniense, desde el momento previo a la inundación, supuesta una situación de desecación (no se tiene en cuenta el episodio Lago Mare), hasta su**

.....

## PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

.....



Permanente de instrumentos históricos  
laboratorio de la Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.



Triquinoscopio

Este instrumento compuesto de un microscopio, un telescopio y un espectroscopio, fue inventado por el físico francés Augustin Fresnel en 1817. Fue el primer instrumento que permitió observar directamente el espectro de absorción de la luz blanca. Fue el primer instrumento que permitió observar directamente el espectro de absorción de la luz blanca.



INSTRUMENTA

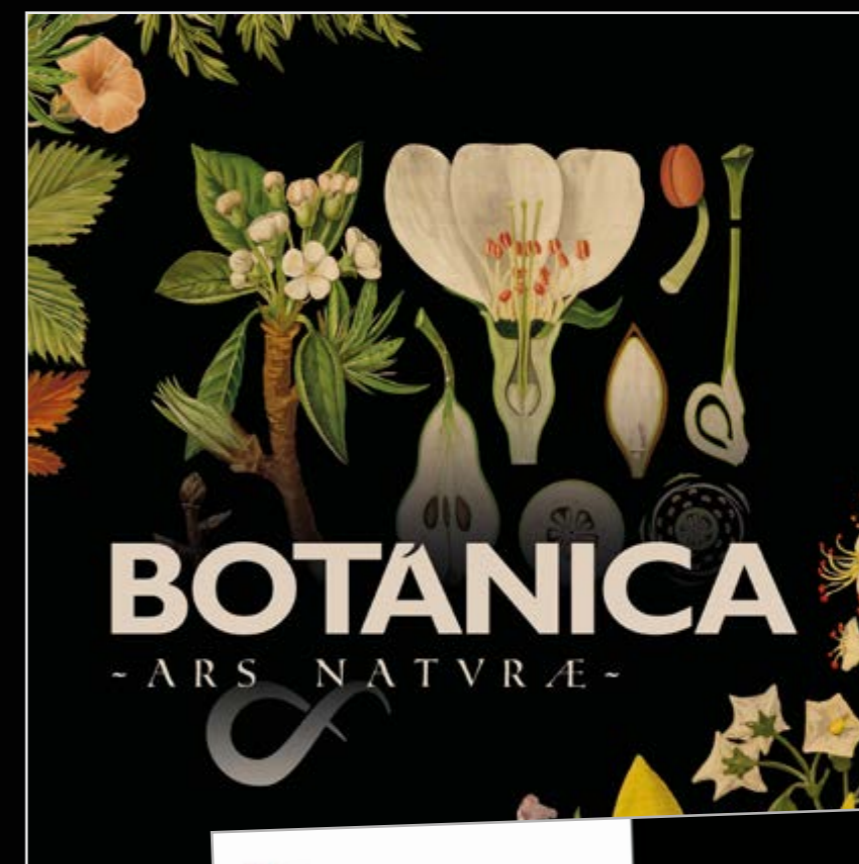


MIROBALANO.  
*Prunus cerasifera*

A diferencia de la otra especie del género, el mirabalán, o mirbalán, es un árbol pequeño que puede alcanzar los 10 metros de altura. Se trata de una especie muy resistente a las plagas y enfermedades. Se trata de una especie muy resistente a las plagas y enfermedades.



## LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS



## BOTÁNICA

- ARS NATURÆ -



Tulipa

Tulipa gesneriana L. (syn. Tulipa)

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Este es el nombre de la especie de tulipán que se cultiva en los jardines de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza.

Descárgalas gratis



INSTRUMENTA

[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/instrumenta.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/instrumenta.pdf)

LOS ÁRBOLES DEL CAMPUS

[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/los\\_arboles\\_del\\_campus.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/los_arboles_del_campus.pdf)

BOTÁNICA ARS NATURÆ

[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/botanica\\_ars\\_naturae.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/botanica_ars_naturae.pdf)

**ENCUENTROS CON LA CIENCIA 2019**

Los segundos jueves de cada mes, los amantes del conocimiento tienen una cita en “Encuentros con la Ciencia”, en Ámbito Cultural de El Corte Inglés de Zaragoza. El ciclo consta de nueve charlas de carácter divulgativo cuyo principal objetivo es acercar la Ciencia a la sociedad.

Encuentros con la Ciencia en Zaragoza lleva desarrollándose de forma ininterrumpida desde hace quince años con un gran éxito de asistencia de público y cuen-

ta, en su organización, con la participación de distintas instituciones académicas, profesionales y de divulgación científica.

Las temáticas propuestas en las charlas durante el periodo enero-junio de 2019 han sido muy variadas y están teniendo un gran éxito de asistencia de público.

