



*con* CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/web/conCIENCIASnumero13.do>

Nº 13 MAYO 2014

# LA CIENCIA Y SU IMPORTANCIA SOCIAL



## Redacción

### DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

### SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

### DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

### COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Luis Alberto Anel Bernal
- Jesús Anzano Lacarte
- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- Luis Teodoro Oriol Langa
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

## Edita

Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Plaza San Francisco, s/n  
50009 Zaragoza

e-mail: [web.ciencias@unizar.es](mailto:web.ciencias@unizar.es)

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)

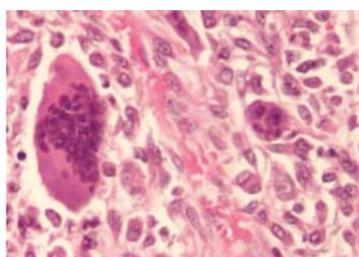
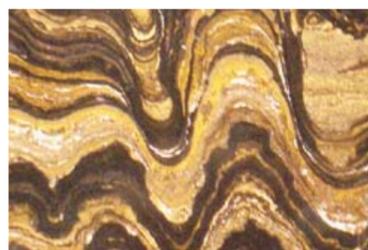
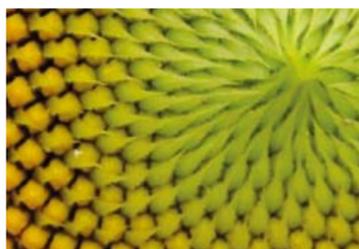
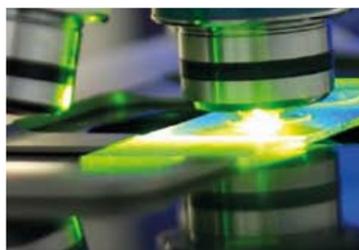
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: fotografía ganadora del Premio San Alberto Magno, edición 2013  
(Borja Pérez - *Lupa natural*).

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

<u>Editorial</u>	2
<u>Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra</u> Pascual Román	4
<u>Los asesinos del sistema inmunitario</u> Alberto Anel, Luis Martínez-Lostao y Julián Pardo	22
<u>Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente</u> José Luis Mendivil	30
<u>Polímeros: de macromoléculas a materiales</u> Milagros Piñol y Luis Oriol	46
<u>Geología para una Nueva Cultura de la Tierra</u> José Luis Simón	64
<u>La reforma que nos va a llegar</u> Ana Isabel Elduque	76
<u>Espirales en la naturaleza: una incursión en la Biomatemática recreativa</u> Mariano Gasca	88
<u>Noticias y actividades</u>	106



La Ciencia y su importancia social

**E**stimado lector, nos volvemos a encontrar una vez más en un nuevo número de conCIENCIAS. Un número que, quizá, a alguno no le parezca un buen presagio. Pero como somos científicos, no pensamos que la superstición forme parte de nuestra manera de pensar. Para nosotros, el número trece es simplemente un número primo, y no conlleva ninguna otra connotación.

En este número hemos hecho una selección de artículos en los que se puede ver la importancia social de las Ciencias Naturales. Nuestra actividad, el saber científico, es obra de seres humanos inmersos en la sociedad que les ha tocado vivir. Es lógico y esperable que los valores socia-

les imperantes en cada momento se reflejen en el saber científico desarrollado en cada circunstancia histórica.

Los momentos en los que se enmarca la historia de cada persona marcan plenamente su desarrollo. Hoy nos sería extraño encontrar personajes como Moseley que se alistó volunta-

**“Los científicos, lejos de lo que muchos afirman cuando nos sitúan en aisladas torres de marfil, están realmente preocupados por los problemas que les afectan a ellos, y al resto de los conciudadanos.”**

riamente para participar en una guerra como la de 1914. Pero su vida transcurrió en ese momento histórico. Tampoco debe sorprendernos que hoy las Ciencias de la Tierra se preocupen del efecto que está causando una especie como la humana sobre su entorno. También es esperable, si entendemos al científico como un trabajador del pensamiento de su época, que los químicos intenten explicar el qué y el porqué de algo tan ubicuo e imprescindible como los polímeros, a pesar de la leyenda negra que sobre ellos se ha extendido. Tampoco es menos esperable que la Bioquímica se preocupe hoy de las graves enfermedades que afectan a los seres humanos. Solo son ejemplos de que los científicos, lejos de lo que muchos afirman cuando nos sitúan en aisladas torres de marfil, están realmente preocupados por los problemas que les afectan a ellos, y al resto de los conciudadanos.

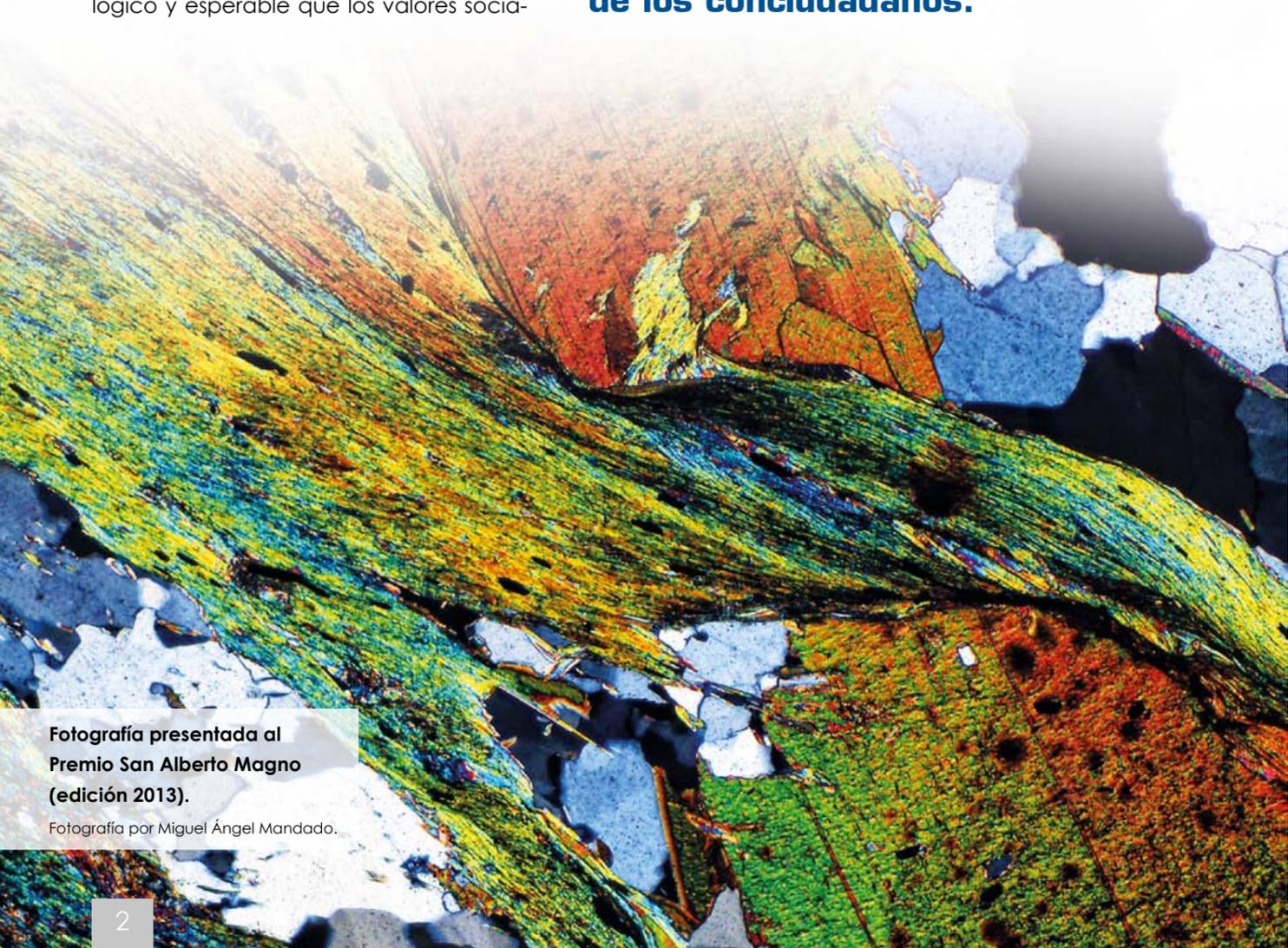
También encontrará el lector un interesante artículo sobre la influencia del lenguaje y su capacidad como motor del pensamiento. O viceversa, que nunca se está seguro de qué es causa o consecuencia. Una nueva disciplina, la Biolingüística, ha nacido. Y para completar este repaso, podremos leer cómo encontramos modelos geométricos en la naturaleza. Una vez más podemos comprobar que las aparentemente abstractas ecuaciones de los modelos matemáticos pueden estar presentes en objetos naturales si sabemos observar nuestro alrededor.

Finalmente podrá leer el lector un desarrollo más extenso sobre una reflexión personal de las líneas de pensamiento que parecen que van a guiar la reforma universitaria, no anunciada pero sí esperada por muchos. Este artículo fue publicado de forma muy resumida en prensa hace algunos meses, pero he creído conve-

niente hacerlo en una versión extensa que permite un desarrollo más clarificador de las ideas expuestas.

Solo queda lo de siempre. Que el lector se sienta con ánimos de comenzar la lectura de este nuevo número, destinado, como siempre, a servir de estímulo para que cada uno haga su propia reflexión sobre los temas propuestos u otros cualesquiera.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS



Fotografía presentada al Premio San Alberto Magno (edición 2013).

Fotografía por Miguel Ángel Mandado.



5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	2 He
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	10 Ne
28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	18 Ar
46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	36 Kr

# HENRY MOSELEY

## RAYOS X, TABLA PERIÓDICA Y GUERRA

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

**POR PASCUAL ROMÁN**



Henry Moseley en 1914, tabla periódica e imagen de la I Guerra Mundial.

- <http://bit.ly/1j0XjaO> (primer plano)
- <http://www.chemicool.com> (tabla periódica)
- <http://meetingjames.files.wordpress.com> (fondo)

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

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?

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 sus padres 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



Los padres de Henry.

<http://bit.ly/1j0XjaO>



Moseley después de ingresar en Oxford (1906).

<http://bit.ly/1j0XjaO>

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.

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

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*.

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

Antes de ingresar en Eton ocurrió una nueva desgracia familiar, su hermana mayor Betty fallecía 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 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 experimen-

**“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>

tos 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



Universidad de Manchester (Reino Unido).

Fotografía por Nick Higham.

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.

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra



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.

<http://www.angelfire.com>

.....

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 ins-

truye 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 todas 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 inte-

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

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

rumpir 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 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 co-

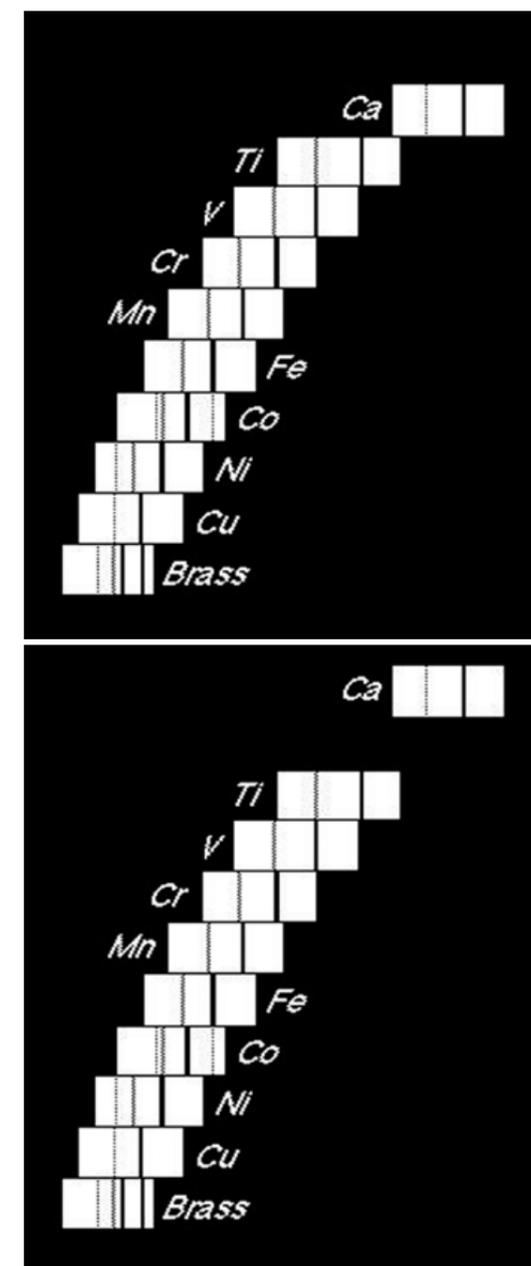
**"La ley de Moseley es históricamente importante porque justificaba el modelo nuclear del átomo de Rutherford".**

recta. 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 sumario con las principales conclusiones de su trabajo, que por su trascendencia para la Ciencia se transcriben a continuación:

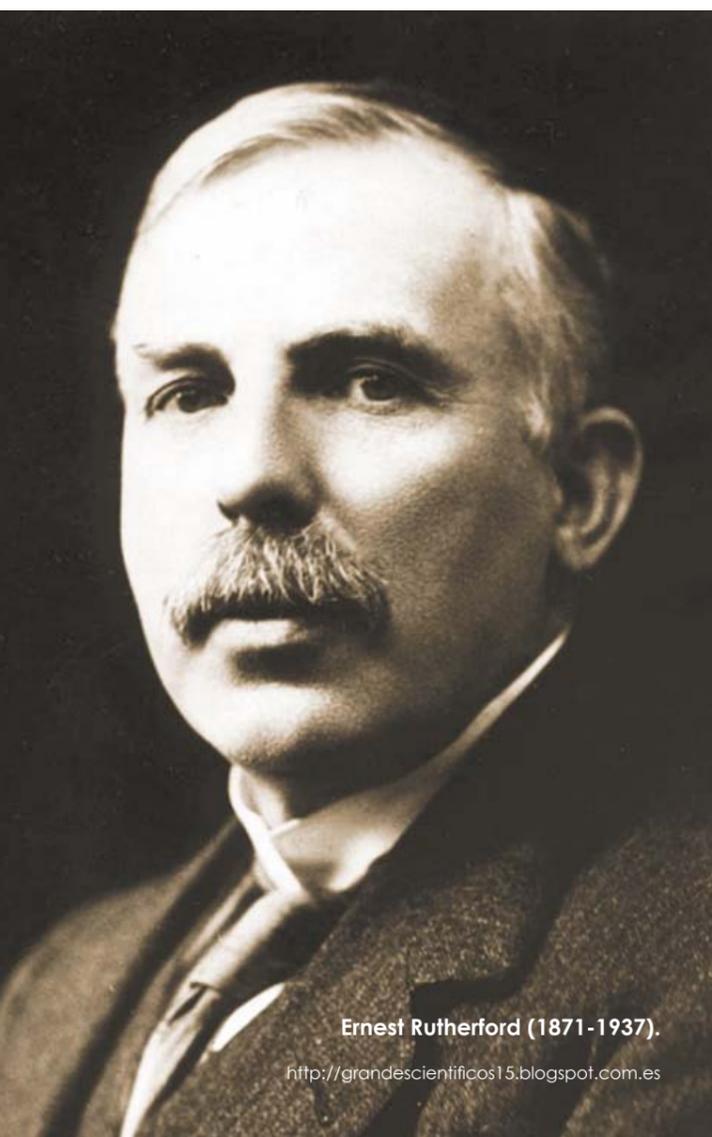
Sumario.

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 el 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.



La escalera de Moseley (1913).

<http://bit.ly/12gaOff>



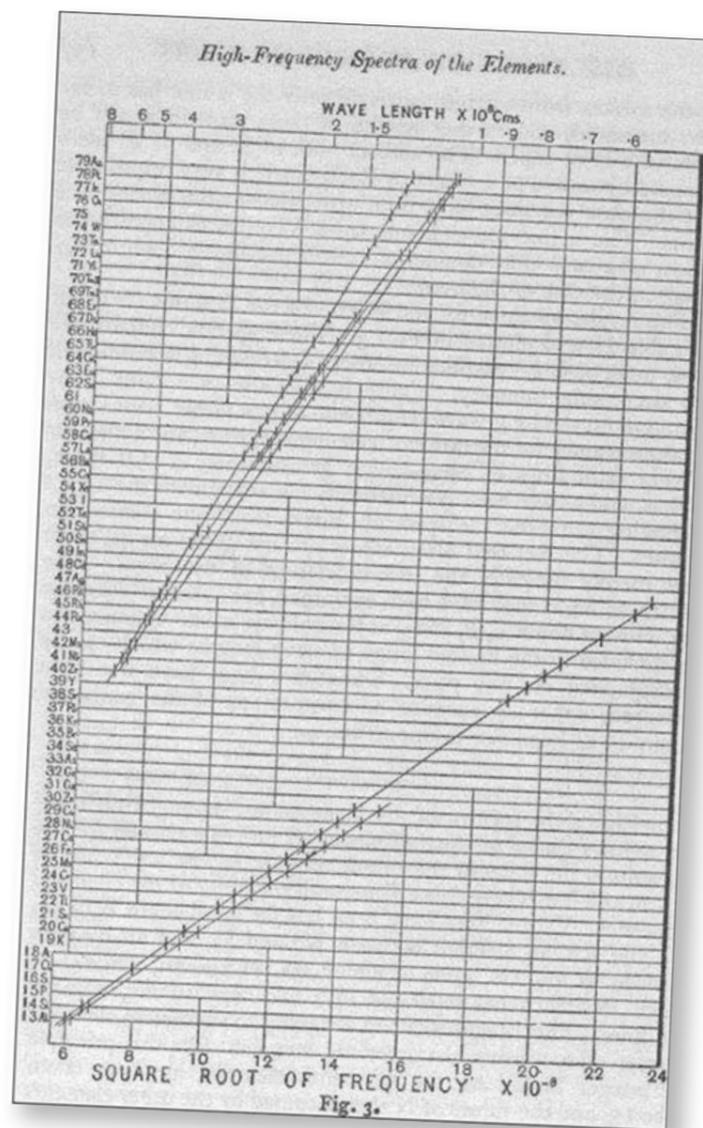
Ernest Rutherford (1871-1937).

<http://grandescientificos15.blogspot.com.es>

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

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 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.



**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/1oM6TI>

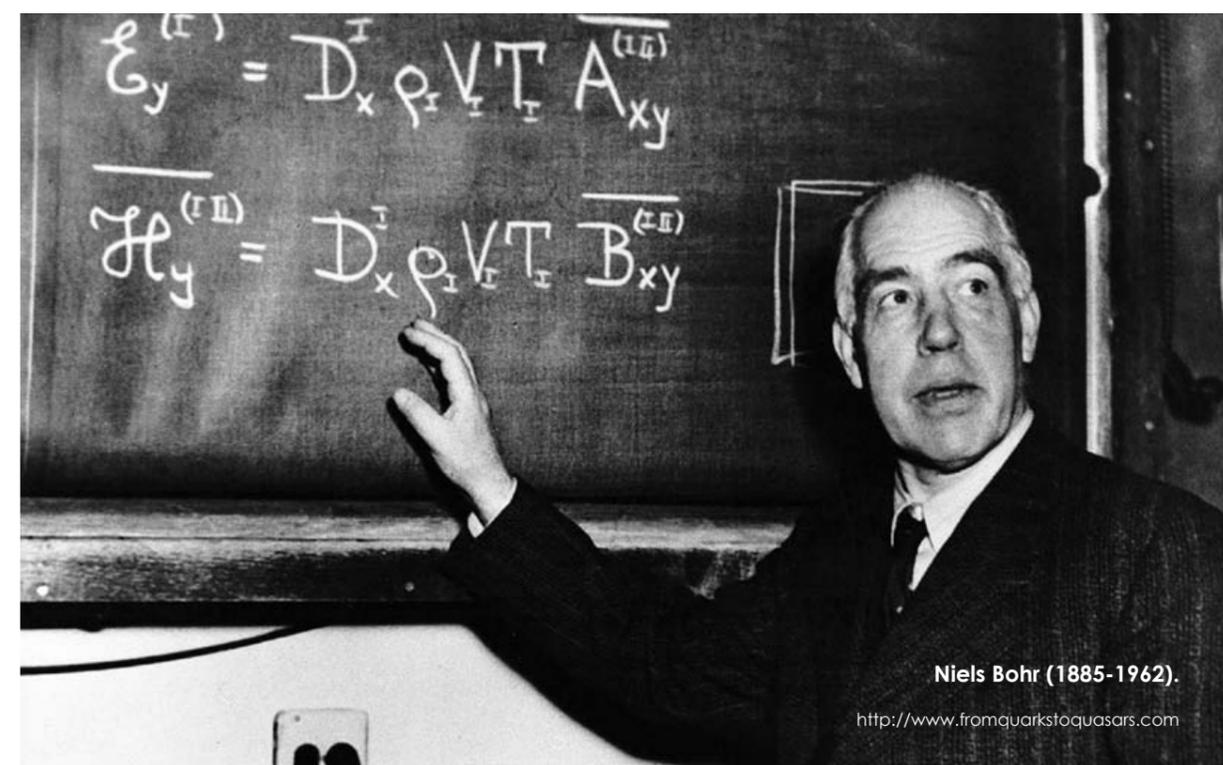
**“Moseley predice la existencia de tres nuevos elementos no descubiertos hasta entonces, como el tecnecio, el prometio y el renio”.**

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 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 méto-



**Niels Bohr (1885-1962).**

<http://www.fromquarkstoquasars.com>

## Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

do 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 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 Reino 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 veintiún 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 la *Royal*



Henry Moseley con uniforme militar en 1915.

<http://bit.ly/1j0XjaO>

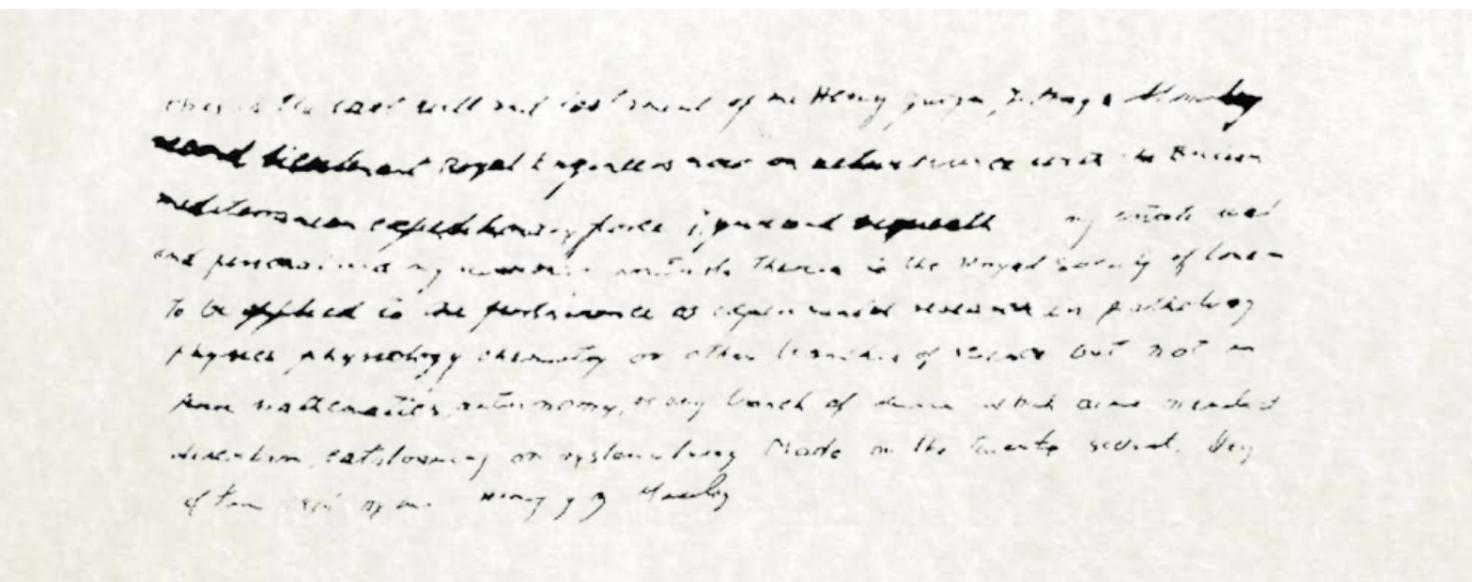
**“Una de las mayores pérdidas para la Ciencia fue la muerte del jovencísimo, prometedor y genial físico británico Henry Moseley”.**



Ataque de las tropas británicas en Galípoli el 15 de junio de 1915.

<http://www.centenarynews.com>

# Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra



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

Transcripción del 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"**

<http://bit.ly/MNqg6y> (arriba).  
<http://bit.ly/1j0XjaO> (abajo).



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.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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/I77LIS>, 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.
- 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/RIAWRO>, visitada el 3/12/2013.
- Henry G. J. Moseley y Charles G. Darwin, *The Reflexion 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 Frecuency Spectra of the Elements*, *Phil. Mag.* (1913), 26, 1024-1034.
- Henry G. J. Moseley *The High Frecuency Spectra of the Elements. Part II*, *Phil. Mag.* (1914), 27, 703-713.

# Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra

## 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.

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 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 organiza-

ción 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.

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 (Uuo, 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

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

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

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

- Henry Gwyn Jeffreys Moseley, Complete Dictionary of Scientific Biography, 2008, <http://bit.ly/19bkdsm>, visitada el 3/12/2013.
- 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/1iOMB9X>, 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*, *con-Ciencias.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*, *con-Ciencias.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/1e0gXnL>, visitada el 3/12/2013.



# LOS ASESINOS DEL SISTEMA INMUNITARIO

“El conocimiento de los mecanismos inmunitarios se puede explotar para luchar contra el cáncer, las enfermedades infecciosas o las enfermedades autoinmunes.”

**POR ALBERTO ANEL,  
LUIS MARTÍNEZ-LOSTAO  
Y JULIÁN PARDO**

## Los asesinos del sistema inmunitario

Los linfocitos T citotóxicos y las células NK son cruciales en la defensa del organismo contra infecciones virales y contra el desarrollo del cáncer. Una parte importante de esta función la desarrollan matando literalmente a las células infectadas o transformadas. En este artículo hablaremos de cómo desarrollan estas funciones y de cómo el conocimiento de estos mecanismos nos permitirá dar nuevas soluciones terapéuticas al cáncer y a las enfermedades infecciosas y autoinmunes.

### EL SISTEMA INMUNE ES EL GUARDIÁN DE NUESTRO ORGANISMO

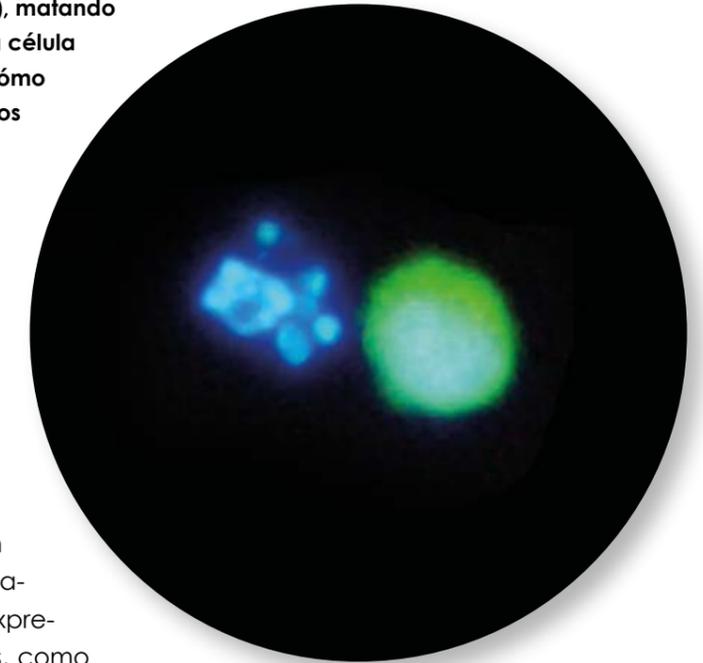
Nuestro sistema inmunitario se puede considerar como un conjunto de células que se encuentran presentes en la circulación sanguínea, en la linfa y también en los tejidos, que vigilan frente a la aparición de situaciones de peligro. Una de las más frecuentes son las infecciones, en las que microorganismos como virus o bac-

terias invaden nuestros tejidos. Si nuestro organismo no reaccionara contra esta invasión, su gran capacidad proliferativa o la producción de toxinas en su metabolismo acabarían rápidamente con la homeostasis entre nuestros tejidos, produciendo en algunos casos la muerte del organismo infectado. La puesta en marcha de los mecanismos efectores del sistema inmune es un proceso complejo que todavía no entendemos en detalle y que no vamos a analizar en este corto espacio. Pero lo que sí podemos afirmar es que existen dos tipos de linfocitos, los linfocitos T citotóxicos (CTL) y las células "asesinas naturales" (NK), que nos protegen sobre todo de las infecciones virales, pero también del desarrollo de tumores, y que parte de su función la ejercen matando directamente a las células infectadas o malignas.

Esta muerte suele tener lugar mediante un mecanismo llamado apoptosis, que es la forma fisiológica y regulada de muerte celular, y de cuyo mecanismo molecular tampoco vamos a

**Linfocito T citotóxico (CTL, teñido en verde), matando a una célula tumoral. El núcleo de la célula tumoral está teñido en azul, y se observa cómo se ha fragmentado, uno de los eventos característicos de la apoptosis.**

Fotografía por J. I. Aguiló.



ocuparnos en este corto espacio. Solo decir que los descubridores de este mecanismo, muy relevante también en el desarrollo embrionario, recibieron el Premio Nobel en Fisiología y Medicina en el año 2002. Los linfocitos citotóxicos matan a sus células "diana" mediante dos mecanismos mayoritarios, uno mediado por la expresión en su membrana de ligandos mortales, como el ligando de Fas (FasL) o el ligando de Apo2/TRAIL (Apo2L/TRAIL), y otro mediado por la secreción de gránulos que contienen proteínas citotóxicas como perforina, granzimas y granulicina (Kagi et al.). Teniendo en cuenta que la inmunidad antitumoral y antiviral natural se lleva a cabo principalmente por estas células, es de vital importancia conocer en detalle sus mecanismos de activación, así como los mecanismos moleculares que inducen la eliminación de sus células "diana", para poder explotar estos conocimientos de cara a una mejora racional de la inmunoterapia tanto antiviral como antitumoral. Y en esto estamos unos cuantos investigadores en todo el mundo.

### MECANISMOS DE ACTIVACIÓN DE LOS LINFOCITOS CITOTÓXICOS

Los mecanismos de reconocimiento de sus células "diana" por parte de los CTL y de las células NK son muy diferentes, y casi podría decirse que opuestos: lo que activa a los CTL de hecho inhibe a las células NK. A este respecto, es interesante señalar que el sistema inmunitario se entiende mejor usando el principio oriental del "Ying y el Yang": algo existe porque existe su opuesto. Los CTL reconocen a sus células "diana" a través de un receptor llamado TCR que reconoce específicamente un trocito de un virus (antígeno), pero siempre asociado a una proteína propia de nuestras células llamada "complejo mayor de histocompatibilidad de clase I", un nombre un poco largo y complejo que abreviaremos por MHC-I. Muchos tumores y virus escapan del sistema inmunitario reduciendo o eliminando la expresión del MHC-I, de

**“Los linfocitos T citotóxicos (CTL) y las células asesinas naturales (NK) nos protegen sobre todo de las infecciones virales, pero también del desarrollo de tumores.”**



forma que de esta manera evaden la acción de los CTL. Pero si esta reducción es muy acusada, entonces se hacen sensibles a la citotoxicidad mediada por las células NK, las cuales no atacan a las células normales porque expresan unos receptores de inhibición llamados KIR que son ligados por el MHC-I, expresado en condiciones normales por todas las células del organismo.

### LA INMUNOTERAPIA QUE ESTÁ LLEGANDO A LA CLÍNICA

El conocimiento de los mecanismos inmunitarios se puede explotar para luchar contra el cáncer, las enfermedades infecciosas o las enfermedades autoinmunes. La inmunoterapia más clásica son las vacunas, que han sido y siguen siendo las herramientas más eficaces contra las enfermedades infecciosas. Uno de los principales efectos de las vacunas, especialmente en la prevención y/o eliminación de infecciones víricas, es la activación de los CTL y las células NK que finalmente serán las encargadas de la eliminación del agente infeccioso. En este aspecto, uno de los mayores esfuerzos, en los últimos años, para desarrollar vacunas frente a algunos virus como el HIV se centra en diseño de vacunas que sean capaces de “despertar” a los CTL para que reconozcan y eliminen las células infectadas. Siguiendo esta línea se están diseñando vacunas “universales” frente al virus de la gripe que sean capaces de eliminar cualquier cepa del virus sin necesidad de cambiar las vacunas cada año. El diseño de tratamientos de inmunoterapia para infecciones virales crónicas resulta especialmente

desafiante, dado que en estos casos la respuesta inmune se vuelve tolerante frente a la infección y ni CTL ni NK pueden ejercer su función. Este es el caso de virus como el de la hepatitis, el virus de Epstein-Barr, el HIV o el virus del papiloma. Los tratamientos clásicos para estos virus consisten en “despertar” el sistema inmune suministrando moléculas estimuladoras como el Interferon o la Interlequina 2. Actualmente, se están realizando ensayos donde se combina la vacunación con fármacos que desbloquean determinadas señales que mantiene inactivos a los CTL y las células NK, como moléculas que impiden la acción de PD1 o IL10.

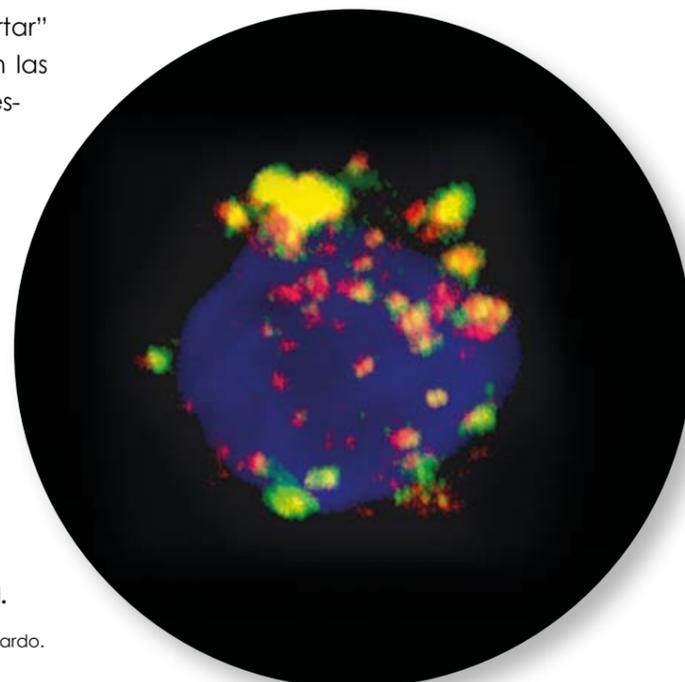
En los últimos años están surgiendo nuevos protocolos de inmunoterapia antitumoral, con resultados altamente prometedores. Las terapias que están dando buenos resultados en la clínica se basan sobre todo en el uso de anticuerpos. Estos anticuerpos pueden ser bloqueantes, como los dirigidos contra el receptor del factor de crecimiento epidérmico que se usan ya como tratamiento de primera línea contra el cáncer de colon, o pueden inducir la muerte del tumor, como los anticuerpos anti-CD20 que

**“En los últimos años están surgiendo nuevos protocolos de inmunoterapia antitumoral, con resultados altamente prometedores.”**

se usan en el tratamiento del linfoma no-Hodgkin. Recientemente, se han obtenido resultados sorprendentes con anticuerpos que impiden la desactivación de la respuesta mediada por linfocitos T: anticuerpos bloqueantes anti-CTLA4, anti-PD1 o anti-PDL1 han sido efectivos sobre melanomas en estadios muy avanzados de la enfermedad. Por otra parte, se aprobó recientemente por la FDA norteamericana el primer tratamiento que promueve la respuesta de linfocitos T contra un antígeno tumoral propio del cáncer de próstata, llamado Sipleucel-T. En cuanto a tratamientos celulares, se han llevado a cabo ensayos sobre pacientes de leucemia utilizando la infusión de los llamados linfocitos T con receptores de antígeno quiméricos (CARTs). Estos son linfocitos T de los pacientes, a los cuales se les ha transfectado un receptor quimérico hecho en el laboratorio que reconoce una proteína de la superficie de las células leucémicas llamado CD19, los cuales han sido expandidos in vitro e infundidos al paciente. Los éxitos en esta terapia han sido espectaculares y han hecho que otros muchos CARTs hayan entrado en ensayos clínicos. La esperanza que suponen estos tratamientos de inmunoterapia ha hecho que estos tratamientos, tanto los debidos a anticuerpos como los celulares, hayan aparecido en la prensa generalista como un gran avance (Corbella, 2013; Díaz, 2013) y que empresas biotecnológicas como Novartis hayan invertido grandes sumas de dinero en el desarrollo de estos tratamientos. En relación con este gran

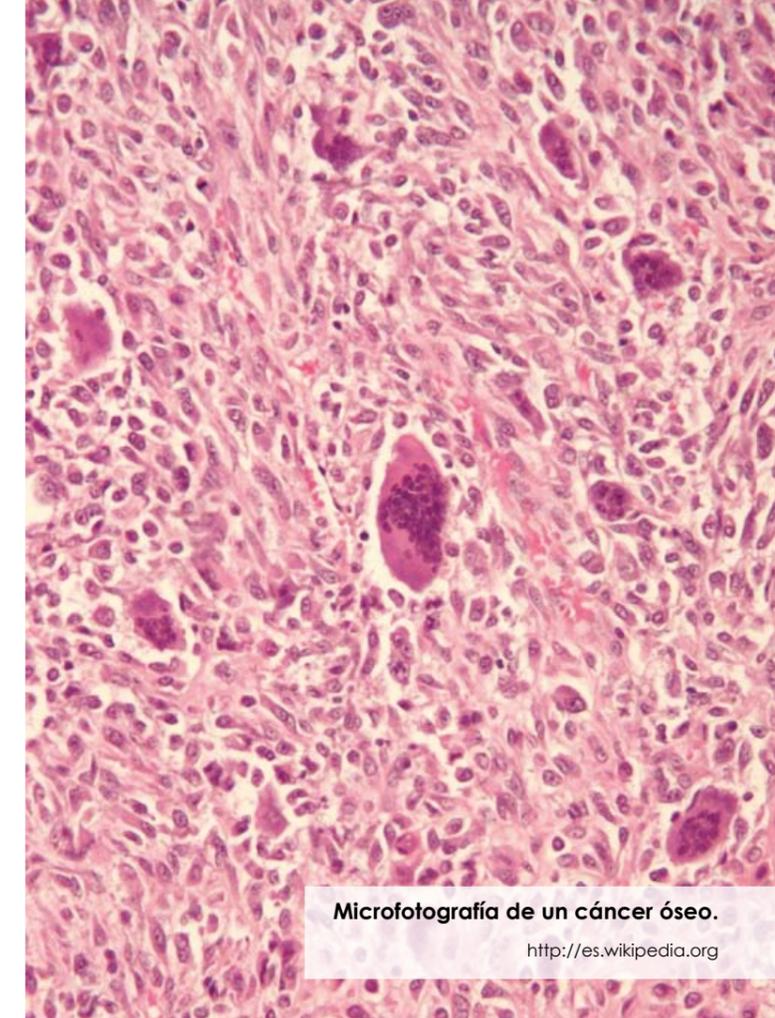
interés desatado por la inmunoterapia, se acaba de fundar el Grupo Español de Inmunoterapia (GEIT), que tuvo su primera reunión el 10 de Diciembre de 2013 en Madrid, cuyo objetivo es aunar esfuerzos en este campo en España y promover la interacción entre la ciencia básica y la clínica (<http://www.inmunologia.org/esp/geclid/grupos/inmunoterapiag.php>).

A pesar de todas estas buenas noticias, estos tratamientos no están exentos de posibles fallos y resistencias por parte de las células tumorales. Por ejemplo, en el caso de los CARTs, estas células persisten crónicamente en el paciente, eliminando sus linfocitos B normales, que también expresan CD19, produciendo por tanto una inmunodeficiencia crónica que ha de ser tratada de por vida. Por otra parte, los tratamientos basados en promover una respuesta de CTL contra los tumores se verán contrarrestados si los tumores pierden la expresión del MHC de clase I, algo muy frecuente en los tumores, sobre todo en las metástasis. En este caso, la



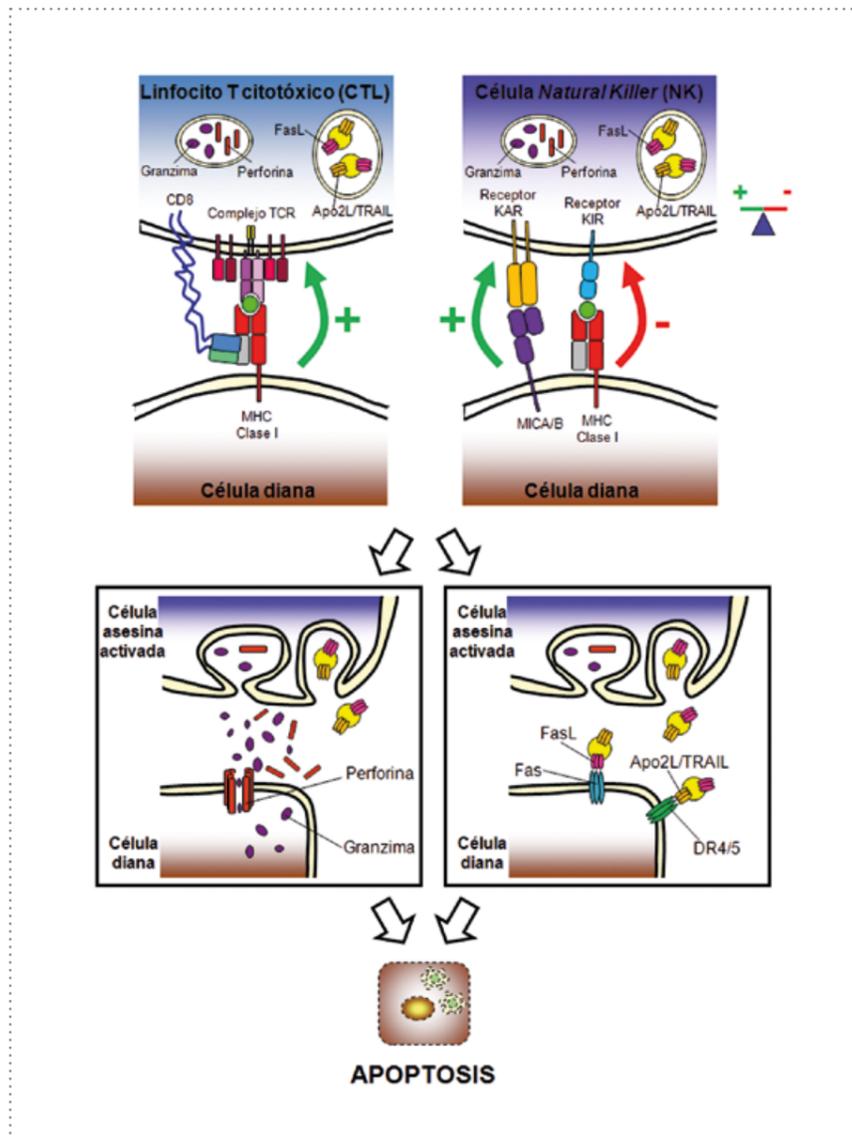
CTL en el que se han teñido las moléculas citotóxicas de sus gránulos en verde y en rojo y su núcleo en azul.

Fotografía por J. Pardo.



Microfotografía de un cáncer óseo.

<http://es.wikipedia.org>



**Panel superior izquierdo:** Esquema en el que se muestra cómo la activación de los CTL depende de la interacción de su complejo TCR con el MHC de clase I de la célula "diana".

**Panel superior derecho:** En el caso de las células NK, su activación depende de un equilibrio entre las señales de activación, dadas por los KAR, y las de inhibición, dadas por los KIR.

**Paneles inferiores:** En ambos casos, si los CTL o las NK se activan, se ponen en marcha dos mecanismos citotóxicos, uno dependiente de la secreción de gránulos que contienen perforina y granzimas, y otro en el que ligandos mortales (FasL, Apo2L/TRAIL) se secretan en la superficie de vesículas y se unen a sus receptores (Fas, DR4/5), induciendo en ambos casos la muerte de la célula "diana".

combinación de tratamientos que conseguirían un aumento en la expresión del MHC-I junto con la inmunoterapia mediada por CTL podría ser de gran eficacia. Finalmente, las respuestas de CTL tienen especificidad antigénica, de manera que pueden plantear problemas al ser excesivamente específicas de uno o de unos pocos antígenos tumorales. Este problema no lo tiene, por ejemplo, la respuesta anti-tumoral mediada por células NK, al ser independiente del antígeno.

## LIGANDOS MORTALES Y LIPOSOMAS

Nuestro grupo de investigación descubrió hace ya unos años que en los linfocitos T humanos, los ligandos mortales FasL y Apo2L/TRAIL eran secretados al exterior en asociación con pequeñas estructuras de membrana llamadas exosomas, manteniendo así su bioactividad. Como consecuencia de estos estudios, desarrollamos y patentamos una tecnología para la producción de liposomas portadores de Apo2L/TRAIL



bioactivo en su superficie, que hemos ensayado con resultados muy prometedores en un modelo de artritis reumatoide en conejos (Martínez-Lostao et al.). Estos liposomas también tienen potencialidad para su uso en el tratamiento del cáncer (De Miguel et al.). Se ha analizado el potencial citotóxico de estos liposomas con Apo2L/TRAIL en su superficie (LUV-TRAIL) en líneas celulares tumorales humanas de estirpe hematológica, comparándolos con la forma soluble de la proteína que es la versión que actualmente se está usando en diversos ensayos clínicos frente a distintos tipos de tumores. En todas las líneas tumorales analizadas, los LUV-TRAIL fueron capaces de eliminar a las células tumorales de una manera mucho más eficiente que Apo2L/TRAIL soluble reduciendo hasta 20 veces la concentración inhibitoria media. Resulta muy interesante que los LUV-TRAIL fueran capaces de superar la resistencia que algunos tumores presentan a la forma soluble de Apo2L/TRAIL, algo que en los ensayos clínicos ocurre hasta en un 50% de los casos. También resulta muy interesante que los LUV-TRAIL no presentan efecto citotóxico en los linfocitos T normales, hecho que junto con su mayor capacidad citotóxica sobre las células tumorales resulta muy atractivo para intentar llevar a la práctica clínica esta nueva formulación de Apo2L/TRAIL basada en su unión a la superficie de liposomas artificiales.

**“Resulta muy interesante que los LUV-TRAIL fueran capaces de superar la resistencia que algunos tumores presentan a la forma soluble de Apo2L/TRAIL.”**

Corbella L. (2013). *Inmunoterapia: la nueva frontera del cáncer*. La Vanguardia (3 de Junio).

De Miguel et al. (2013). *The tethering Apo2L/TRAIL to liposomes overcomes chemoresistance of human hematological tumor cells*. Mol Pharm 10, 893-904.

Díaz I. (2013). *Nuevo tratamiento experimental contra el cáncer. La esperanza se llama Emma*. XL Semanal (17 al 23 de Febrero).

Kögi et al. (1994). *Fas and perforin pathways as major mechanisms of T cell-mediated cytotoxicity*. Science, 265: 528. 1994

Martínez-Lostao et al. (2010). *Liposome-Bound APO2L/TRAIL Is an Effective Treatment in a Rabbit Model of Rheumatoid Arthritis*. Arthritis Rheum 62, 2272-2282.

Alberto Anel (A), Luis Martínez-Lostao (A) y Julián Pardo (B)

A.- Grupo "Apoptosis, Inmunidad y Cáncer"  
Universidad de Zaragoza

B.- Fundación Aragón I+D (ARAID)  
Centro de Investigación Biomédica de Aragón (CIBA)



# **BIOLINGÜÍSTICA: BREVE BIOGRAFÍA DE UNA DISCIPLINA EMERGENTE**

“La razón más  
movilizadora  
para estudiar el  
lenguaje es la  
de considerarlo  
como un *espejo  
de la mente.*”

**POR JOSÉ LUIS MENDÍVIL**

## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente

**A**unque el término *Biolingüística* es muy anterior, la disciplina que lleva ese nombre nace, más o menos, con el siglo XXI. Los últimos diez años han presenciado un incremento exponencial de artículos, libros, revistas, congresos y proyectos de investigación que se adscriben a dicha disciplina. En las páginas siguientes se propone una breve caracterización del origen, fundamentos y perspectivas de futuro de esta ciencia emergente que pretende integrar la Lingüística en el seno de las Ciencias Naturales.

### UN POCO DE LINGÜÍSTICA CHOMSKIANA: EL LENGUAJE COMO UN OBJETO NATURAL

Hay muchas maneras de hacer lingüística. Por ejemplo, podemos abordar el lenguaje como un objeto cultural o como una institución social, pero, como sugería Noam Chomsky, quizá la razón más movilizadora para estudiar el lenguaje es la de considerarlo, por usar una expresión

tradicional, como un "espejo de la mente" o, en términos más modernos, como una ventana de acceso al cerebro.

Esta visión se sigue de que la concepción del lenguaje de Chomsky implica que parte de la estructura de las lenguas que hablamos los seres humanos no procede de fuera, del entorno, sino de dentro, del propio organismo. Chomsky se ha distinguido por fomentar una concepción innatista del lenguaje poniendo sobre la mesa el argumento de que la adquisición infantil de una lengua natural "sería una hazaña intelectual extraordinaria para una criatura que no estuviera específicamente diseñada para desempeñar esa tarea". Pero es un hecho que cualquier niño adquiere ese conocimiento sobre la base de unos datos y de unas instrucciones mínimas, sin un entrenamiento específico y muchas veces incluso en condiciones desfavorables. Cuando a partir de un estímulo caótico e inconsistente los individuos convergen en un sistema de conocimiento relativamente homogéneo y estable debemos sospechar que hay un condicionamiento biológico.

Simplificando mucho, a ese condicionamiento biológico que determina qué propiedades debe tener una lengua humana posible (y que explica nuestra capacidad de aprenderlas) es a lo que suele denominarse *Gramática Universal (GU)*, una propiedad de nuestra especie. La GU es pues el estado inicial de la *Facultad del Lenguaje (FL)*. Ese estado inicial, común a todos los seres humanos, se desarrolla, con el crecimiento y a través del estímulo lingüístico externo, en un estado estable, esto es, en un sistema de conocimiento que permite a esa persona hablar y entender una lengua en particular (o más de una). Llamemos



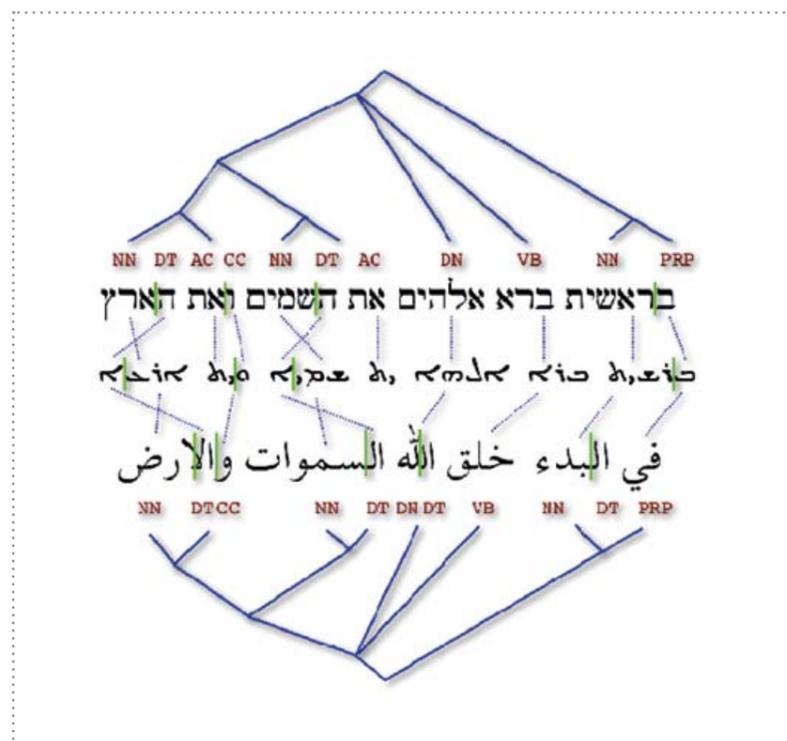
*lengua-i* (por interna) a ese sistema de conocimiento. En este sentido, la GU es el "genotipo" de los diversos sistemas de conocimiento (*lenguas-i*) que se desarrollan en el cerebro de las personas. Y ese es precisamente el objeto de estudio de la lingüística chomskiana: la *lengua-i*, el órgano del lenguaje que permite al individuo hablar y entender una lengua (o más de una). Así, a diferencia del estructuralismo anterior y de otras tradiciones funcionalistas y cognitivistas contemporáneas, la Lingüística chomskiana introduce una perspectiva naturalista en el estudio del lenguaje.

El objetivo de la Lingüística así concebida es entonces construir un modelo teórico de ese "órgano mental" que genere única y exclusivamente las oraciones gramaticales de una lengua, potencialmente infinitas. Estos modelos teóricos ("gramáticas") suelen consistir en sistemas de principios que no solo están restringidos por la necesidad de predecir las oraciones gramaticales y agramaticales de una lengua dada, sino que deben ser lo suficientemente generales como para formar parte de la GU que restringe el formato de cualquier gramática humana posible.

**La torre de Babel, de van Valckenborch. El lenguaje humano, a diferencia de otras capacidades cognitivas como la visión y la memoria, se externaliza en sistemas de conocimiento (lenguas) variables históricamente, lo que añade una perspectiva empírica adicional y permite un estudio comparado.**

<http://pl.wikipedia.org>

## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente



Las diferencias entre las lenguas humanas son notables, pero la investigación reciente sugiere que las diferencias afectan a las capas más superficiales de las mismas (fonología y morfología) que a las más profundas (sintaxis).

Imagen de Regina Barzilay  
<http://eecs-newsletter.mit.edu>

**“Cuando a partir de un estímulo caótico e inconsistente los individuos convergen en un sistema de conocimiento relativamente homogéneo y estable debemos sospechar que hay un condicionamiento biológico.”**

Si es cierto que la estructura íntima de las lenguas humanas no procede del entorno, sino que está condicionada biológicamente, entonces la caracterización formal explícita de esa estructura es una contribución relevante a la caracterización de la mente y del cerebro humanos. Decía el cosmólogo John Barrow que “las leyes de la electricidad y el magnetismo no son suficientes para explicar cómo funciona un ordenador porque, aunque está hecho de átomos y de electrones, lo esencial es cómo están organizados, y *sin los diagramas de los circuitos* el ordenador no se diferencia de un puñado de silicio en forma de arena”. Pues bien, en cierto modo, la teoría lingüística así concebida es una aproximación -limitada y parcial- a esos diagramas esenciales para comprender el funcionamiento de al menos una parte (muy humana) del cerebro. A diferencia de lo que sucede con otros sistemas de conocimiento humano, como la visión o la memoria, la facultad humana del lenguaje tiene cauces históricamente condicionados de externalización (las lenguas) susceptibles de análisis empírico, por lo que el estudio del lenguaje debería constituir una perspectiva privilegiada para iluminar nuevas vías de investigación sobre cómo se relacionan las funciones mentales con el tejido y la fisiología del cerebro.

Pero a ningún lector se le escapa que hay una considerable distancia entre, de una parte, un modelo abstracto y teórico de la FL y, de otra, la explicación de cómo se encarna esta en la anatomía y fisiología del cerebro. La Biolingüística surge como un intento de acortar esa distancia (véase Boeckx, Horno y Mendivil, eds., 2012 para una síntesis reciente). Es muy probable además que ese abismo profundo que existe entre las caracterizaciones abstractas de los lingüistas y las aproximaciones puramente neurológicas y moleculares no responda solo a la evidente dificultad de traducir las funciones mentales a procesos fisiológicos, sino también a la falta de interacción y colaboración entre las disciplinas. En lo que respecta al estudio del lenguaje esto es muy evidente. Los lingüistas postulan entidades mentales ignorando la anatomía y fisiología del órgano que debe sustentarlas, mientras que los neurólogos suelen trivializar, cuando no ignorar, la estructura de las lenguas. La consecuencia lamentable de este antiguo dualismo es que disponemos de teorías bastante sofisticadas (aunque muy toscas aún) sobre cuál es la “estructura atómica” de las lenguas, pero somos incapaces de acomodar neuroló-

gicamente distinciones relativamente groseras como la diferencia entre un nombre y un verbo, entre una oración activa y una pasiva, o entre el ruso y el francés.

Tampoco es ajeno a este problema el hecho de que la Lingüística forme parte tradicionalmente de las Humanidades. Para hacernos una idea de las dificultades, recapitemos el razonamiento típico de Chomsky: como el objeto de estudio del lingüista es un “órgano mental” y como lo mental -en contra de lo que decía Descartes- es una dimensión más de lo natural (como lo químico o lo eléctrico), entonces la Lingüística es una rama de la Ciencia Natural, una especie de “Biología abstracta”. Puede que este razonamiento sea lógicamente impecable y que valga para (algunos) filósofos y lingüistas, pero no suele ser suficiente para los

La Biolingüística pretende integrar la lingüística en el ámbito del estudio del funcionamiento del cerebro humano.

[paularenee.wordpress.com](http://paularenee.wordpress.com)



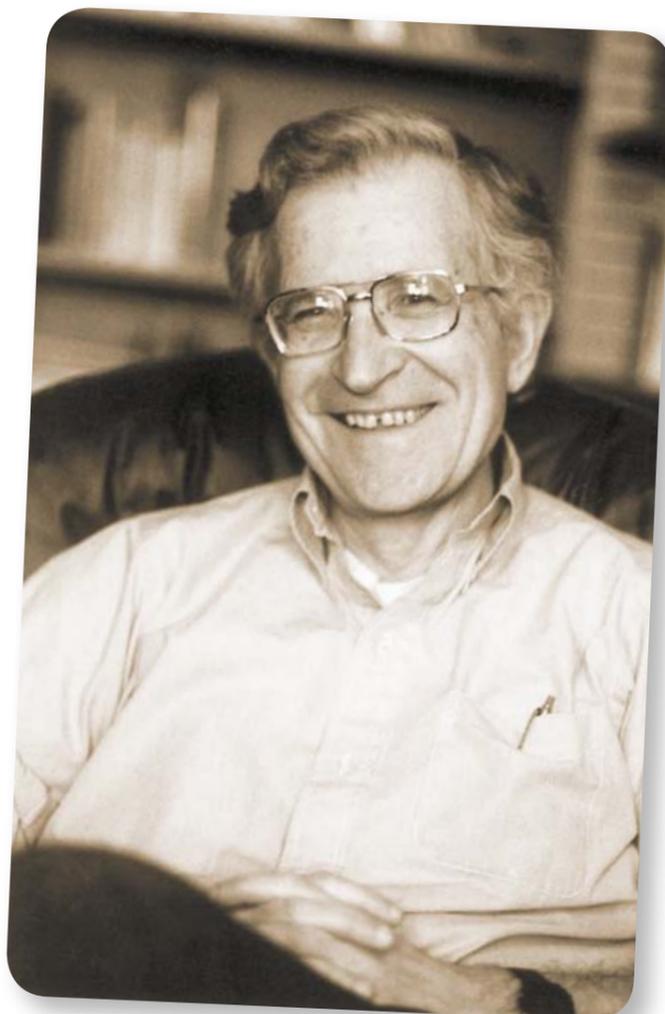
## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente

científicos en sentido estricto, que -con razonable cautela- suelen objetar que hace falta algo más, algo -por decirlo en términos coloquiales- a lo que "hincarle el diente". Y tienen razón, al menos si lo que queremos es un progreso empírico real en el conocimiento de nuestra especie y no hacer pura filosofía de la ciencia.

### LA TEORÍA LINGÜÍSTICA COMO UNA "BIOLOGÍA ABSTRACTA"

No obstante, es importante recordar que Steven Weinberg, premio Nobel y uno de los padres del modelo estándar de la mecánica cuántica, dejó dicho que lo que es real es lo

que una teoría coherente dice que es real. Cuando hablamos de Física Cuántica no tiene sentido decir (como a veces hacemos los profanos) que las entidades primero se postulan y luego se confirman hallando sus correlatos "materiales". Carece de sentido hablar de correlatos materiales del bosón de Higgs o de otras partículas y campos, puesto que estos se postulan para explicar qué es eso que llamamos "materia". La Física es empírica en un sentido más profundo: los postulados de la Física adquieren realidad, existencia, no cuando se descubre experimentalmente su realidad "material", cosa absurda hablando de funciones de onda o de supercuerdas, sino cuando las



**"Hemos observado que es una tarea de las ciencias del cerebro explorar las propiedades y los principios descubiertos por el estudio de la mente. Existe una tarea común: descubrir la caracterización correcta de la facultad lingüística en sus estados inicial y final, descubrir la verdad acerca de la facultad lingüística. Esta tarea se desempeña en diferentes niveles: una caracterización abstracta en teoría de la mente y una investigación sobre los mecanismos cerebrales en las ciencias del cerebro. En principio, los descubrimientos sobre el cerebro han de influir sobre la teoría de la mente y, al mismo tiempo, el estudio abstracto de los estados de la facultad lingüística ha de formular las propiedades que ha de explicar la teoría del cerebro y, con toda probabilidad, resulta indispensable en la búsqueda de esos mecanismos. En la medida en que se puedan establecer esas conexiones, el estudio de la mente, en particular de la lengua-i, quedará inmerso en el seno de las Ciencias Naturales".**

(Noam Chomsky, 1986: 55).

<http://nickwardscenarios.files.wordpress.com>

**La Lingüística formal ha tenido una evolución paralela a la de la biología del desarrollo en relación con el papel otorgado a la información genética y a otros factores implicados en el desarrollo.**

<http://tusaludapunto.com>

teorías de las que forman parte son las más simples y elegantes de entre las que predicen adecuadamente el comportamiento del mundo observable.

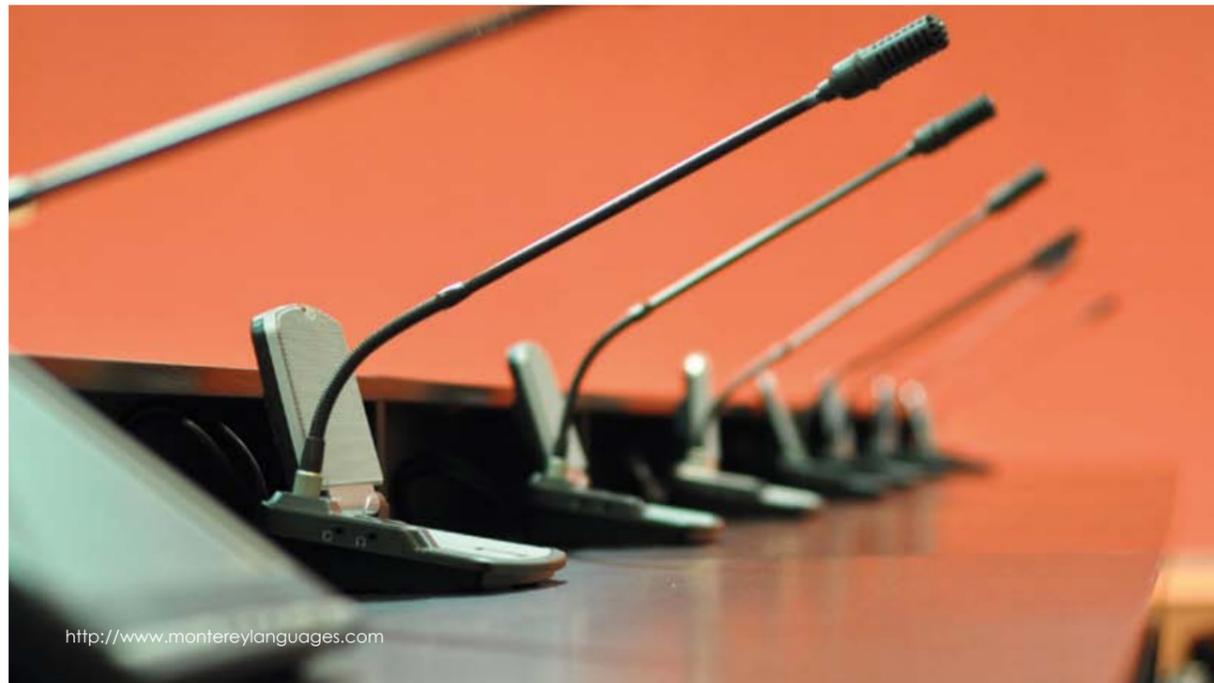
Lo mismo debería aplicarse al estudio del lenguaje, si realmente nos tomamos en serio la aproximación naturalista. Pero muchos científicos objetan que el tipo de evidencia que sustenta las teorías lingüísticas no es "real" porque no tiene un claro soporte biológico (neurológico, genético o molecular). Mas nótese que entonces estamos limitando la capacidad de una ciencia basándonos en el subdesarrollo de otras. Si las entidades postuladas por los modelos teóricos lingüísticos solo fueran a adquirir realidad cuando se traduzcan en cosas que puedan ser observadas, pesadas o medidas por la Biología actual, entonces la reducción carece de sentido, por imposible. Esto es lo que algunos han denominado *reduccionismo caníbal*. Si exigiéramos a la teoría lingüística que se formulara en términos de realidad psicológica, neurológica o biológica, conceptos centrales en teoría lingüística, como el de morfema, de palabra, de sintagma o de caso acusativo, simplemente no se habrían formulado. El efecto sería que el estudio del lenguaje simplemente no se podría hacer científicamente. Estaríamos de vuelta en el nocivo dualismo ("las ciencias" y "las letras") o, como suele decir Chomsky, ante un doble rasero según si estudiamos el cuerpo "de cuello para arriba" o "de cuello para abajo". Por supuesto que son las ciencias natura-

les las que tienen que abordar el lenguaje (y la mente, y la consciencia y las intenciones), pero tienen que hacerlo *ampliándose* al sustentar a las ciencias más abstractas. La deseada reducción de la Lingüística en la Biología no se puede hacer intentando traducir los principios y entidades lingüísticas a los principios y entidades biológicas, sino ampliando la Biología. El propio Chomsky expuso este programa de manera clara hace más de veinte años.

El problema central es que entre el reduccionismo caníbal y el reduccionismo realista pero puramente teórico hay un vacío que, de no



## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente



**“Aceptar que la Lingüística teórica es una parte de la Ciencia Natural es un buen punto de partida en la necesaria integración de la Lingüística en las Ciencias Naturales.”**

rellenarse con investigación empírica novedosa, hace la misma función que el dualismo de toda la vida, aislando los campos en una infertilidad mutua.

Y aquí es donde lo que llamamos Biolingüística pretende tener un papel relevante. Aceptar que la Lingüística teórica es una parte de la Ciencia Natural (una “biología abstracta”) es, por supuesto, un buen punto de partida en la necesaria integración de la Lingüística en las Ciencias Naturales. Pero, en contra de lo que muchos lingüistas creían, es solo el principio, no el final. La reducción científica no se consigue cuando se acepta como lógica o plausible (aunque este es un requisito), sino cuando realmente explicamos y predecimos los primitivos de una ciencia en términos de otra ciencia más básica.

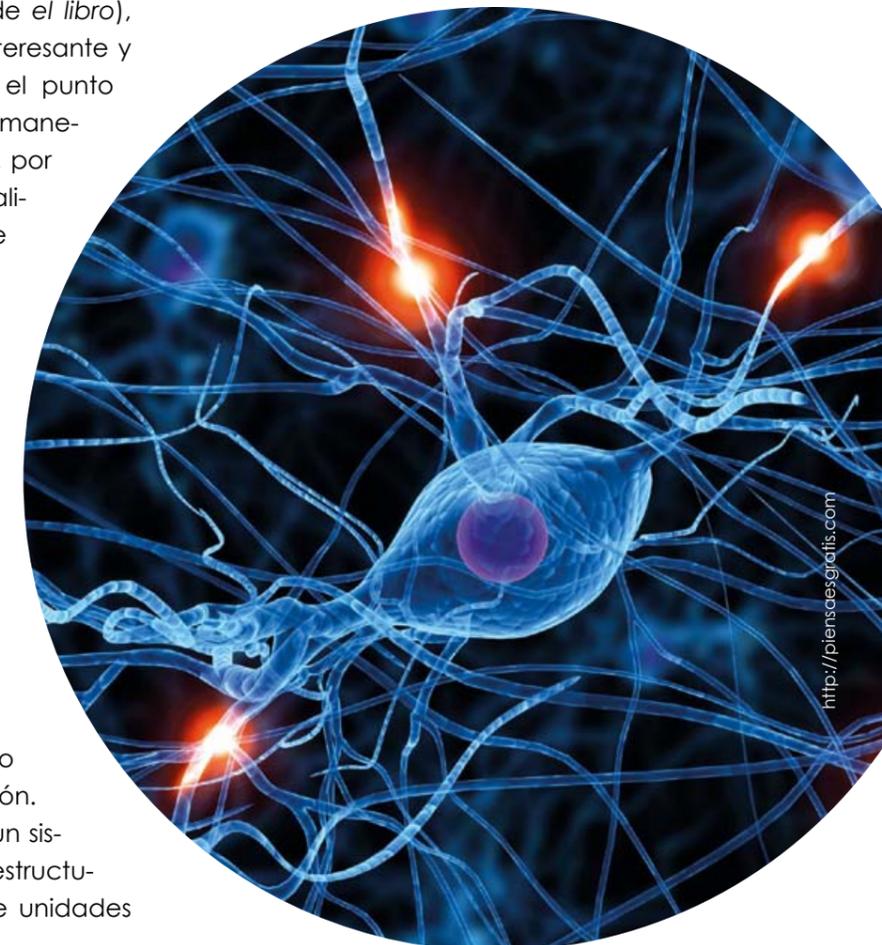
La Lingüística chomskiana ha estado proporcionando durante los últimos cincuenta años “los diagramas de los circuitos”, preliminares pero decisivos, para la explicación de la FL. Los fenómenos a los que se enfrenta el lingüista, sin prejuzgar su grado de emergencia, son fenómenos reales, tales como la formación de interrogativas en japonés, la incorporación de nombres en navajo o el as-

censo de clínicos en español. Nos enfrentamos a centenares de restricciones y variaciones en miles de lenguas. El resultado, sin duda parcial, ha sido el de construir modelos con ciertas propiedades universales y un ámbito restringido de variación.

Sin embargo, esto, aun siendo imprescindible, es insuficiente. Veamos un ejemplo muy simplificado para entender por qué. Cualquier hablante del español sabe que partiendo de la oración *He leído un libro sobre anatomía*, puede hacer la pregunta *¿Sobre qué has leído un libro?*. Sin embargo, frente a una oración muy similar como *El libro sobre anatomía es verde*, ningún hablante formaría la pregunta *¿Sobre qué es verde el libro?*, a pesar de que la operación realizada es la misma (toscamente, el desplazamiento al principio de la oración del sintagma *sobre qué*, modificador de *el libro*), y a pesar de que la pregunta es interesante y cognitivamente impecable, hasta el punto de que se puede formular de otras maneras (*¿Sobre qué es ese libro verde?*, por ejemplo). Puede parecer una trivialidad insustancial, pero está claro que un modelo teórico sobre qué hay en el cerebro de una persona que habla español (o cualquier lengua) debe predecir ese comportamiento si quiere ser adecuado empíricamente.

La Lingüística moderna ha mostrado que para explicar esa aparentemente simple e irrelevante asimetría no sirven las nociones de gramática tradicional, ni consideraciones sobre la utilidad social o comunicativa de las expresiones, o sobre nuestra capacidad de imitación. Lo que hace falta es, al menos, (i) un sistema computacional que genere estructuras sintácticas recursivas a partir de unidades

léxicas y establezca dependencias jerárquicas entre constituyentes, (ii) un conjunto de operaciones que mueven luego los constituyentes a diversas partes de la estructura dejando una “huella” detrás (esto es, conservando la memoria de dónde se interpretan esos constituyentes), (iii) un sistema de principios que restrinjan qué se puede mover, a dónde y por qué, y (iv) un conjunto de mecanismos que proyecten las estructuras sintácticas en cadenas lineales de sonidos (y viceversa) a través del sistema sensoriomotor. Nos enfrentamos pues a una restricción formal que puede ser predicha por un modelo teórico basado en principios puramente lingüísticos, pero no por un modelo neurobiológico, puesto que si desde el punto de vista neurobiológico no podemos distinguir el francés



## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente

del ruso (no existe resonancia magnética que nos indique qué lengua habla el paciente), es obvio que menos aún podremos explicar ese contraste. Pero explicarlo es crucial para conocer realmente la estructura de ese "órgano mental". Más aún si tenemos en cuenta que se da en todas las lenguas que se han estudiado y que, en lo que sabemos, opera con principios y procesos computacionales que no tienen utilidad aparente en ninguna otra tarea cognitiva humana, ni en ningún otro organismo.

La siguiente tarea, una vez determinados empíricamente los principios y mecanismos de (i)-(iv), es la de explicarlos, fundamentarlos o deducirlos de principios más simples y con mayor cobertura empírica.

### DE LA "BIOLOGÍA ABSTRACTA" A LA BIOLINGÜÍSTICA ¿POR QUÉ AHORA?

Podemos definir ahora ya la Biolingüística como el intento de transformar las teorías lingüísticas en modelos que se puedan relacionar sistemáticamente con lo que sabemos sobre la evolución, el desarrollo y el funcionamiento del cerebro humano.

El factor crucial en el (re)surgimiento reciente de la Biolingüística como un programa de unificación (reducción) científica es sin duda el giro minimalista protagonizado por la Lingüística chomskiana en los últimos veinte años. El surgimiento del llamado *Programa Minimalista* (PM) de la Lingüística chomskiana tiene una fuente interna (consecuencia de la saludable tendencia de toda actividad científica a aplicar la navaja de Occam), pero coincide significativamente en el tiempo con cambios en la Biología, especialmente la del desarrollo.

La Biología del desarrollo de los años 50 del siglo XX (que es cuando surge la gramática generativa chomskiana) era esencialmente geneticista. El modelo geneticista del desarrollo fue especialmente atractivo para la aproximación chomskiana al lenguaje, ya que se enfrentaba a un problema similar: cómo explicar la robustez y la homogeneidad del desarrollo del lenguaje humano en un entorno inestable, confuso y que proporciona evidencia muy empobrecida sobre los sistemas de conocimiento finalmente obtenidos (lenguas-i). En consecuencia, los modelos iniciales de la Lingüística chomskiana asumieron una GU rica y genéticamente es-



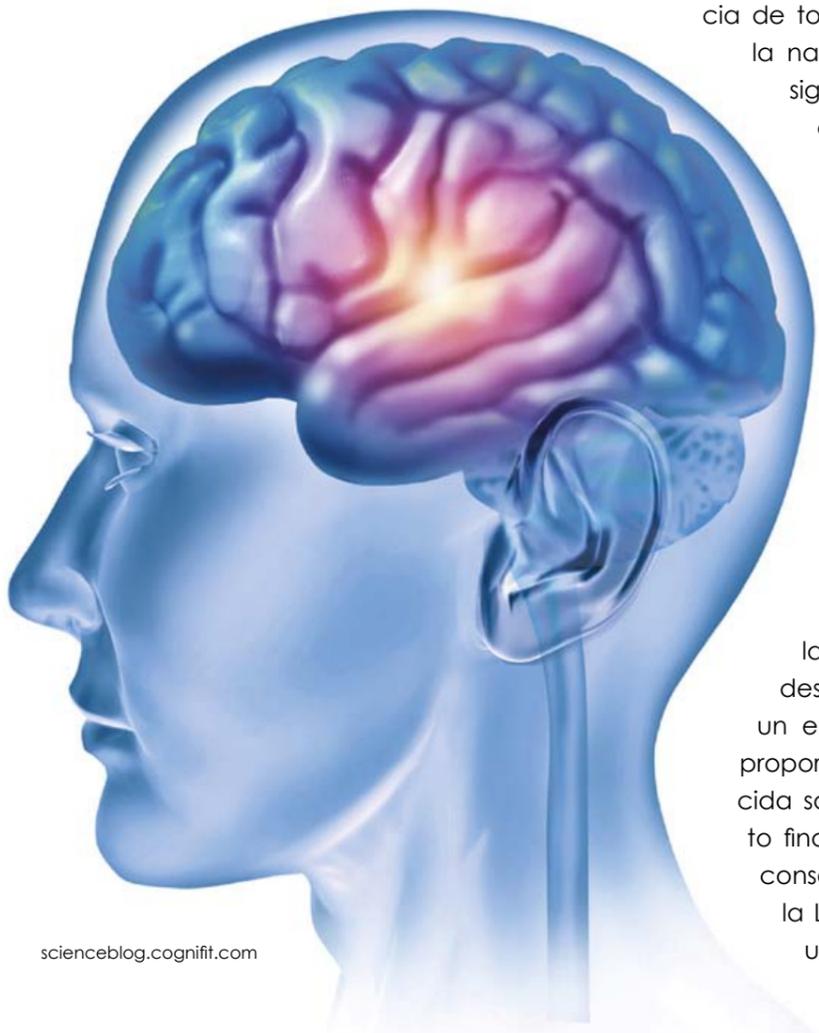
<http://www.quickkanded.com>

pecificada, dado que en la Biología del momento lo innato era lo codificado genéticamente. En los últimos decenios los llamados modelos *EvoDevo* (de "Biología evolutiva del desarrollo") han transformado la Biología evolutiva en un panorama mucho más pluralista (Preston y Piglucci, eds., 2004). En el modelo genocentrista los genes son considerados como un programa autosuficiente que incluye la información sobre los patrones de organización estructural y las instrucciones para el despliegue de las estructuras en el tiempo y en el espacio. De acuerdo con la nueva Biología del desarrollo, los rasgos fenotípicos (sean anatómicos, fisiológicos o cognitivos) no pueden estar contenidos o especificados en los genes. Esto implica que la noción de "programa genético" como la única fuente de información para los procesos

**"Nos enfrentamos a una restricción formal que puede ser predicha por un modelo teórico basado en principios puramente lingüísticos, pero no por un modelo neurobiológico"**

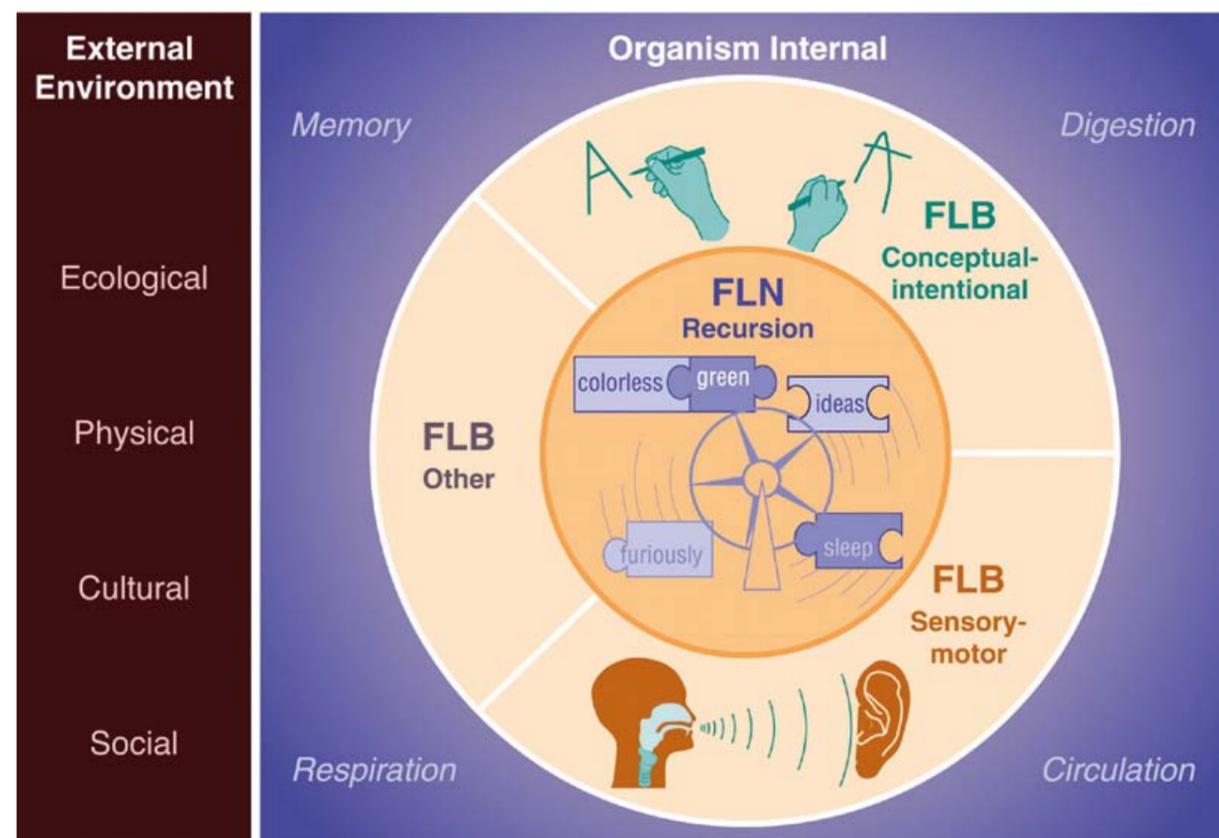
de desarrollo es una distorsión de la visión de cómo se producen tales procesos, ya que ignora la contribución relevante de otros factores y recursos situados entre el genotipo y el fenotipo y sin los cuales el proceso de desarrollo simplemente no puede producirse.

De manera paralela, el PM va dirigido a intentar esclarecer qué aspectos de la FL son consecuencia de la dotación biológica de la



scienceblog.cognifit.com

## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente



**La Facultad del Lenguaje.** El círculo mayor representa lo que los autores denominan la Facultad del Lenguaje en sentido amplio (FLB), que excluye otros sistemas que son necesarios pero no suficientes para el lenguaje, como la memoria o la respiración. Dentro de la FLB se representa con el círculo interior la Facultad del Lenguaje en sentido estricto (FLN), que sería -por hipótesis- lo único específicamente humano y específicamente lingüístico y que, según presupuestos minimalistas, incluiría únicamente un sistema computacional responsable de la sintaxis y la recursividad. Así, la FLB incluiría la FLN y los sistemas que se reclutan para el lenguaje, como el sistema conceptual-intencional (CI) y el sistema sensoriomotor (SM), pero que no son específicos para el lenguaje ni específicos de la especie humana.

Esquema tomado de Hauser, Chomsky y Fitch (2002: 1570).

especie (susceptible por tanto de haber evolucionado adaptativamente y de estar genéticamente codificada) y qué aspectos de la misma son consecuencia de principios de simplicidad, de elegancia computacional, o de los procesos de desarrollo del cerebro (que a su vez pueden ser consecuencia de la propia

evolución del cerebro humano o de principios formales o físicos más profundos que rigen los sistemas de determinada complejidad). Como señalaba Chomsky gráficamente, el PM consiste en aproximarse al contenido de la GU desde abajo, y no desde arriba, cambiando la pregunta de cuánto hay que atribuir a la GU para

**“La pregunta crucial es cómo se vinculan explicativamente entre sí las unidades primitivas del análisis lingüístico y las unidades primitivas del análisis neurobiológico.”**

explicar el desarrollo del lenguaje por la pregunta de cuánto podemos eliminar de la GU y aún así explicar el desarrollo de las lenguas humanas.

Una manera de hacer coherente el carácter biológicamente mínimo de la GU y la complejidad del “fenotipo” obtenido (las lenguas-i que hablan las personas) es la descomposición de la FL en diversos componentes que podrían tener una historia evolutiva independiente y una naturaleza diversa.

Según este influyente modelo de la FL, la clave de la “discontinuidad” que parece haber entre el lenguaje humano y los sistemas de comunicación y de cognición de otras especies no sería la improbable evolución biológica de un órgano del lenguaje complejo, que no habría tenido tiempo de evolucionar (y mucho menos sin “dejar rastro” en otras especies cercanas), sino un evento biológicamente mínimo que aportara el “ingrediente extra” a los sistemas conceptuales y sensoriomotores preexistentes, dotando al complejo resultante de propiedades nuevas e inesperadas. De este modo, la Facultad del Lenguaje en sentido estricto (FLN en la figura explicativa) incluiría únicamente un sistema computacional recursivo (la sintaxis), que sería lo imprescindible para que la vinculación entre un sistema conceptual-intencional y un sistema motor-perceptivo produjera un sistema de conocimiento con las propiedades que caracterizan al lenguaje humano, esencialmente la principal: la capacidad de crear

un número potencialmente infinito de oraciones (emparejamientos de sonido y sentido) a partir de medios finitos.

La descomposición de la FL en los términos ilustrados en la figura ha estimulado la comparación sistemática con sistemas de cognición y de comunicación de otras especies permitiendo establecer con

más fiabilidad qué capacidades subyacentes al lenguaje humano son específicas o compartidas con otros organismos. Como ha señalado el neurolingüista David Poeppel, la pregunta crucial es cómo se vinculan explicativamente entre sí las unidades primitivas del análisis lingüístico (p.e. rasgos distintivos, morfemas o sintagmas nominales) y las unidades primitivas del análisis neurobiológico (p.e. dendritas, columnas corticales o potenciaciones a largo plazo) y, sobre todo, cómo resolver la probable discrepancia en la “granularidad” del análisis en sendos campos. La versión minimalista de la teoría lingüística es quizá el modelo cognitivo más adecuado para poder profundizar en el futuro en esa tarea de emparejamiento explicativo con el nivel neurobiológico de implementación.

El modelo inicial de la llamada gramática generativa chomskiana buscaba la adecuación descriptiva (dar cuenta de la estructura profunda de las expresiones lingüísticas). El modelo siguiente (llamado de *Principios y Parámetros*) aspiraba a lo que técnicamente se denominó la adecuación explicativa (dar cuenta de la adquisición del lenguaje) sin perder un ápice de adecuación descriptiva, pero lo hacía postulando un componente lingüístico innato rico y excesivamente específico del lenguaje (frente a otras capacidades cognitivas) y excesivamente humano (con respecto a las capacidades cognitivas de otras especies). El tipo de adecuación ansiado en el nuevo programa de investigación (en pleno desarrollo) se ha ca-

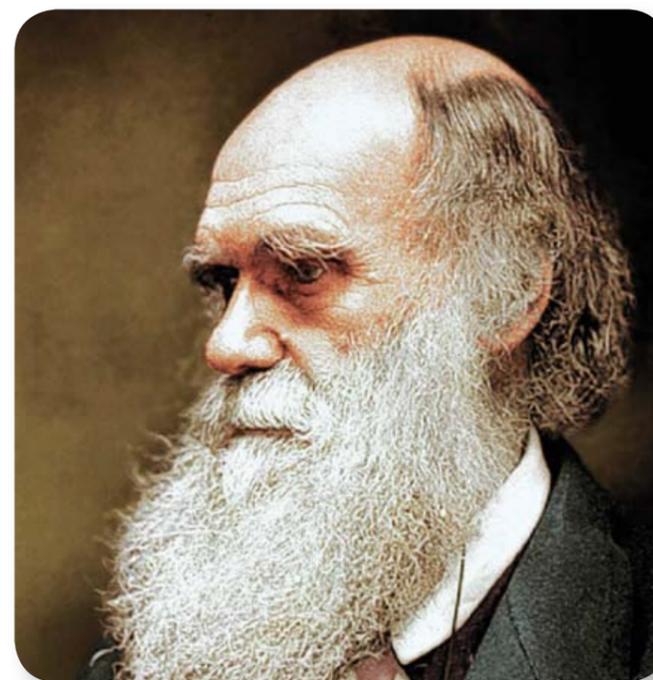
## Biolingüística: breve biografía de una disciplina emergente

racterizado como "adecuación neurológica", "adecuación biológica" o hasta "adecuación evolutiva". Y, en efecto, el PM representa un progreso en esa dirección, en el sentido de que un componente innato reducido y más simple es sin duda menos estipulativo, más plausible biológicamente y más fácil de conciliar con historias creíbles acerca de su evolución. Por su parte, la importancia que cobran en ese modelo los factores de elegancia y economía computacional en la arquitectura del lenguaje y en su producción y procesamiento permitiría también hablar de "adecuación computacional" (y hasta de "adecuación matemática" en sentido general), lo que sugiere aún más un

**"Decía Darwin en sus memorias que el estudio del cerebro del babuino haría mucho más por la comprensión de la mente humana que el ensayo de Locke. Parece que el tiempo le va dando la razón."**

progreso real en la empresa común y central de la Ciencia, que no es otro que el de la unificación.

Como apuntaba Murray Gell-Mann, la Electrodinámica Cuántica permite reducir la Química a la Física, pero para ello "es necesario introducir en las ecuaciones de la Física de Partículas la información concerniente a esas condiciones para poder derivar, al menos en teoría, las leyes de la Química". Sin estas consideraciones "la noción de reducción resulta incompleta". Esa información adicional que hay que añadir es crucial para no confundir la reducción científica con la simplificación. Como sigue señalando el también premio Nobel, una ciencia perteneciente a un nivel determinado abarca las leyes de otra ciencia menos fundamental, situada en un nivel superior, "pero esta última, al ser especial, precisa de información adicional además de las leyes de nivel inferior. En cada nivel hay leyes por descubrir, importantes por sí mismas. El desarrollo de la ciencia implica investigar esas leyes a todos los niveles, a



Charles Darwin (1809-1882).

<http://tusaludapunto.com>

la vez que se trabaja, de arriba abajo, en la construcción de escaleras entre ellos". Este es el papel al que está llamada la Biolingüística en la parcela de la Ciencia que estudia la naturaleza humana.

Decía Darwin en sus memorias que el estudio del cerebro del babuino haría mucho más por la comprensión de la mente humana que el ensayo de Locke. Parece que el tiempo le va dando la razón, pero ello no debería invitarnos a confundir la unificación entre ciencias con la simplificación, porque la simplificación no es explicativa.

José Luis Mendívil

Dpto. de Lingüística General e Hispánica  
Facultad de Filosofía y Letras  
Universidad de Zaragoza

### REFERENCIAS

- Barrow J. D. (1991): *Theories of Everything: the Quest for Ultimate Explanation*, Oxford University Press, Oxford (Citado por la versión española: *Teorías del todo*, Crítica, Barcelona, 1994).
- Boeckx C., Horno M.C. y Mendívil J. L. (eds.) (2012): *Language, from a Biological point of view*, Cambridge Scholars, Newcastle.
- Chomsky N. (1986): *Knowledge of Language. Its Nature. Origins and Use*. Praeger: Nueva York (Citado por la versión española: *El conocimiento del lenguaje*. Alianza: Madrid, 1989).
- Gell-Mann M. (1994): *The Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex*, New York: Freeman W. H. and Company (Citado por la versión española, *El quark y el jaguar*, CL, Barcelona, 1997).
- Hauser M.D., Chomsky N. y Fitch W. T. (2002): *The Faculty of Language: What Is It, Who Has It, and How It Evolve?*, *Science* 298: 1569-1579.
- Poeppel D. (2012): *The maps problem and the mapping problem: Two challenges for a cognitive neuroscience of speech and language*, *Cognitive Neurophysiology*, 29 (1-2): 34-55
- Preston K. y Pigliucci M. (eds.) (2004): *Phenotypic Integration: Studying the Ecology and Evolution of Complex Phenotypes*, Oxford University Press, Oxford.
- Weinberg S. (1992): *Dreams of a final theory*, Vintage, Nueva York.





# POLÍMEROS: DE MACROMOLÉCULAS A MATERIALES

“La contribución de los materiales que conocemos vulgarmente como *plásticos* es tal que, hoy por hoy, es difícil imaginar nuestra sociedad sin ellos.”

**POR MILAGROS PIÑOL  
Y LUIS ORIOL**

# Polímeros: de macromoléculas a materiales

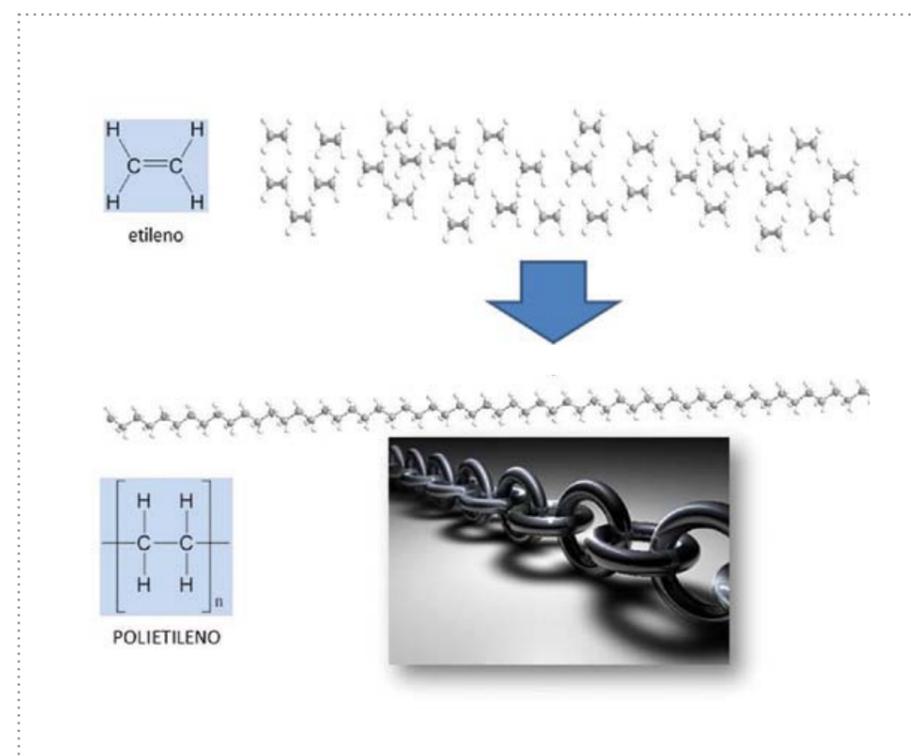
**IE**s de plástico! Cuántas veces habremos escuchado esta expresión, generalmente para referirnos a un objeto construido en un material poco "noble", que solemos asociar a barato y, en ocasiones, a problemas medioambientales al final de su ciclo de vida. Esta impresión, que afortunadamente ha ido cambiando a lo largo del tiempo, puede ser cierta si nos referimos a la bolsa que, ahora, nos cobran en el supermercado y que por una nefasta gestión puede acabar en el mar. Pero la contribución de los materiales que conocemos vulgarmente como *plásticos* es tal que, hoy por hoy, es difícil imaginar nuestra vida sin ellos y desde luego transciende la aplicación anterior.

**“El ser humano empleó los polímeros como materiales desde mucho antes de que se estableciera su naturaleza química.”**

## ¿QUÉ SON LOS PLÁSTICOS?: STAUDINGER Y LA HIPÓTESIS MACROMOLECULAR

Lo primero que debemos precisar es que los químicos denominamos a los compuestos que constituyen los plásticos como *polímeros*; este es su nombre correcto. Aunque debemos precisar que al polímero se le suelen añadir diversos aditivos para modificar propiedades base y generar el "plástico" final. A pesar de su ubicuidad actual, la historia de los polímeros no es tan larga como podríamos suponer. Se conoce como polímeros a moléculas de elevada masa molecular que están formadas por una unidad menor que se repite múltiples veces, de forma análoga a lo que ocurre con una cadena constituida de eslabones enlazados.

Esta unidad menor, o unidad repetitiva constitutiva, deriva del monómero que se utiliza en la síntesis del polímero a la que llamamos reacción de polimerización. Así de la polimerización del etileno, o unión sucesiva de moléculas de etileno, surge el polietileno. El término polímero proviene del griego y significa "muchas partes",



**Moléculas de etileno monómero (arriba) y macromolécula de polietileno (abajo) que se asemeja a una cadena de múltiples unidades repetitivas (n es el grado de polimerización o veces que se repite la unidad repetitiva constitutiva).**

Figura cedida por los autores.

y es obvio el significado de monómero. Por su elevada masa molecular, los polímeros son también denominados como *macromoléculas* (curioso el prefijo "macro" para referirse a moléculas que suelen estar en la escala "nano", ¿verdad?).

Parece una definición simple, casi una obviedad... pues costó ser aceptada por la comunidad científica. Y de esto no hace tanto. En 1922 un químico orgánico, Hermann Staudinger, definió por primera vez el término *macromolécula* en un artículo sobre la hidrogenación del

caucho y su constitución,<sup>1</sup> aunque ya en 1920 había comenzado su interés en el proceso de polimerización.<sup>2</sup> Sin embargo, sus propuestas chocaron con las ideas de la época que consideraban los polímeros como sistemas coloidales o agregados de moléculas más pequeñas. Y la disputa fue larga... casi diez años hasta que las evidencias experimentales fueron demasiado abrumadoras incluso para químicos tan reconocidos como Emil Fischer o H. Otto Wieland. El tiempo terminó dando la razón a Staudinger, tan brillante como testarudo, y que, en palabras de H. Ringsdorf,<sup>3</sup> tuvo que abandonar el



**Consecuencias de una mala gestión de los residuos plásticos.**

<http://www.technofreakz.es>

1. Staudinger H. y Fritsch J. *On the hydrogenation of rubber and on its constitution*. Helv. Chim. Acta 1922, 5, 785.
2. Staudinger H. *On polymerization*. Ber. Dtsch. Chem. Ges. 1920, 53, 1073.
3. Ringsdorf H. *Hermann Staudinger and the future of polymer research jubilees - Beloved occasions for cultural piety*. Angew. Chem. Int. Ed. 2004, 43, 1064.

## Polímeros: de macromoléculas a materiales

cielo seguro de la Química Orgánica, en el que ya era famoso (a él se deben las cetenas o la reacción de Staudinger), para luchar por el reconocimiento de las macromoléculas. A Staudinger, su propio reconocimiento le llegó en 1953 con la concesión del premio Nobel.

### CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN INICIAL COMO MATERIALES

La elevada masa molecular y la estructura repetitiva de los polímeros o macromoléculas es consecuencia de su origen sintético. De acuerdo a este origen los polímeros se pueden clasificar en tres categorías:

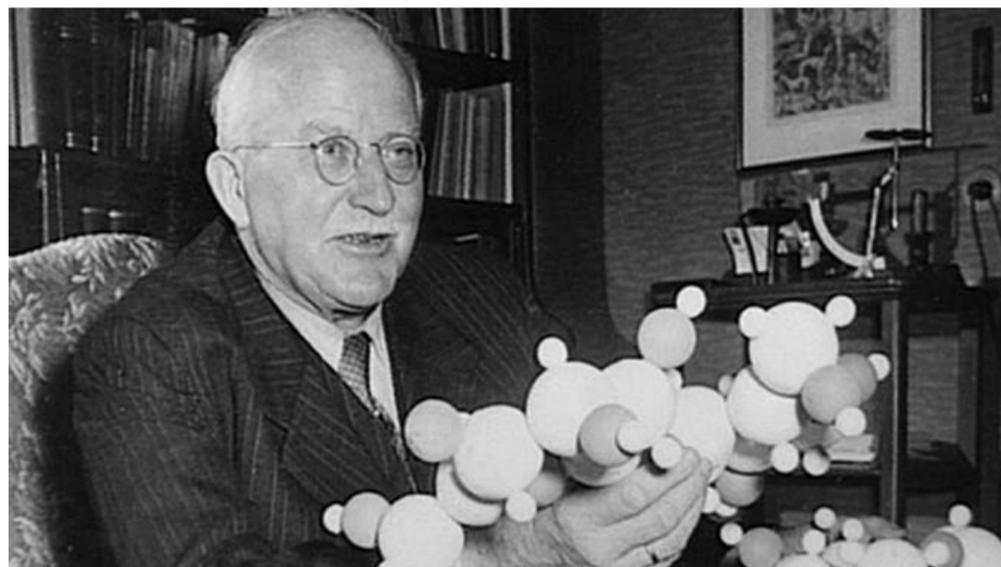
- *Polímeros naturales* sintetizados por seres vivos. Los ácidos nucleicos, las proteínas, polisacáridos u otras macromoléculas de origen celular están incluidos en esta categoría (también conocidos como biopolímeros o biomacromoléculas de origen natural, aunque se tienda a abusar del prefijo y a desvincularlo del origen del polímero). Son por tanto moléculas de gran interés para la Biología Molecular, pero también para la

Ciencia de Materiales. Pensemos en la celulosa o el caucho natural (un politerpeno) y los más recientemente comercializados poliésteres biodegradables, como los polihidroxicanoatos de origen bacteriano.

- *Polímeros semisintéticos* que proceden de la modificación química de un polímero natural, para obtener nuevos polímeros de propiedades diferentes. Es el caso del proceso de vulcanizado del caucho natural (el cis-1,4-poliisopreno) que desarrolló Goodyear y dio origen a toda la industria de los neumáticos. O también el nitrato de celulosa tan vinculado al cine, ¡la industria del celuloide!, y que quizás pocos relacionen en su origen con el billar y la necesidad de buscar un sustituto al marfil, ya en el siglo XIX. Es sabido que el celuloide hace tiempo que dejó de ser soporte cinematográfico por su carácter inflamable, como bien nos enseñó Tornatore en su entrañable Cinema Paradiso a los que acabábamos la licenciatura de Químicas allá por los finales de los 80. Sin embargo hay otros ésteres o éteres de celulosa de amplio uso en la actualidad.

Hermann Staudinger (1881-1965).

www.br.de



- *Polímeros sintéticos*. Son aquellos en los que la macromolécula es sintetizada mediante polimerizaciones desarrolladas por el ser humano, principalmente a partir de monómeros de origen petroquímico. La mayor parte de los polímeros de uso cotidiano pertenecen a esta categoría. El polietileno (sería más correcto decir los polietilenos), el polipropileno, el poli(cloruro de vinilo), el poli(terftalato de etileno), el poliestireno, etc. caen en esta clasificación, aunque es posible que sean más conocidos por sus acrónimos. ¿Quién no ha oído hablar del PET o el PVC?

De esta clasificación se deduce que el ser humano empleó los polímeros como materiales desde mucho antes de que se estableciera su naturaleza química. Y no nos estamos refiriendo al lógico y amplio uso de los biopolímeros, tanto de origen vegetal como animal, que el ser humano ha tenido siempre a su alrededor y ha utilizado en su beneficio, por ejemplo, en la industria textil o construcción. Nos referimos más bien al desarrollo de materiales con propiedades optimizadas a partir de procesos químicos, que coinciden con la expansión de la Química Orgánica, y que tienen un desarrollo industrial ya en el siglo XIX y principios del siglo XX. La industria de los neumáticos es un claro y fértil ejemplo, excepto para el propio Goodyear que nunca se benefició de su descubrimiento, más bien lo contrario. Incluso, el primer polímero enteramente sintético, las baquelitas, se comercializaron a principios del siglo XX, ¡mucho antes de la hipótesis macromolecular de Staudinger!

Sin embargo, la definición de macromolécula o polímeros y de reacción de polimerización brindó nuevas expectativas. A la industria química no le interesó demasiado la disputa científica que estableció Staudinger con sus colegas, pero en seguida vio las posibilidades que se abrían. Y en este punto, convendría rendir un homenaje a Wallace Carothers y a la compañía DuPont (o viceversa). Carothers, un joven doctor americano que trabajaba por entonces en la Universidad de Harvard, fue contratado por DuPont para liderar un programa de investigación ¡¡básica!! de síntesis de macromoléculas a partir de reacciones orgánicas conocidas. Todo estaba

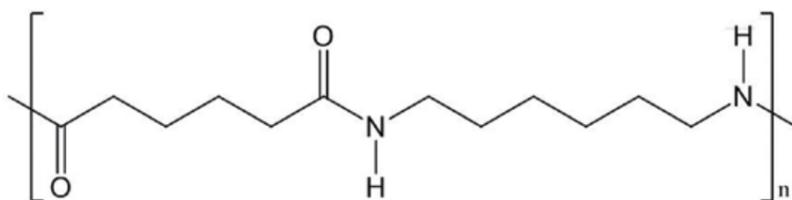


Radio de baquelita.

Fotografía por Robert Neild (wikipedia).

**“Las baquelitas se comercializaron a principios del siglo XX, ¡mucho antes de la hipótesis macromolecular de Staudinger!”**

# Polímeros: de macromoléculas a materiales



**Wallace Carothers y una de sus grandes aportaciones: el nylon 6.6.**

<http://es.wikipedia.org>  
(arriba izda.)

<http://mydailyminfield.com>  
(arriba dcha.)

Figura cedida por los autores (abajo).

por descubrir y para ello DuPont no dudó en proporcionar todos los medios y financiación necesaria. Carothers aceptó el reto en 1928 y apostó por la química de ésteres y amidas. Sus aportaciones a la Química Macromolecular, en el campo de polímeros de condensación, son múltiples, pero baste citar una: el nylon 6.6. Para los amantes de la rentabilidad económica de la investigación un dato: el 15 de mayo de 1940 se empezaron a comercializar las medias de nylon 6.6 y hasta finales de ese año se vendieron más de 5 millones de pares a 1.20 dólares cada una. Posteriormente los beneficios fueron astronómicos: todavía a finales del siglo pasado las ventas de nylon para DuPont suponían cada año miles de millones de dólares. Desgraciadamente, Carothers nos privó de su genialidad, de la que no era consciente, demasiado pronto y se suicidó (1937) antes de ver

el enorme fruto de su trabajo. Fruto no solo económico: el nylon, inmediatamente después de su lanzamiento, fue un material estratégico en la Segunda Guerra Mundial en la fabricación de cuerdas o paracaídas para el ejército americano, lo que permitió revalorizar el empleo de este polímero como material.

En el escenario anterior, la Segunda Guerra Mundial, se puede ubicar también el éxito de otros polímeros como materiales. Por ejemplo el poli(metacrilato de metilo) (PMMA) que fue utilizado con tanto éxito en la fabricación de ventanas para los aviones de combate. Hay que pensar que solo en 1943, EEUU produjo 86000 aviones de combate y que todos ellos usaban el Plexiglas de la compañía Rohm and Hass. Por cierto, el desarrollo de lentes intraoculares, debe mucho al uso de Plexiglas en aviones de

combate en dicha guerra. Fue la observación de que los pilotos accidentados con restos de este plástico en los ojos no sufrían rechazo, lo que llevó al oftalmólogo británico N.H.L. Ridley a desarrollar la primera lente intraocular de PMMA para reemplazar el cristalino, ¡otra aplicación de un plástico! Menos conocido es el uso de otros poli(metacrilatos de alquilo) derivados de alcoholes de cadena larga (en el PMMA, el grupo metilo solo tiene un átomo de carbono) y que habían sido inicialmente desechados por Rohm and Hass. Sin embargo, estos polímeros se disolvían bien en aceite de motor lo que proporciona una buena viscosidad a baja temperatura. Este uso, aparentemente poco significativo, jugó su papel una vez compartido con el ejército ruso en el desenlace de la batalla de Stalingrado, clave en el devenir de la guerra. Los tanques rusos con el aceite de

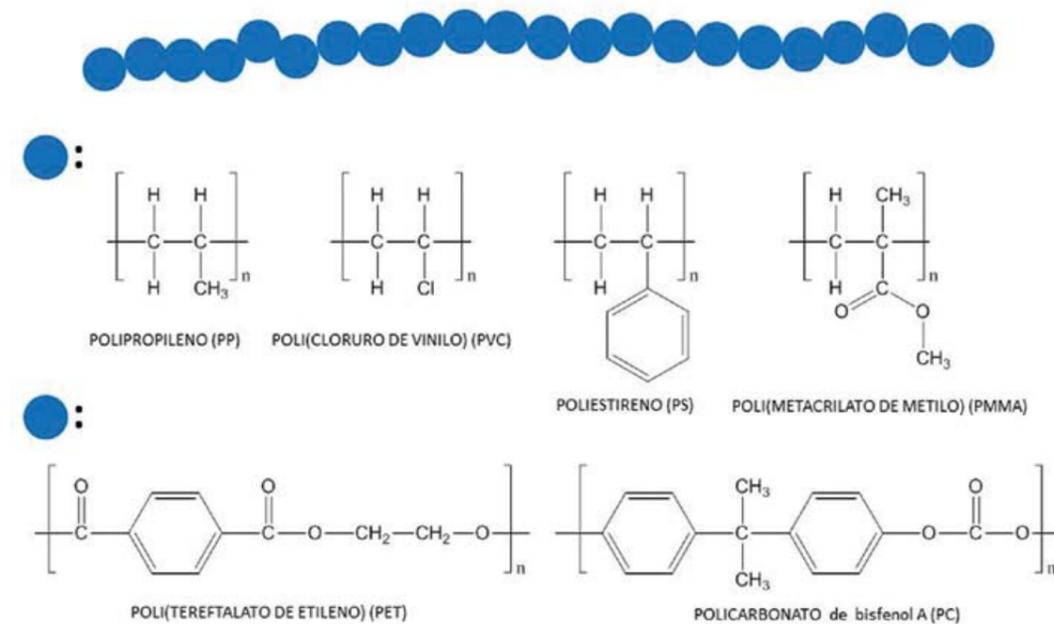
motor aditivado resistieron el frío extremo del invierno. Sin embargo, ni un solo tanque alemán de esta batalla regresó a Alemania.

## LA ESTRUCTURA DE LOS POLÍMEROS

Hasta el momento, hemos comentado qué son y cómo se clasifican los polímeros, así como un poco de su historia inicial. Veamos ahora cuál es la estructura química de los polímeros. La primera, y más evidente, es la estructura lineal. A este tipo de estructura pertenecen la mayor

.....  
**Representación esquemática de un polímero de estructura lineal y ejemplos de polímeros lineales termoplásticos.**

Figura cedida por los autores.



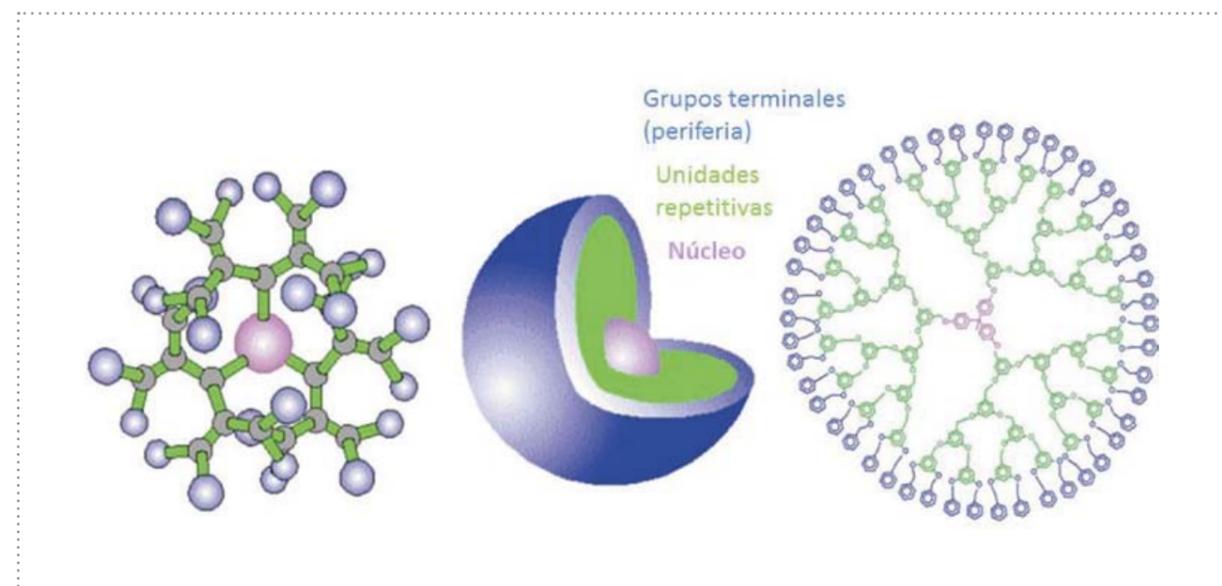
# Polímeros: de macromoléculas a materiales

parte de polímeros comerciales conocidos. En general (hay excepciones) este tipo de macromoléculas al ser calentadas pasan a un estado fluido en el que pueden ser conformadas y posteriormente enfriadas para obtener los diferentes objetos plásticos que utilizamos. En tal caso reciben el nombre de *termoplásticos*. Algo más compleja es la estructura entrecruzada: las macromoléculas están unidas unas con otras para formar una "red de macromoléculas". Dependiendo del grado de entrecruzamiento puede

**“Los polímeros que conocemos y utilizamos habitualmente se sintetizan por procedimientos sencillos y eficientes.”**

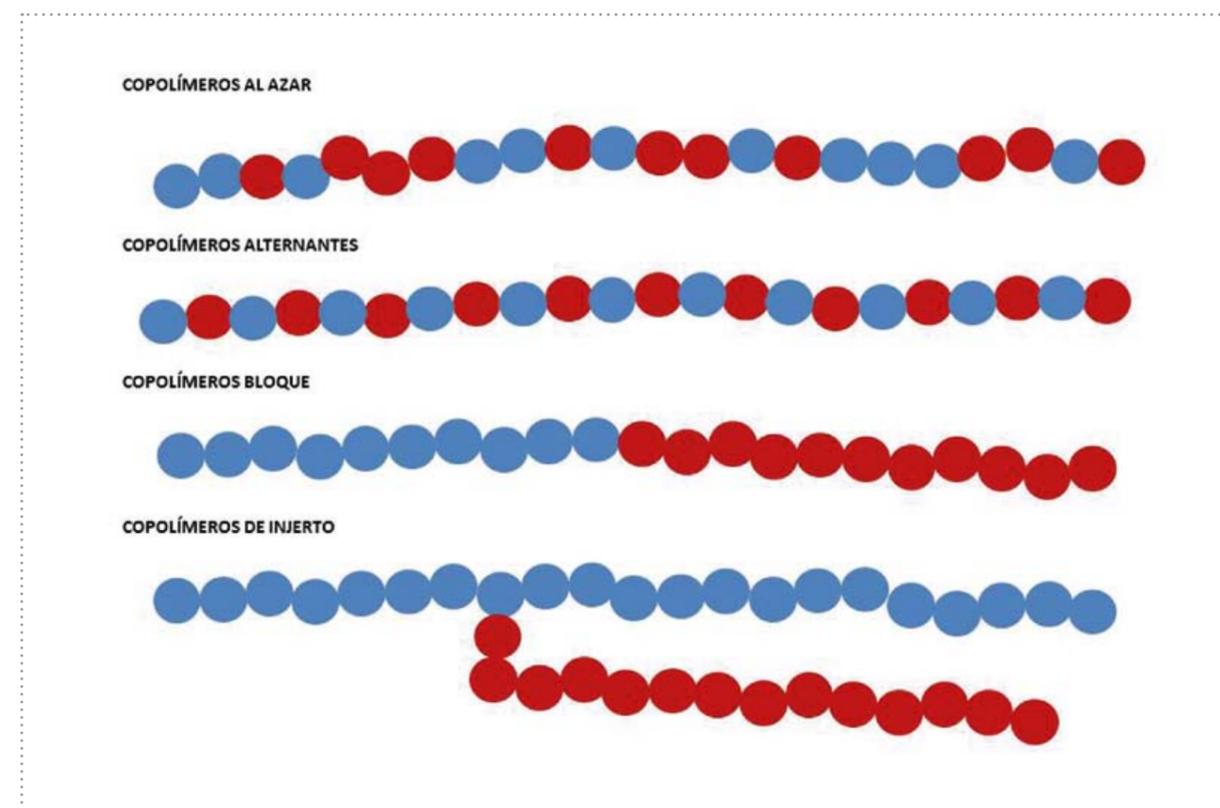
## Estructura esquemática y representación química de un dendrímico.

Figura adaptada de J. Polym. Sci. Polym. Chem. 2003.



mos tener redes con bajo grado de entrecruzamiento, como ocurre en polímeros muy flexibles entrecruzados parcialmente, lo que permite obtener un material capaz de deformarse frente a un estímulo mecánico pero recuperar su forma al cesar el estímulo. Es la estructura típica de la mayoría de los *elastómeros* como los cauchos sintéticos, por ejemplo el neopreno. En otros casos tenemos polímeros altamente entrecruzados que ni funden, ni se pueden disolver. Es la estructura más típica de los que se denominan *termoestables*, como las baquelitas o las resinas epoxi.

En los últimos años han surgido nuevas posibilidades estructurales y sin duda los que motivan mayor expectación son los polímeros dendríticos, aquellos en los que no hay una macromolécula lineal sino una altamente ramificada. Se asemeja al crecimiento de un árbol que va diversificando sus ramas a partir de un tronco. En el caso de crecer de forma regular a partir de un núcleo común, se obtiene una macromolécula monodispersa de estructura perfectamente definida, a la que denominamos dendrímico y que se caracterizan por tener un alto número



de grupos terminales. Los procesos sintéticos desarrollados para los dendrímicos son mucho más complejos y tediosos que los convencionales. Sin embargo, las expectativas despertadas son tales que ya hay varias empresas que los venden, así como usos comerciales en el campo de la Medicina.

Lo mencionado anteriormente hace referencia a polímeros que solo tienen una unidad repetitiva constitutiva. Pero en la preparación de los polímeros podemos emplear más de un monómero y por lo tanto tener varias unidades repetitivas (eslabones diferentes de la cadena). Son lo que se denominan copolímeros. El plástico del frontal de la lavadora o el lavavajillas de nuestra casa, o de la carcasa de nuestra televisión, es muy probablemente de ABS, un copolímero de Acrilonitrilo, Butadieno y estireno (*Styrene* en inglés). Según como

## Tipos básicos de copolímeros.

Figura cedida por los autores.

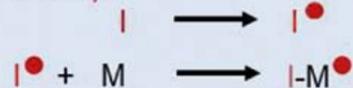
se distribuyen los "eslabones" en la cadena hay diferentes tipos de copolímeros, como se muestra en la figura para casos sencillos de dos eslabones.

## ALGO DE QUÍMICA MACROMOLECULAR

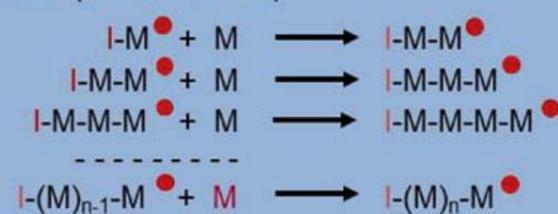
Los polímeros que conocemos y utilizamos habitualmente se sintetizan por procedimientos sencillos y eficientes. De acuerdo a la división realizada por Flory, los métodos de polimerización pueden clasificarse fundamentalmente en dos tipos: polimerización en cadena y polimerización por pasos.

## Polímeros: de macromoléculas a materiales

### Iniciación (I: Iniciador)



### Propagación (M: Monómero)



### Terminación



Representación esquemática del mecanismo de la polimerización en cadena vía radicales libres.

Figura cedida por los autores.

Las polimerizaciones en cadena, como su nombre indica, transcurren por un mecanismo en cadena que implica procesos de iniciación, propagación y terminación. Por esta vía se obtienen polímeros tan conocidos como las poliolefinas (polietileno o polipropileno, por ejemplo), los cauchos sintéticos diénicos, el poliestireno y derivados, el PVC o los poli(met)acrilatos entre otros. Todos estos ejemplos tienen en común que se parte de monómeros con dobles enlaces y la conversión de enlaces  $\pi$  en enlaces  $\sigma$ , proceso exotérmico que favorece la polimerización a pesar de la variación entrópica negativa del mismo (hasta una temperatura techo). La polimerización en cadena, vía radicales libres, es la más conocida. Este proceso requiere de una especie, a la que se denomina iniciador, que por efecto de la temperatura, la luz, una reacción redox, etc. da lugar a radicales libres que se adicionan al monómero, comenzando así el proceso de propagación y crecimiento de la cadena polimérica por adición su-

cesiva de monómero. Las macromoléculas que están en propagación tienen en su extremo un radical libre activo. La terminación se produce por reacción bimolecular de dos de estos macrorradicales y combinación de los mismos (aunque también es factible la desproporción) para dar lugar a macromoléculas o polímeros muertos, es decir no activos en el extremo, que es el producto final a comercializar.

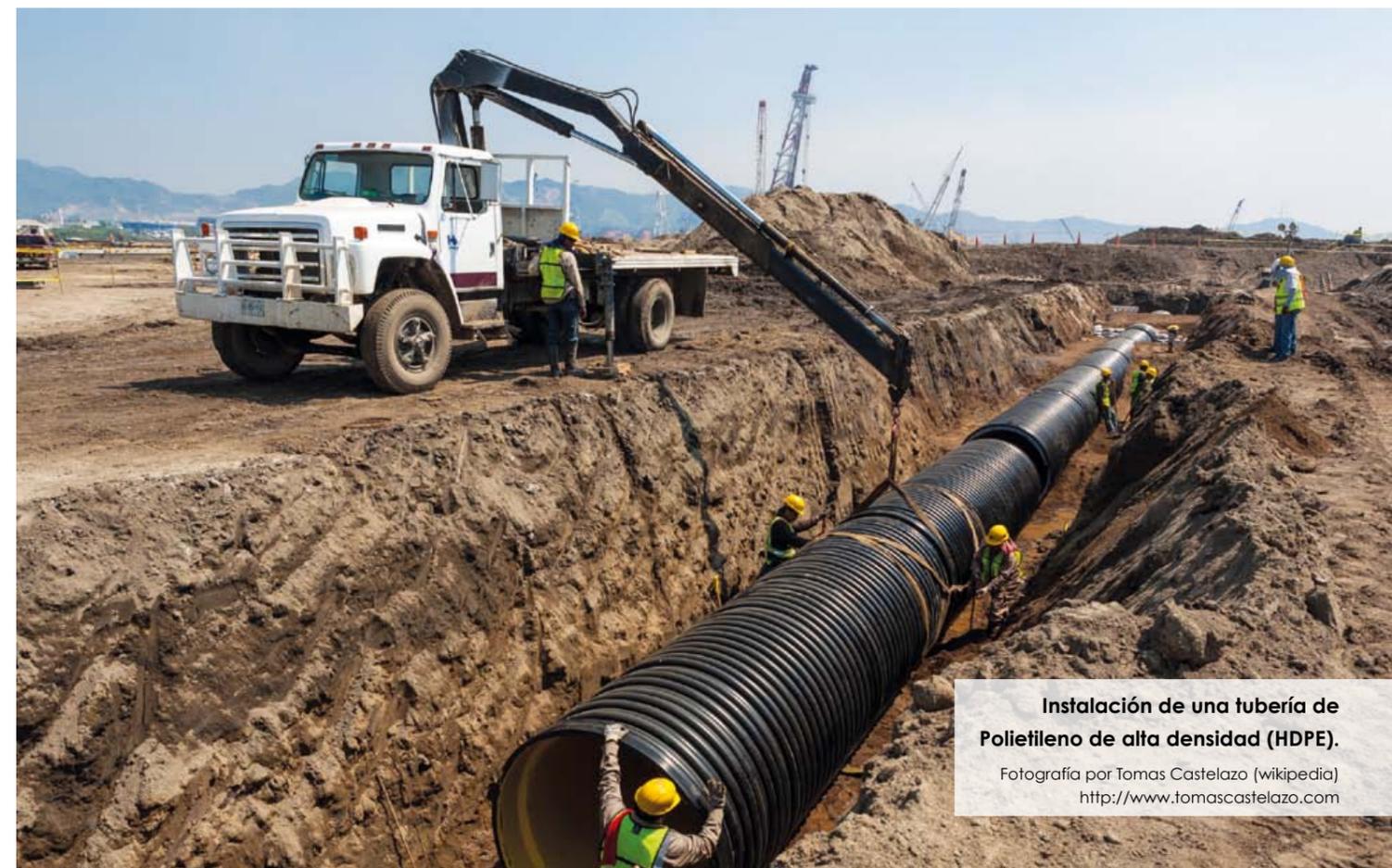
El polietileno comenzó a producirse por este método antes de la Segunda Guerra Mundial como fruto de un programa de investigación ¡básica! en ICI para explorar reacciones químicas a alta presión. Un accidente como la entrada de una pequeña cantidad de oxígeno (que actuaría de iniciador) al reactor, fue el origen de lo que conocemos como LDPE, el polietileno de baja densidad. Sin embargo, la estructura lineal de este polímero está salpicada de ramificaciones no controladas que son debidas a un proceso de transferencia de hidrógeno in-

tramolecular (*backbiting*) que genera un radical secundario más estable y que puede seguir propagándose. No es factible evitar esta transferencia de cadena mediante una polimerización vía radicales libres de etileno. Tampoco es factible la polimerización de propileno por esta vía para obtener polipropileno de alta masa molecular. Un estudiante de química puede fácilmente prever la causa: la transferencia de cadena al monómero para obtener radicales alilo, más estables que el macrorradical en propagación. ¿Cómo se obtiene entonces el polipropileno tan extendido hoy en día?, ¿cómo

se obtiene un polietileno lineal? De nuevo un accidente y unas mentes privilegiadas dieron con la solución.

La contaminación de un equipo en el laboratorio de Karl Ziegler, especializado en catálisis, estuvo en el origen de la producción de polietileno de alto peso molecular en condiciones menos estrictas que el método de ICI, y con una estructura esencialmente lineal (el HDPE o polietileno de alta densidad). Fue la primera gran contribución de la Química Organometálica al campo de los polímeros. La polimerización en cadena por coordinación, y los catalizadores de Ziegler para la producción de etileno, fueron posteriormente aplicados por Giulio Natta a la polimerización de propileno, tras escuchar una conferencia de Ziegler en Alemania. Curiosamente, Giulio Natta pensaba que la presencia de

**“Hoy por hoy, el PP isotáctico y el HDPE son los polímeros de mayor producción y consumo.”**



Instalación de una tubería de Polietileno de alta densidad (HDPE).

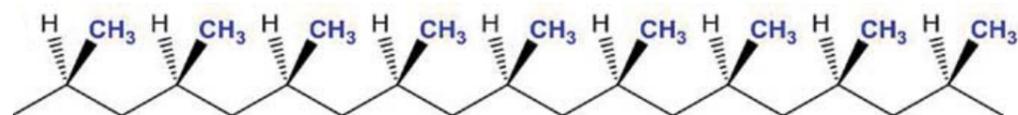
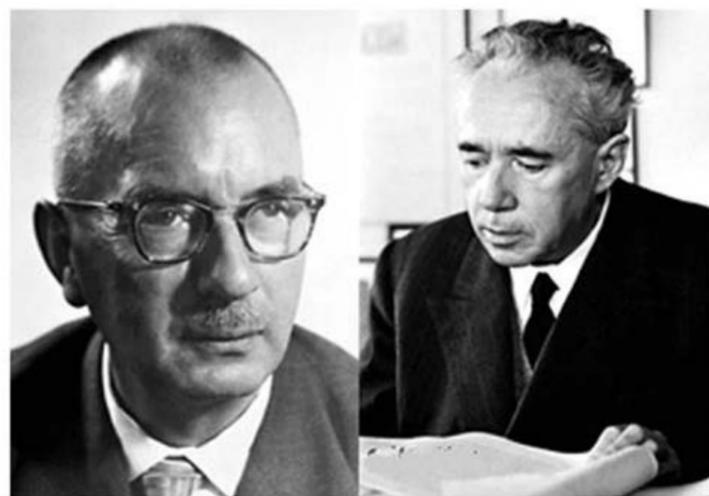
Fotografía por Tomas Castelazo (wikipedia)  
<http://www.tomascastelazo.com>

## Polímeros: de macromoléculas a materiales

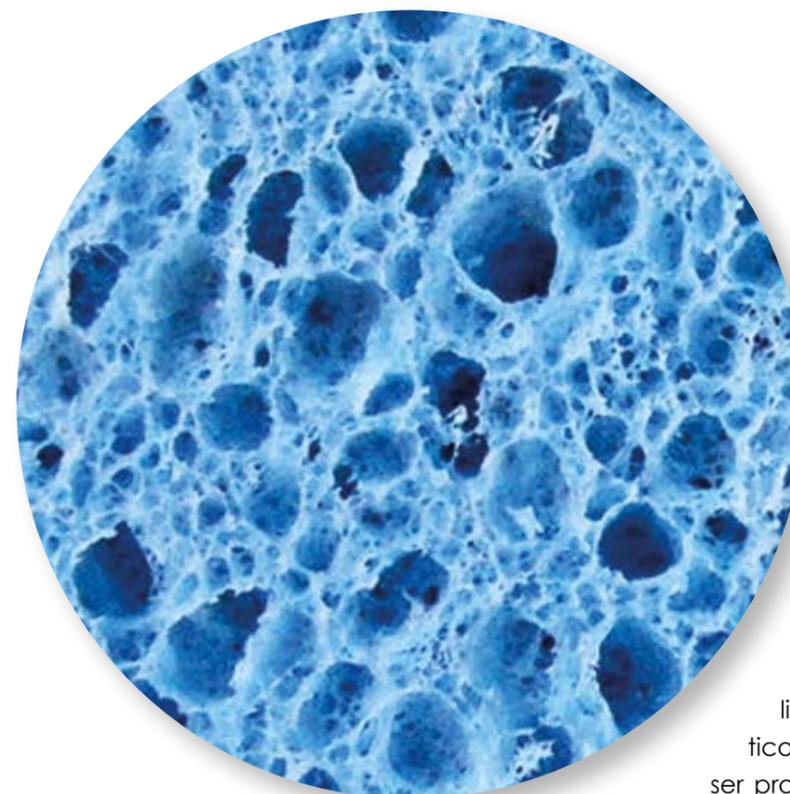
grupos metilo (-CH<sub>3</sub>) daría lugar a un polímero amorfo y flexible (una especie de caucho) a temperatura ambiente. Sin embargo se encontró con un polímero sólido y cristalino! El estudio por difracción de rayos X puso de manifiesto la estructura helicoidal de la macromolécula. La razón solo podía estar en el control de la estereoquímica. Es decir, los grupos metilo no podían estar dispuestos de cualquier manera en la macromolécula, sino que debían mantener alguna estereorregularidad. En efecto, el polipropileno obtenido es isotáctico: en una conformación todo-trans de la macromolécula,

### Ziegler, Natta y estructura del polipropileno isotáctico.

es.wikipedia.org (arriba) / Figura cedida por los autores (abajo).



los grupos metilo se disponen de igual manera. Surgía así la posibilidad de obtener polímero de estereoquímica controlada. No vamos a profundizar en estos aspectos apasionantes en la Química Macromolecular pero sí conviene remarcar la enorme transcendencia de estos descubrimientos que supusieron, de entrada, el premio Nobel compartido para Ziegler y Natta y, de paso, una intensa y fructífera actividad en el desarrollo de nuevos catalizadores. Hoy por hoy, el PP isotáctico y el HDPE son los polímeros de mayor producción y consumo. Además, con esta historia podemos apoyar algo que siempre enseñamos a nuestros estudiantes: la importancia del cuaderno de laboratorio y de su correcta cumplimentación. Por las fechas en que se desarrollaron los catalizadores de Ziegler, y se aplicaron por Natta a la polimerización de PP isotáctico, Banks y Hogan desarrollaron en



### España de poliuretano.

<http://recursoswebyseo.com>

el monómero, podemos obtener polímeros activados en su extremo (polímeros vivos), que pueden iniciar la polimerización de un segundo monómero. Así se obtuvieron los copolímeros bloque que fueron aplicados en la industria para comercializar los primeros elastómeros termoplásticos, materiales tipo caucho que pueden ser procesados con la misma tecnología que los termoplásticos. Hoy por hoy, los químicos orgánicos han desarrollado polimerizaciones radicalarias vivas con las que también es posible obtener copolímeros bloque. ¿Cuál es su interés? En una misma macromolécula estamos combinando dos (o más) macromoléculas de diferente naturaleza química, por lo que tenderán a segregarse. Dada la unión entre ambas, esta segregación se produce a escala nanoscópica, lo que se aprovecha para la preparación de nanomateriales de diversos tipos.

No nos olvidamos del otro tipo de mecanismo general: la polimerización por pasos. En esta categoría caen los poliésteres, las poliamidas, los poliuretanos, los poliéteres o los policarbonatos, por ejemplo. Realmente el mecanismo es simple: se trata de una reacción orgánica convencional (por ejemplo, una esterificación) que se repite muchas veces para ir engarzando unidades repetitivas entre sí. En este caso, suele ser frecuente la presencia de un subproducto de reacción que es necesario eliminar del medio. Esta eliminación (una simple aplicación del principio de Le Châtelier para desplazar el equilibrio) y un estricto control de la estequiometría son claves en el éxito de estas polimerizaciones que debemos a los trabajos iniciales de Carothers.

EEUU un catalizador de cromo para polimerizar etileno en Philips Petroleum Co. También lo aplicaron a propileno, pero obtuvieron un producto cristalino con bajo rendimiento que no fue explorado mucho más allá de su síntesis. Eso sí, anotaron en su cuaderno esta obtención de polipropileno cristalino. Posteriormente, hubo una larga y enconada disputa en los tribunales de EEUU por definir el inventor del PP isotáctico... esas notas en el cuaderno decantaron el veredicto (y muchos millones de dólares) hacia Philips Petroleum Co.

Hay un tipo más de polimerización en cadena: la iónica. En este caso, las especies propagadoras no son macromoléculas que "portan" en su extremo de cadena no un radical libre, sino una carga ya sea positiva (polimerización catiónica) o negativa (polimerización aniónica). Las polimerizaciones iónicas, y en particular la aniónica que es más utilizada, requieren de condiciones muy estrictas de polimerización: disolventes y monómeros de alta pureza, atmósfera inerte, baja temperatura... Pero tienen una ventaja: no se produce la reacción bimolecular de terminación como en el caso de los macrorradicales por lo que, una vez consumido

## Polímeros: de macromoléculas a materiales

Para finalizar este repaso a la Química Macromolecular, volvemos la vista de nuevo a la época en que Staudinger propuso su hipótesis macromolecular. Por aquel entonces Maurice Lemoigne, director del laboratorio de fermentación del Instituto Pasteur de París, describe la producción eficiente de una reserva de "lípidos" por diferentes tipos de bacterias. Su primer trabajo fue de 1923, y cuatro años más tarde publica el aislamiento de un sólido que describe como un polímero del ácido 3-hidroxibutírico. Estos trabajos fueron publicados en una revista francesa de poco impacto, en una época en la que los microbiólogos no mostraban mucho interés en los lípidos y en la que además los químicos orgánicos rechazaban que existieran los polímeros. Quizás por todo ello su trabajo fue postergado hasta los años 80,

cuando ICI lanza un nuevo poliéster termoplástico producido por técnicas de fermentación a gran escala, el Biopol. La Biotecnología y la Química Macromolecular se aliaban para la preparación de poliésteres biodegradables: los polihidroxialcanoatos. Los mismos que ya describió Lemoigne. Hoy por hoy, y por procedimientos sintéticos diversos, son varios los polímeros de este tipo que podemos encontrar en el mercado,

y que suponen una alternativa a los polímeros de origen petroquímico. Por ejemplo, las suturas que utilizan los cirujanos en los hospitales suelen ser de este tipo de polímeros. Se empezó a vislumbrar que existe una alternativa, basada en fuentes renovables, a los polímeros convencionales. En realidad, esta alternativa siempre ha estado presente, por ejemplo en los polímeros de origen vegetal, y de hecho la investigación en nuevos polímeros a partir de monómeros de biorrefinería es una de las más activas en estos momentos en Química Macromolecular.

### Y QUÉ MÁS PODEMOS HACER CON LOS PLÁSTICOS

En este pequeño resumen que hemos hecho de los principios químicos de los polímeros, y algo de su historia inicial, se han ido mencionando polímeros conocidos por todos nosotros y que somos capaces de relacionar con objetos cotidianos. Sin embargo, hay aplicaciones de estos materiales que nos pueden resultar más sorprendentes. Con polímeros se pueden preparar fibras de elevada resistencia competitivas con materiales no orgánicos. Es el caso del Kevlar, cuya bonita historia daría para otro artículo en homenaje a esa gran química que fue Stephanie Kwolek. Ya conocemos usos de esta poliamida aromática en la industria militar o de

protección balística en cuerpos de seguridad, pero también encontramos esta fibra en materiales compuestos con los que se hacen numerosos artículos deportivos. El Nomex, un polímero análogo (isómero) al Kevlar, se utiliza en la fabricación de tejidos resistentes al fuego de uso por bomberos o pilotos de Fórmula 1, en los que un traje ligero que les permita resistir a temperaturas de centenares de grados durante un cierto tiempo es la diferencia

entre la vida y la muerte. Y si hablamos de Fórmula 1, en los habitáculos de seguridad de los monoplasas podemos encontrar el Zylon, un polímero capaz de soportar temperaturas de hasta 650°C, además de tener una gran resistencia y, por supuesto, baja densidad, propiedad crítica en este deporte.

Se han descrito polímeros semiconductores que pueden sustituir a los inorgánicos en determinadas aplicaciones optoelectrónicas. O incluso polímeros capaces de emitir luz al ser

excitados con una corriente eléctrica, de igual manera a como lo hace un LED convencional. Con este tipo de polímeros se han hecho pantallas flexibles y con espesor tan ridículo que el adjetivo plana, para una pantalla, empieza por fin a cobrar significado. Si nos vamos al campo de la Medicina, son muchas las aplicaciones que podemos encontrar desde las ya mencionadas suturas biodegradables a hidrogeles en el campo oftalmológico (¡recuerden a Ridley y el uso del PMMA como lente intraocular!) o bien polímeros aplicados en prótesis articulares. Esto es ya es de uso común. Sin embargo, la investigación en sustratos activos para ingeniería de tejidos, o en la preparación de fármacos inteligentes basados en polímeros, es muy activa y promete avances en los próximos años. De hecho, salvo el cerebro, es difícil encontrar un órgano o tejido para el que no se haya propuesto, o sea ya una realidad, un polímero para contribuir a su reparación o sustitución.

En definitiva, los polímeros aportan soluciones en todos los campos tecnológicos y complementan a las aportadas por otros materiales. Y los problemas medioambientales que se les adjudican (el que contamina no es el plástico, es el ser humano) pueden y deben ser paliados con una educación en el uso racional y en la adecuada gestión y reciclado de estos materiales.

Milagros Piñol y Luis Oriol

Dpto. de Química Orgánica  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

**“Los polímeros aportan soluciones en todos los campos tecnológicos y complementan a las aportadas por otros materiales.”**



# LA EDUCACIÓN...

# ...UN PROYECTO GLOBAL DESDE LA FACULTAD DE CIENCIAS

*Con los estudiantes de Secundaria y Bachillerato.*

**Jornadas de Puertas Abiertas**

**Visita de Profesores a Centros de Secundaria**

**Semana de Inmersión**

**Campamentos Científicos (FECYT)**

**Jornadas de Acogida**

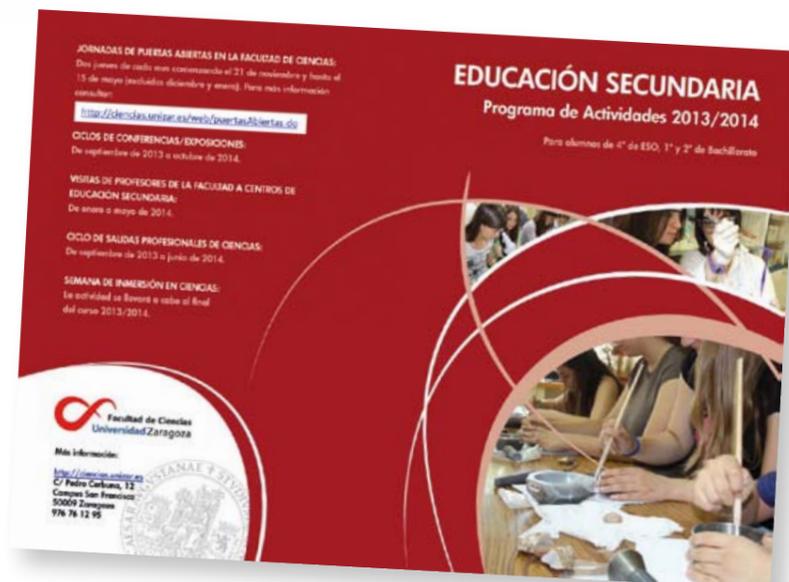
**Cursos Cero**

**Plan Tutor**

**Cursos de Formación**

**Ciclo de Salidas Profesionales**

*Con nuestros estudiantes.*



*Con nuestros titulados.*

**Ciclo de Salidas Profesionales**

**Ciclos de Conferencias**

**Bolsa de Empleo**

**Puentes de Comunicación con nuestros Antiguos Alumnos**



# **GEOLOGÍA PARA UNA *NUEVA CULTURA DE LA TIERRA***

“Los humanos, una especie animal más entre los millones que pueblan y han poblado la Tierra, somos unos recién llegados a este hogar común y no podemos arrogarnos el derecho a ser sus administradores únicos.”

**POR JOSÉ LUIS SIMÓN**

## Geología para una Nueva Cultura de la Tierra

**A** finales del pasado año, quien esto suscribe tuvo el inmenso honor de recibir en nuestra Facultad el Premio José María Savirón de Divulgación Científica en su modalidad de ámbito aragonés. Mi candidatura fue promovida por el Colegio de Geólogos de Aragón, más por amistad de sus dirigentes que por méritos personales míos, sin duda. Lo que sigue son algunas reflexiones en las que me sumergí a raíz de ese hecho, y que plasmé en parte en el breve discurso de agradecimiento que tuve la oportunidad de pronunciar en el acto de entrega.

En la concesión del premio veo el respaldo a un todo movimiento colectivo, al que yo llamo *Geología popular*, desarrollado en las últimas dos décadas en España y en muchas partes del mundo. No es la labor de una persona sola, sino

un sentir y un talante que cada vez están calando más en la comunidad de profesionales de la Geología, y un mensaje que la sociedad comienza a recibir cada vez con mayor nitidez. Uno de sus pilares básicos es el descubrimiento, por parte de los geólogos, del enorme potencial que tiene la divulgación hecha directamente, de persona a persona, sobre el terreno. Es algo que los profesores universitarios hemos tenido siempre claro en el ámbito docente: las prácticas de campo han sido y serán siempre la fuente principal de aprendizaje significativo. Pero no era tan evidente en el ámbito divulgativo; parecía que lo único capaz de "enganchar" a una audiencia lega en la materia eran espectaculares fotografías o documentales televisivos sobre terremotos y erupciones volcánicas, o relatos más o menos novelados sobre dinosaurios. La *Geología popular* preconiza que cualquier paisaje aparentemente anodino es

fuente de conocimiento, que cualquier roca anónima guarda las claves de una parte de la historia de la Tierra. Solo hay que saber descifrarlas y, para ello, nada mejor que la transmisión oral, personal y directa de quienes las conocen: los científicos. En ocasiones he asistido a experiencias de este tipo que tenían el tinte casi de un rito iniciático. He visto a una profesora de Enseñanza Media, participante en el Curso de Geología Práctica de la Universidad de Verano de Teruel, casi llorar de emoción a la vista de las grandiosas dolinas de Villar del Cobo, en la Sierra de Albarracín: llevaba años explicando a sus alumnos qué era una dolina, pero ella misma solo las había visto en fotografías.

Pero quiero pensar que el premio reconoce asimismo otra vertiente de la divulgación científica que muchos geólogos queremos cultivar, y que reivindicamos como una continuación natural y obligada de la anterior. Me refiero a la vertiente crítica, a la Ciencia que nos interroga, al saber que nos hace libres. Tristemente, en pleno siglo XXI, tenemos a veces la sensación de estar en una "sociedad del desconocimiento", casi del oscurantismo, más que en la *Sociedad del Conocimiento* que insistentemente se pregona. Lo vemos en el predicamento que tienen las pseudociencias, con su cohorte de adivinos y chamanes. En relación con la Geología, lo vemos con frecuencia en la actitud de nuestros gobernantes ante determinadas catástrofes naturales y en su nula capacidad de abordar con rigor una gestión preventiva de las mismas. Se ignoran los peligros, se arremete contra la Tierra con obras innecesarias o innecesariamente agresivas que interfieren con su dinámica, y luego se lamentan de las consecuencias con mensajes tópicos que emanan del fatalismo precientífico: "Quién iba a poder pensar que algún día ocurriría... Ni los más viejos del lugar..."

En el último año, varios temas intrínsecamente geológicos han estado de actualidad y han sido motivo de controversias sociales y políticas, algunos de ellos en relación directa con el territorio de Aragón. Podemos citar los proyectos de extracción de gas del subsuelo mediante la técnica de fracturación hidráulica o *fracking*, con potenciales impactos medioambientales en superficie y en los acuíferos cuyo alcance es difícil de controlar.



**Cualquier roca anónima guarda las claves de una parte de la historia de la Tierra. Conglomerados del Triásico inferior en Peracense, Sierra de Albarracín.**

Fotografía cedida por el autor.

**“Las prácticas de campo han sido y serán siempre la fuente principal de aprendizaje significativo.”**



**Comunicar conocimientos y experiencia directamente sobre el terreno. Curso de Geología Práctica de la Universidad de Verano de Teruel.**

Fotografía cedida por el autor.

## Geología para una Nueva Cultura de la Tierra

También ha sido polémico el asunto del riesgo sísmico del proyecto del nuevo hospital general de Teruel; si bien el mero cumplimiento de la normativa vigente hizo que esa amenaza fuese desestimada al redactar una primera versión del proyecto constructivo, las evidencias científicas han hecho que la administración autonómica finalmente haya decidido modificarlo. Con menor fortuna, geólogos de dentro y fuera de nuestra Universidad llevan tiempo clamando contra el despropósito que significan las ac-

**“El geólogo es visto como ese molesto Pepito Grillo que continuamente ve peligros y pone obstáculos a los proyectos de desarrollo.”**



tuaciones llevadas a cabo para el recrecimiento del embalse de Yesa, que tratan inútilmente de luchar contra la inestabilidad recurrente de las laderas que soportan la presa. Parecido es el caso de las dolinas o simas de Zaragoza, un fenómeno de hundimiento del terreno frecuente y conocido desde tiempo ancestral, pero ignorado en algunas de las etapas de expansión urbanística de la ciudad; la reciente declaración de ruina de un bloque de viviendas en la Avenida de las Estrellas del barrio de Valdefierro es solo el último de una larga serie de lamentables ejemplos. No muy lejos geográficamente, la sismicidad inducida por la inyección de gas en el almacén Castor, situado en la plataforma marina frente a la costa castellonense, ha puesto de manifiesto cómo algunas actuaciones humanas en el subsuelo se realizan sin conocimientos suficientes que permitan prevenir los posibles “daños colaterales”. Finalmente, de allende el Atlántico llegan ecos del contencioso entre una empresa constructora española y las autoridades del Canal de Panamá por una inadecuada evaluación de las condiciones geológicas del terreno, que puede hacer que las obras de ampliación disparen sus costes o puedan, incluso, quedar interrumpidas.

.....

**Nuestro planeta es un sistema dinámico formado por diferentes subsistemas: tierra, agua, aire, vida... Hace 3500 millones de años, una incipiente biosfera representada por tapices de cianobacterias fijaba carbonato cálcico y construía ya litosfera. Ejemplar de estromatolitos expuesto en el Parque de las Ciencias, Granada.**

Fotografía cedida por el autor.



**Nuestra Sociedad del Conocimiento no debería ignorar o minusvalorar los efectos de procesos geológicos que pueden comportar riesgos. Dolina en Luceni, Zaragoza.**

Fotografía cedida por el autor.

Todos estos casos tienen un nexo común: la lastimosa imprevisión o manipulación de los estudios geológicos previos, propiciada por procedimientos y controles administrativos que seguramente necesitan profundas revisiones, pero también por una falta de cultura científica, en primer lugar, de muchos de quienes tienen que tomar decisiones al más alto nivel. Tras ese déficit técnico inicial, polémicas desenfocadas y estériles sustituyen con frecuencia a los debates serenos y bien documentados. En lugar de escuchar y creer a los científicos, con frecuencia se usan sus informes o sus llamadas de alerta como arma arrojadiza en la arena política. El geólogo es visto como ese molesto Pepito Grillo que continuamente ve peligros y pone obstáculos a los proyectos de desarrollo; se ignora que las acciones preventivas contribuyen al éxito de los mismos más que el afán ciego de llevarlos a término a cualquier precio.

“Maldigo la poesía concebida como un lujo cultural por los neutrales... Maldigo la poesía de quien no toma partido hasta mancharse”. Donde dice poesía, bien podría decir ciencia. Parfraseando a Gabriel Celaya, me atrevo

### Manifiesto “Geología para una Nueva Cultura de la Tierra”

Las asociaciones, colectivos y personas que firmamos el presente manifiesto lo hacemos movidos por el respeto hacia el patrimonio geológico como parte de nuestra naturaleza irrepetible y de nuestra identidad territorial.

Observamos que las sociedades avanzadas valoran cada vez más la cultura científica de la Tierra. La gea se descubre como auténtico laboratorio de divulgación, aprendizaje y recreo, y la exploración de sus secretos se incorpora a la oferta del turismo cultural y el eco-turismo. Algunas administraciones públicas dan ya a esta realidad emergente un estatus legal con la declaración de Lugares de Interés Geológico o con la incorporación de los conceptos de geodiversidad y geoparque a la legislación protectora del medio natural.

Sabemos que la Geología ha tenido un papel destacado en la exploración y explotación de los recursos del subsuelo, y que ha apoyado a la Ingeniería en la construcción de las grandes infraestructuras civiles que vertebran y nutren el sistema socio-económico. Pero en nuestra Sociedad del Conocimiento, declaramos la necesidad de una ciencia al servicio no solo del desarrollo y la innovación, sino también de la sostenibilidad, la salud y la armonía del planeta.

En este contexto, creemos que la Geología cobra una dimensión formidable como ciencia que nos permite comprender la dinámica de la Tierra, el tempo y la escala de sus procesos, y también las consecuencias de nuestra intrusión en ellos. Así, las ciencias de la Tierra irrumpen en campos

## Geología para una Nueva Cultura de la Tierra

a afirmar que la Geología es un arma cargada de futuro. Cada vez es más necesaria una ciencia comprometida no con el poder y con el ídolo de oro del crecimiento sin límites, sino con la liberación y el bienestar real del ser humano; una ciencia que sea parte sustancial de la cultura en una sociedad sabia, no instrumento de dominación de una sociedad embrutecida. En el caso concreto de la Geología, una ciencia al servicio de la conservación y defensa del medio ambiente y del patrimonio natural y cultural, y no de su explotación sin medida. Una ciencia que ayude a comprender la dinámica del planeta que habitamos y con el que debemos mantener una convivencia "civilizada".

Ese es el mensaje central del manifiesto "Geología para una Nueva Cultura de la Tierra", que fue elaborado en 2011 por un grupo de investigadores y profesionales vinculados a las Ciencias de la Tierra y ha sido suscrito, entre otras entidades, por la Sociedad Geológica de España, la Asociación Española para la Enseñanza de Ciencias de la Tierra y el Colegio de Geólogos de Aragón. El alumbramiento de di-

**“Cada vez es más necesaria una ciencia comprometida con la liberación y el bienestar real del ser humano.”**



Con frecuencia, la explotación de los recursos del subsuelo se hace sin el debido respeto al paisaje y al medio ambiente. Cantera de arcilla en Galve, Teruel.

Fotografía cedida por el autor.



Los Geoparques constituyen una vía eficaz y amable para acercarnos a la cultura de la Tierra. Stand del Geoparque de Naturtejo, Portugal, en una feria de turismo.

Fotografía cedida por el autor.

cho documento se produjo en la primera edición de una jornada cultural que se organiza anualmente en un pequeño pueblo del Teruel interior, Aguilar del Alfambra. El lema de aquella edición fue precisamente "La Geología en la Sociedad del Conocimiento". No es casualidad que la gestación de una iniciativa de este tipo se produjera en un escenario tan poco académico. Más bien es una metáfora de cómo este movimiento nace no solo de la comunidad científica, sino de un estrato más básico, de la gente que habita y redescubre el territorio. También nos recuerda que nuestra moderna Sociedad del Conocimiento no debería perder demasiado de vista a esa otra Sociedad del Sentido Común que forjaron generaciones anteriores a la actual y de la que nuestro medio rural conserva aún muchas esencias.

Los firmantes de este manifiesto no son pioneros en la defensa de esta forma de relacionarse con nuestro planeta. Son continuadores de quienes impulsaron otras formula-

nuevos como la protección ambiental y la prevención de catástrofes naturales, a la vez que aspiran a superar la incomprensión con que nuestra sociedad recibe a veces sus aportaciones cuando éstas contravienen los intereses dominantes.

Hoy sabemos que no es posible nuestra supervivencia como especie sin una adaptación inteligente a la dinámica del planeta. Por ello, constatamos con preocupación los cambios drásticos que afectan a este, como el calentamiento global o la pérdida acelerada de biodiversidad. Los geólogos y paleontólogos podemos valorar la gravedad de

## Geología para una Nueva Cultura de la Tierra

ciones con el mismo espíritu, como la Carta de la Tierra de la UNESCO o la Nueva Cultura del Agua. Los orígenes de la Carta de la Tierra se remontan a la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992, si bien hasta marzo de 2000 no se aprobó el texto definitivo. Su belleza y sentido utópico se plasman en aseveraciones como la necesidad de "asegurar que los frutos y belleza de la Tierra se reserven para las generaciones presentes y futuras", o el deber de "manejar la extracción y el uso de los recursos no renovables, tales como minerales y combustibles fósiles, de forma que se minimice su agotamiento y no se causen serios daños ambientales". La Declaración Europea

por una Nueva Cultura del Agua se promulgó en 2005, pero comenzó a fraguarse en 1998 durante el Congreso Ibérico del Agua que tuvo lugar en Zaragoza. Muchos de los valores que defiende para la hidrosfera son extrapolables a la geosfera: "Se precisan cambios radicales en nuestras escalas de valores, en nuestra concepción de la naturaleza, en nuestros principios éticos y en nuestros estilos de vida; es decir, existe la necesidad de un cambio cultural."

Una decidida apuesta por la educación medioambiental, junto con una sana crítica ciudadana a la gestión que desde los poderes públicos se hace

del territorio y de sus recursos naturales, pueden conducir a nuestra Sociedad del Conocimiento a una relación de cordialidad con el planeta vivo que es la Tierra. Las herramientas y capacidades que hay que poner en juego no son costosas: formación, participación, solidaridad, cooperación y un profundo respeto a la naturaleza y a las interacciones constructivas del ser humano con ella. La divulgación de la Geología entendida en toda su profundidad es una contribución imprescindible para esa tarea.

José Luis Simón

Dpto. de Ciencias de la Tierra  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

dichos cambios en el contexto de la historia de la Tierra y de la Vida, y ayudar a discernir la responsabilidad que el ser humano tiene en ellos.

Reconocemos que, desde hace milenios, la minería ha sido una actividad profundamente transformadora del medio físico y de las colectividades humanas. Nos ha provisto de materias primas con las que hemos construido herramientas y viviendas, nos ha ayudado a sobrevivir y ha favorecido el desarrollo de nuestra economía y nuestra cultura. Pero también ha producido un hondo deterioro en los paisajes y en las relaciones sociales; de la mano del colonialismo, en todas sus facetas y etapas históricas, la codicia desmedida que con frecuencia desata ha levantado y hundido la economía de regiones y países, ha devastado territorios y ha esclavizado pueblos. En un mundo que comienza a ver la necesidad de ajustar el crecimiento a los límites que imponen el tamaño y los recursos del planeta, a la vez que proclama el valor universal de los derechos humanos, no entendemos que la explotación de recursos minerales pueda seguir practicándose en el siglo XXI bajo los supuestos y principios de antaño.

Por todo ello, manifestamos, que se hace necesaria una Nueva Cultura de la Tierra, una nueva mirada sobre nuestro planeta que sustituya la depredación de sus recursos materiales por la búsqueda honesta de la sabiduría que emana; que reemplace la prioridad del beneficio de quien explota y comercializa los recursos por el derecho de la humanidad a su bienestar; que sustituya el espejismo de su explotación ilimitada por la conciencia de su finitud; que descubra el inmenso beneficio que nos reporta nuestra colaboración con este planeta que nos acoge.

Una Nueva Cultura de la Tierra que es también nueva cultura del Agua, del Clima y de la Vida. Geosfera, hidrosfera, atmósfera, biosfera y antroposfera deben integrar un sistema en equilibrio o colapsarán por el eslabón más débil. Los humanos, una especie animal más entre los millones que pueblan y han poblado la Tierra, somos unos recién llegados a este hogar común y no podemos arrogarnos el derecho a ser sus administradores únicos. Mucho menos, a malbaratarla como si nuestra generación hubiere de ser la última en habitarla.

Armonía y relación cordial con el planeta vivo que es la Tierra: claves de nuestra supervivencia como especie. Embalse de Vadiello, Huesca.

Fotografía cedida por el autor.

# Publicaciones de la Facultad de Ciencias...

## INSTRUMENTA

Colección permanente de instrumentos históricos de laboratorio de la Facultad de Ciencias, Universidad de Zaragoza.

### Estufa de cultivo

Consiste en un armario metálico termalizado que se utiliza principalmente para cultivos microbianos. Su función es proporcionar la temperatura adecuada y, durante el tiempo necesario, a los cultivos, para que se desarrollen.

En el interior lleva dos bandejas para soporte de las materias y en la cubierta superior un agujero para introducir el termómetro. El armario tiene pared doble y la cámara intermedia es accesible por un conducto para su relleno con agua y otro aislado. En la superficie inferior dispone de un disco metálico a través del cual, mediante barniz, se puede controlar el líquido termalizado.

La estufa se apoya sobre un armazón metálico de hierro con cuatro patas.

FABRICANTE: P. de Azavedo (Madrid, España).  
 PERÍODO: 1ª mitad del siglo XX.  
 UBICACIÓN: Museo de Historia, Universidad.  
 PROCEDENCIA: Museo de Historia, Facultad de Ciencias.  
 MATERIALES: madera, hierro, cristal, barniz.  
 REFERENCIAS: [1] 240.

### Galvanómetro d'Arsonval

Las invenciones de este tipo de galvanómetro son Jacques D'Arsonval (1851-1942) y Marcel Deprez (1843-1916). En el diseño, la bobina consta de muchas vueltas de hilo delgado y está sujeta sobre un eje espiral que sirve para recuperar y dar al circuito. El par magnético es mayor a giro de la bobina, situando un núcleo cilíndrico de hierro dulce en el centro, y haciendo órbitas y concéntricas con aquél las caras pólicas del iman.

Siendo el par magnético proporcional a la corriente que circula, y el par recuperador al ángulo girado, en equilibrio, la deflexión angular es también proporcional a la corriente.

Un haz de luz proveniente de una pequeña lámpara se refleja en un espejo solitario a la bobina, reflejándose sobre una escala externa.

FABRICANTE: Salmeteron (Barcelona, España).  
 PERÍODO: primera mitad del siglo XX.  
 UBICACIÓN: Museo de Historia, Facultad de Ciencias.  
 PROCEDENCIA: Museo de Historia, Facultad de Ciencias.  
 MATERIALES: acero, latón, vidrio.  
 REFERENCIAS: [1] 241.

### Triquinoscopio

Es un microscopio compuesto de moderada resolución. A mediados del siglo pasado, se inventó la técnica (denominada también como la cámara de graves ordenadas) en el que, gracias a la introducción del parabolo se pudo conseguir imágenes de alta resolución en grandes volúmenes, y se formó que ocurrió a medidas preventivas.

Una buena posibilidad de detección es el examen detallado de las preparaciones obtenidas de muestras de determinados partes de la muestra. Para ello, se emplean utilizando microscopios con objetivos de bajo o media resolución. Microscopios, con objetivos x40 para estudios celulares y x100 para el control en casos de duda.

FABRICANTE: desconocido.  
 PERÍODO: finales del siglo XIX.  
 UBICACIÓN: Museo de Historia, Facultad de Ciencias.  
 PROCEDENCIA: Museo de Historia, Facultad de Ciencias.  
 MATERIALES: metal, vidrio, madera.  
 REFERENCIAS: [1] 242.



### PALMERA DATILERA, Phoenix dactylifera

La más conocida de las palmeras es la palmera datilera, que fue introducida en España en tiempos peninsulares. Es una especie que desarrolla el desarrollo pero que crece en alturas en las regiones españolas de clima más benigno. No es Zaragoza una de ellas, si se exceptúan, desde palmeras que crecen en las ciudades, aunque no muchas. Las pocas que hay, si bien pueden dar fruto, no logran que dicho fruto, en otros muchos, tiene poco o casi ninguna palmera de esta especie en el Campus, pero está una planta junto al edificio de Geología.

El primer ejemplar de palmera datilera en el Campus, junto al edificio de Geología (Fac. de Ciencias).

### PALMERA DE CALIFORNIA, Washingtonia filifera

Esta hermosa palmera se produce en las ciudades, pero se distingue de ellas por su mayor desarrollo, son como gruesas y más altas y hojas más grandes. Como indica su nombre, proviene del oeste de los Estados Unidos para ser cultivada en el clima mediterráneo y, por ello, se ha introducido en muchas ciudades españolas. En Zaragoza no es así, pero la mayoría de los ejemplares son jóvenes. También se ven los 4 ejemplares que se encuentran en el parque de la plaza de San Francisco y junto a la Facultad de Historia y Letras. Con el tiempo pueden convertirse en árboles muy bellos.

Foto: [1] 243

### MIROBALANO, Prunus cerasifera

A diferencia de los otros miembros del género, el mirobalano, o ciruelo pájaro, no es un árbol frutal pues da poco fruto o no lo da en absoluto. Y, en cambio, es la especie más abundante de este grupo, tanto en la ciudad como en el Campus. Ello se debe a su importancia como árbol ornamental a causa de su hermosa floración de profunda color púrpura. Se trata de una variedad obtenida artificialmente a finales del siglo XIX y, desde entonces, introducida en buena parte de los parques y jardines urbanos del mundo. Es muy frecuente en Zaragoza, y en el Campus se cuentan 23 ejemplares, algunos bien desarrollados para la especie.

Decorativo (fruta púrpura o mirobalano), entre los edificios de Matemáticas y Geología. A la derecha, detalle de sus flores durante la primavera.

Foto y datos: [1] 244, [2] 245, [3] 246.