Equipo Editorial

**PROGRAMA ENERO-JUNIO  
“ENCUENTROS CON LA CIENCIA 2019”**

- “Terapias de oro contra el cáncer”  
**Conchita Gimeno Floría**  
10 de enero
- “Solo Al Capone supo celebrar San Valentín”  
**Miguel Ángel Sabadell Melado**  
14 de febrero
- “El Sol, la Tierra, el Tiempo y el Clima”  
**Rafael Requena Briones**  
14 de marzo
- “Arqueología del recuerdo.  
La muerte en el mundo romano”  
**María Luisa Cancela Ramírez de Arellano**  
11 de abril
- “De la Tierra a la LunaA. ¿Y a Marte?”  
**Alberto Virto Medina**  
9 de mayo
- “Mitología y arte en la tabla periódica de los elementos químicos”  
**Pascual Román Polo**  
11 de junio

“El ciclo consta de nueve charlas de carácter divulgativo cuyo principal objetivo es acercar la Ciencia a la sociedad”.

Diferentes momentos de las charlas.





Fotografías cedidas por la organización.



Diferentes momentos  
de las charlas.

### EL PROFESOR LUIS ORO GIRAL, DOCTOR HONORIS CAUSA, POR LA UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

El 21 de mayo, en la Universidad Complutense de Madrid, tendrá lugar el solemne Acto Académico de investidura como doctor *honoris causa* del profesor Luis Oro Giral.

Luis Oro, catedrático de Química Inorgánica, es profesor emérito de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza en la que ha desempeñado su labor docente e investigadora durante más de 40 años.

Desde la revista conCIENCIAS queremos hacerle llegar nuestra más sincera enhorabuena por tan merecido reconocimiento.

Lección magistral del Prof.  
Oro en el Paraninfo de la  
Universidad de Zaragoza.



Universidad de Zaragoza.



**JOSÉ MARÍA MONTESINOS NOMBRADO  
MIEMBRO HONORÍFICO DEL SENATUS CIENTÍFICO**

El pasado 7 de marzo, el profesor José María Montesinos fue nombrado, a propuesta del Senatus Científico de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, Senador Honorario.

El nuevo senador fue presentado por la profesora María Teresa Lozano, miembro del Senatus Científico, que mostró una entrañable semblanza del profesor Montesinos. Posteriormente, José María Montesinos recibió del Decano de la Facultad de Ciencias, Luis Morellón, el diploma acreditativo de dicha distinción.

Con este nombramiento, el Senatus quiso reconocer la gran labor desarrollada por el Profesor Montesinos a lo largo de su carrera científica.

José María Montesinos es la sexta persona que recibe este reconocimiento siendo sus predecesores Edouard Punset (2010), José Manuel Blecua (2012), Margarita Salas (2013), Alberto Galindo (2014) y María Josefa Yzuel (2016).

Posteriormente al nombramiento, el nuevo Senador impartió la conferencia de ingreso titulada "LAS GEOMETRÍAS NO EUCLIDIANAS".

La ceremonia estuvo llena de cariño y emoción destacando especialmente la gran calidad humana de José María Montesinos.

Equipo Editorial

**Fotografía de familia.**



JOSÉ MARÍA MONTESINOS AMILIBIA ha sido Agregado y Catedrático de Geometría y Topología de la Facultad de Ciencias de Zaragoza, 1979-1986, y después Catedrático de la Universidad Complutense.

Es Académico Numerario de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y también Académico Correspondiente de la Academia de Ciencias de Zaragoza.

Científico pionero en su salida al extranjero para ampliar el horizonte matemático español. Entre 1976 y 1978 fue miembro del Institute for Advanced Study de Princeton. A su vuelta a España, formó en Zaragoza el primer grupo especialista en Topología, que pronto alcanzó prestigio internacional.

Es también miembro del MSRI de Berkeley donde trabajó en el año 1985. Es un experto en la topología de las variedades de dimensión 3 y 4 utilizando como herramienta fundamental la teoría de nudos y enlaces.

Interesado también en Mineralogía y Cristalografía, ha escrito bellos artículos de divulgación respecto a teselaciones planas en la Alhambra (donde encontró los 17 grupos cristalográficos posibles), los dibujos de Escher, etc. Su relación con Zaragoza continúa hasta la actualidad.



**Diferentes momentos  
del evento.**

**PREMIO DE FOTOGRAFÍA SAN ALBERTO MAGNO**

Este pasado noviembre se convocó una nueva edición, la XXI, del premio de fotografía San Alberto Magno, gracias a un acuerdo de colaboración entre la Cátedra de Divulgación Científica José M<sup>a</sup> Savirón y la Facultad de Ciencias. El tema del certamen está orientado a mostrar tanto imágenes relacionadas con la actividad científica como de la visión artística de la Ciencia.

El jurado del concurso, compuesto por Julio Álvarez Sotos (Director Galería Spectrum Sotos), Ana Isabel Elduque Palomo (Directora de la Cátedra José María Savirón de Divulgación Científica), Josefina Pérez Arantegui (Vicedecana de la Facultad de Ciencias) y Teresa Serrano Pérez (Jefa de Conserjería), valoró la originalidad, calidad artística y técnica y contenido científico de las obras presentadas.

El primer premio recayó en la instantánea titulada "Ilumina los pequeños detalles para descubrir el mundo" de Ángel Sanz Felipe (Departamento de Física Aplicada).

Ana Serrano Tierz, profesora del Departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación, obtuvo el segundo premio con la imagen "Ventana a la vida". En dicha instantánea *"al remover agua y aceite en una cacerola, su diferencia de densidades produce la repetición de formas circulares del aceite en diferentes tamaños. Una luz directa de color azul evidencia el componente estético de este fenómeno"* según su autora.

Y, por último, una fotografía tomada por Alberto Ángel Vela Rodrigo en el antiguo lecho oceánico del Valle de las rocas en Bolivia, "Insularidad en Siloli", obtuvo una mención especial.

Los premios fueron entregados el pasado 16 de noviembre en el acto en honor de San Alberto Magno, patrón de la Facultad de Ciencias.

Equipo Editorial

▶  
**"Ventana a la vida"**  
Por Ana Serrano Tierz  
(Segundo Premio).

**"Ilumina los pequeños  
detalles para  
descubrir el mundo"**  
Por Ángel Sanz Felipe  
(Primer Premio).  
▼



◀  
**"Insularidad en Siloli"**  
Por Alberto Ángel  
Vela Rodrigo  
(Mención Especial).





[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14)



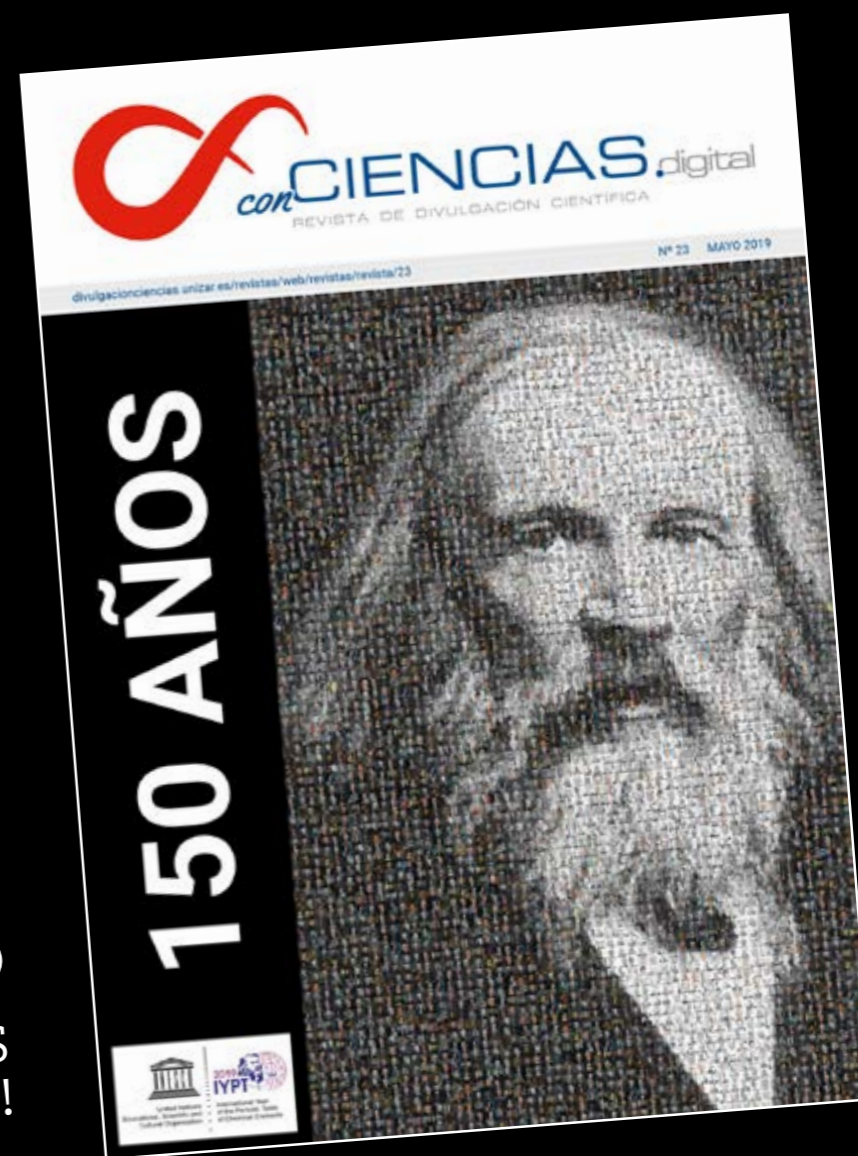
[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16)



¡DESCÁRGALAS GRATIS!



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23)

# con CIENCIAS digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

Patrocinan:

