



con CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/aux/conCIENCIAS/numero6.pdf>

Nº 6 NOVIEMBRE 2010

¿CIENCIAS? ¿HUMANIDADES?...
¡CULTURA!



Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Enrique Manuel Artal Bartolo
- Blanca Bauluz Lázaro
- Javier Fernández López
- Ángel Francés Román
- 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

IMPRESIÓN: Gráficas LEMA, Zaragoza.

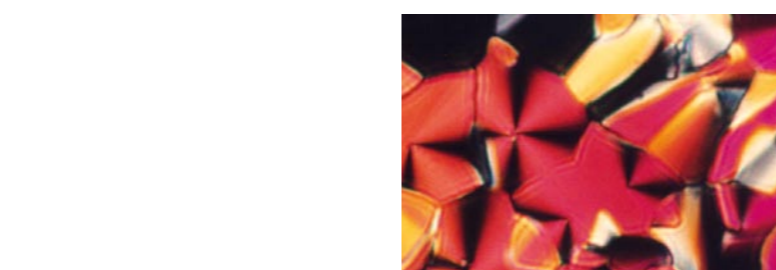
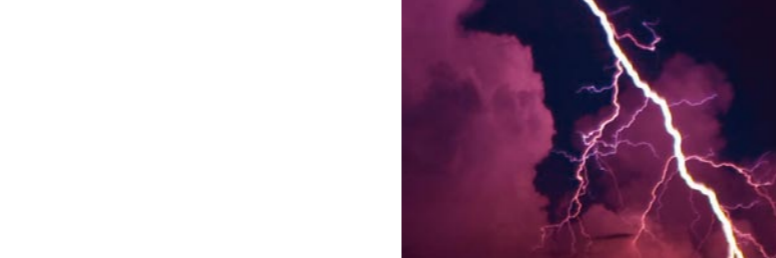
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: La Aljafería (Zaragoza); fotografía por Víctor Sola.

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



Editorial	4
<u>El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra</u>	6
Laia Alegret, Ignacio Arenillas y José Antonio Arz	
<u>La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI</u>	14
José Luis Corral	
<u>Hablando de... Química</u>	24
Ana Isabel Elduque	
<u>Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos</u>	32
Maite Echeverría, Fernando Pérez, Paloma Ibarra y Juan Ramón de la Riva	
<u>Un personaje singular en la historia de la meteorología: Benjamin Franklin</u>	44
Amadeo E. Uriel y Francisco Espejo	
<u>El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)</u>	52
José Manuel Vicente	
<u>La radiactividad</u>	64
Manuel Lozano y Miguel Ullán	
<u>Peregrinaje matemático en el camino de Santiago</u>	76
Pedro J. Miana	
<u>A las puertas de 2011: Año Internacional de la Química</u>	84
Miguel Carreras	
<u>Actividades de la Facultad</u>	90
<u>Noticias</u>	100

La capitalidad cultural de la Ciencia

Durante el próximo semestre Zaragoza se enfrenta al agradable reto de poder ser elegida una de las dos capitales europeas de la cultura en el año 2016. Esta competición entre seis ciudades españolas debe suponer, para nuestra ciudad, un esfuerzo de imaginación para aportar todo aquello que nos permita mostrar un diferencial de interés cultural. Y nosotros podemos aportar lo nuestro, la Ciencia.

Llevamos ya mucho tiempo intentando acabar definitivamente con la dicotomía ciencias-letras como objetos de conocimiento contradictorios y, desgraciadamente para muchos, excluyentes entre sí. La Ciencia es, siempre lo ha sido, parte de la Cultura. No seríamos dignos de llamarnos científicos si dejáramos pasar esta oportunidad de apoyar a nuestra ciudad en su pugna por mostrarse como foco cultural capaz de representar a nuestro país, si nuestra Ciencia e Investigación no estuvieran plenamente representadas.

Y esto que estoy escribiendo no es idea ni original ni contemporánea. Este año 2010 se está celebrando el centenario de la creación de la Residencia de Estudiantes en Madrid. Este centro suponía la creación del espacio físico donde las ideas de los librepensadores que crearon la Institución Libre de Enseñanza (ILE) primero, y la Junta de Ampliación de Estudios (JAE) después, pudieran ser plasmadas. La Residencia de Estudiantes nos ha llegado rodeada de un halo casi místico por la presencia simultánea de grandes genios de la cultura española, especialmente el triunvirato Dalí-Lorca-Buñuel. Pero desde su origen, y actualmente en su segunda etapa también, la Residencia era un centro de Ciencias y Humanidades, es decir, de Cultura. Los promotores

de la Residencia y de la ILE y la JAE tuvieron muy claro que el despertar científico de España era absolutamente vital, y al máximo nivel.

“...Cultura sin Ciencia no es posible.”

Este pequeño ejemplo es lo que quiero, me gustaría, que aportáramos durante estos meses que faltan para la elección definitiva. Pero sólo como un primer paso. La elección de Zaragoza debe ser, y permítanme la expresión, anecdótica dentro del empeño de convencer a la sociedad de que Cultura sin Ciencia no es posible. Pido el apoyo a la iniciativa de la capitalidad cultural, pero sin que ello sea el fin en sí mismo. La entiendo más como un catalizador de iniciativas, como un impulsor de ideas.

El fin debe ser, en mi opinión, que la Facultad sea la Capital Cultural Científica de nuestra región, y de forma permanente. Ya en el

siglo XI, Zaragoza fue referente científico muy importante, como nuestros investigadores e historiadores nos documentan en este mismo número. A veces es deseable que la Historia se repita. Hagámoslo otra vez.


Es posible realizar varias tareas de forma notable. Alguna hasta de manera sobresaliente. La cultura (y la Ciencia es parte de ella) puede hacerse y darse a conocer mucho más allá de los ámbitos normalmente establecidos. Pensando en el regusto que deja el trabajo bien hecho, se pueden emprender tareas que parecen arduas y hostiles en su inicio. Y como ejemplo de ello no tenemos que recurrir a lejanas tierras ni tiempos remotos. Aquí, en nuestra tierra, hace poco nos ha dejado uno de los personajes que más ha extendido nuestra cultura por todos los sitios hollados por él. Su realidad polifacética es la que me gustaría que se inculcara en nuestra Facultad. Sin ella será muy difícil que realmente nos convirtamos en ese referente que he denominado Capital Cultural Científica de Aragón.



Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



*Uso del logotipo cedido por el Ayuntamiento de Zaragoza y montaje de la Facultad de Ciencias.



EL IMPACTO METEORÍTICO QUE HIZO TEMBLAR LA VIDA EN LA TIERRA

La historia de la vida en nuestro planeta se ha visto salpicada desde su origen por numerosas crisis. Algunas han sido tan severas que la vida y la biodiversidad se han visto seriamente dañadas.

**POR LAIA ALEGRET,
IGNACIO ARENILLAS Y
JOSÉ ANTONIO ARZ**

El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

La historia de la vida en nuestro planeta se ha visto salpicada desde su origen por numerosas crisis. Algunas han sido tan severas que la vida y la biodiversidad se han visto seriamente dañadas. El ejemplo más reciente tuvo lugar hace 65,5 millones de años, en la frontera entre los periodos geológicos del Cretácico y Paleógeno, momento que se conoce informalmente como el límite Cretácico/Terciario (o límite K/T). Es precisamente en este límite donde se registra uno de los tres mayores eventos de extinción acaecidos en nuestro planeta en los últimos 500 millones de años. Su análisis requiere de la integración de detallados estudios multidisciplinarios, incluyendo el estudio de grupos de fósiles microscópicos, que nos permiten precisar el momento, las causas y las consecuencias de este gran evento de extinción.

UN POCO DE HISTORIA...

El límite K/T ha atraído la atención de numerosos paleontólogos desde el siglo XIX, debido a que, en este momento de la historia de la Tierra, tuvieron lugar cambios biológicos abruptos y globales, que incluyeron la extinción de casi el 70% de las especies y el

fin del predominio de los grandes reptiles en nuestro planeta. Este interés se intensificó a partir de 1980, cuando el equipo liderado por el premio Nobel en Física Louis Alvarez sugirió que un meteorito de unos 10 kilómetros de diámetro impactó sobre nuestro planeta poniendo fin a la "Era de los dinosaurios"¹. La clave para realizar esta afirmación se encontró tras realizar una serie de estudios geológicos en Gubbio (Italia), donde se encuentra uno de los mejores afloramientos de la frontera entre el Cretácico y el Terciario. En esta localidad existe una capa de arcilla de unos centímetros de espesor, depositada hace 65,5 millones de años y cuya base marca el límite K/T. El hallazgo fue en cierta manera fortuito, ya que el equipo de Louis Alvarez estaba buscando un método para calcular el tiempo en que se había depositado la arcilla del límite K/T. Para ello analizaron su contenido en iridio (Ir), un elemento abundante en los asteroides y en el núcleo de la Tierra al haberse concentrado durante la diferenciación en capas de nuestro planeta. Por el contrario, el Ir aparece en cantidades insignificantes en

la corteza terrestre y fundamentalmente proviene de la lluvia constante de microasteroides y de polvo cósmico. El equipo de Alvarez tomó como hipótesis de partida que si consideraban el flujo de Ir cósmico como constante, y medían su cantidad en la capa de arcilla, podrían estimar la velocidad de sedimentación de la misma. Los resultados fueron sorprendentes: constataron que la concentración de Ir en la base de la arcilla del límite era varias decenas de veces mayor de lo esperado y propusieron que su origen debía estar relacionado con el impacto de un meteorito gigante sobre nuestro planeta. Según esta hipótesis, el impacto debió originar una gran nube de polvo y cenizas, sometiendo a nuestro planeta a una prolongada oscuridad y a un largo invierno de impacto. El colapso de la cadena alimentaria, los incendios, y la lluvia ácida fueron efectos secundarios que contribuyeron a la extinción de la mayor parte de las especies.

También en 1980, y de forma casi simultánea, Jan Smit y Jan Hertogen presentaron conclusiones similares basadas en el estudio del corte español de Caravaca (Murcia), donde además de la anomalía de Ir hallaron otras evidencias de impacto meteorítico como espinelas de níquel (Ni), consideradas parte del material eyectado tras el impacto².

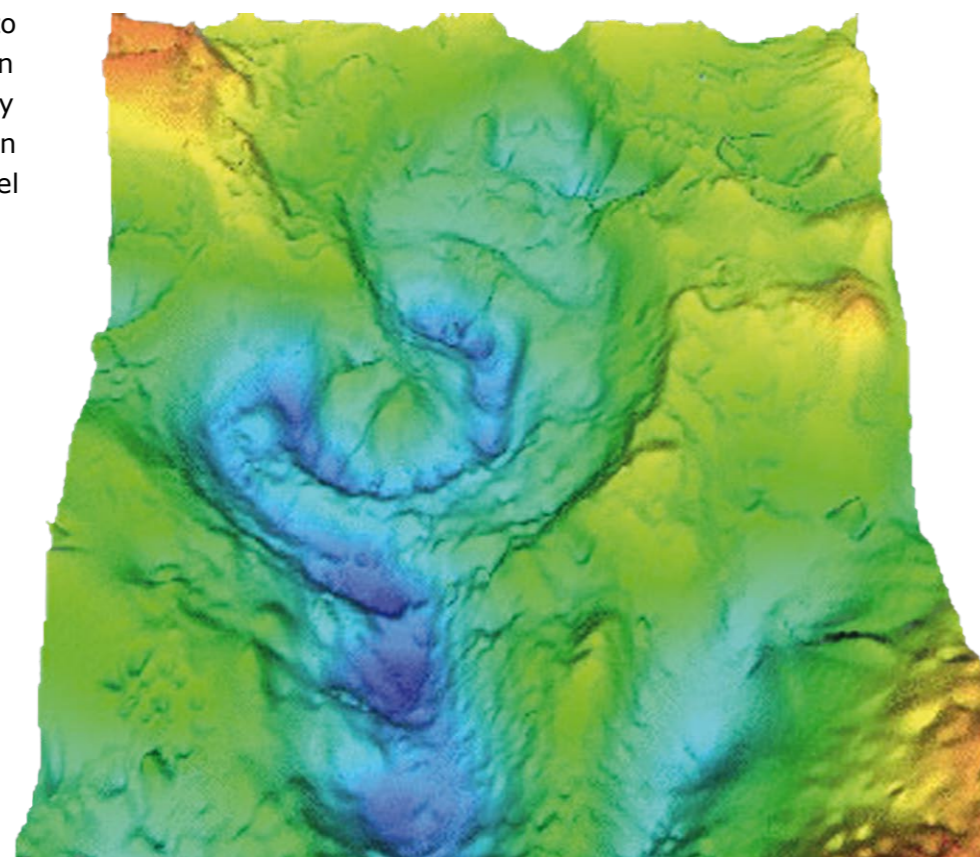
A partir de aquel momento se abrió una interesante controversia científica entre partidarios y detractores de esta hipótesis, y comenzaron a publicarse un gran número de trabajos sobre secciones del límite K/T de todo el mundo. A pesar de las cada vez más abrumadoras evidencias de impacto que iban siendo descubiertas, la teoría impactista fue duramente criticada atendiendo fundamentalmente a un aspecto: si se había producido la colisión de un meteorito de tal magnitud sobre nuestro planeta, ¿dónde estaba el gigantesco cráter que debió haber excavado?. La búsqueda del arma del crimen

“El colapso de la cadena alimentaria, los incendios, y la lluvia ácida fueron efectos secundarios que contribuyeron a la extinción de la mayor parte de las especies.”

finalizó en 1991, cuando utilizando métodos geofísicos se descubrió al Norte de la península de Yucatán (México), y enterrado bajo cientos de metros de sedimentos, un cráter de impacto de casi 200 kilómetros de diámetro: el cráter de Chicxulub³. Su edad coincidía con la época de las extinciones, y su tamaño se ajustaba al que produciría un cuerpo extraterrestre de unos 10 km de diámetro impactando a una velocidad de unos 20 km/seg. Este hallazgo supuso un importante impulso para la teoría impactista, que desde entonces ha sido aceptada por la mayor parte de la comunidad científica.

Cráter de Chicxulub. Aunque en la actualidad está enterrado bajo cientos de metros de sedimentos, las variaciones del campo gravitatorio y magnético muestran su estructura tridimensional en forma de anillo.

*Imagen de V. L. Sharpton, Lunar and Planetary Institute.



El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

LOS SEDIMENTOS ASOCIADOS AL LÍMITE K/T

En las áreas próximas al cráter de Chicxulub situadas en el Golfo de México y El Caribe, las rocas que contienen fósiles cretácicos están separadas de las que contienen fósiles más modernos, del Paleógeno, por una serie de depósitos que los geólogos denominamos "unidades clásticas". Dichos depósitos están relacionados con diversos procesos asociados al choque del meteorito, como terremotos de magnitud superior a 11 en la escala de Richter y gigantes olas tsunami que barrieron las costas del antiguo Golfo de México. Además, contienen lo que se denomina *eyecta proximal*, es decir, fragmentos de roca expulsados desde el lugar de impacto, cuarzos de choque y otros minerales característicos de las altas presiones provocadas por el impacto, y tectitas. Las tecti-

tas son gotas de fundido que salen despedidas desde el lugar de impacto, que se solidifican en la atmósfera durante el vuelo, adquiriendo formas aerodinámicas y que caen a modo de lluvia de tectitas. Forman lo que se conoce como campos de tectitas: las más gruesas, de varios centímetros, caen en áreas próximas al cráter, mientras que las de menor tamaño alcanzan mayores distancias, hasta miles de kilómetros del lugar del impacto.

En los grandes impactos meteoríticos se genera tal cantidad de calor que, además de fundir las rocas (formando tectitas), se vaporizan grandes cantidades de material. Los productos de la vaporización son los primeros en abandonar el área de impacto e ingresar en la atmósfera, y por su pequeño tamaño se distribuyen alrededor de todo el planeta a través de las corrientes atmosféricas, tardando incluso varios

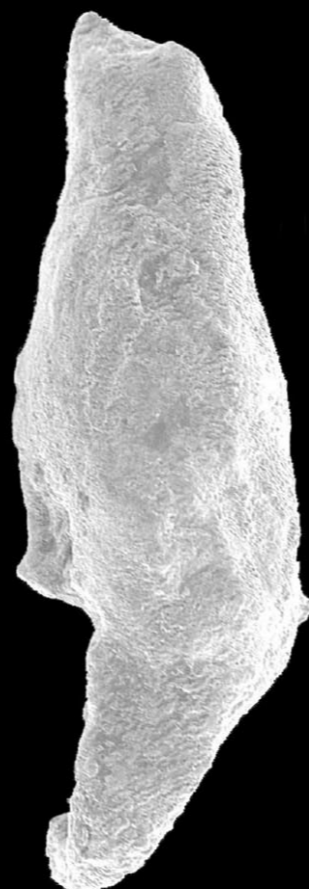
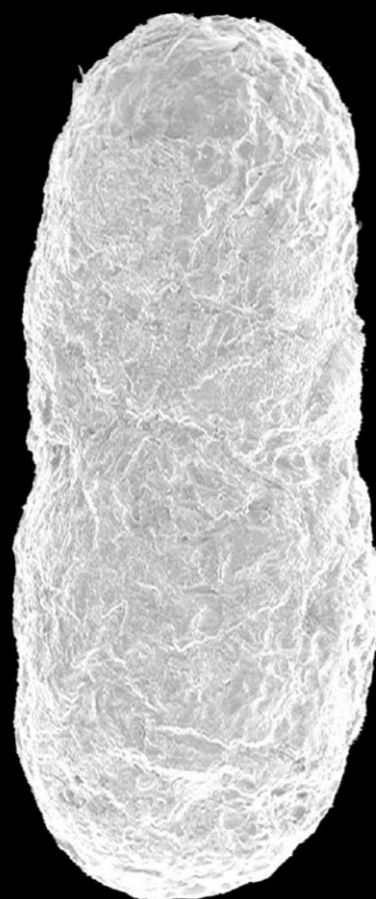
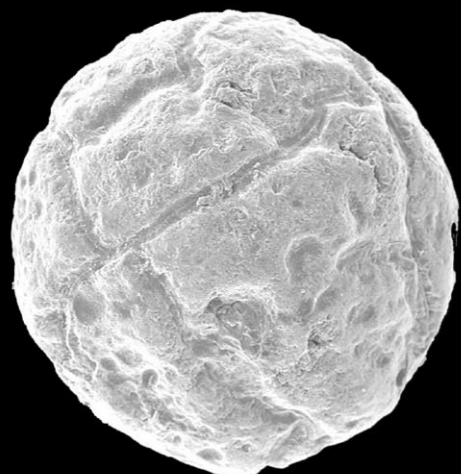
años en volver a depositarse. Estos sedimentos se conocen como la *eyecta distal* del impacto, contienen el Ir concentrado, los cuarzos de choque de menor tamaño y espinelas ricas en Ni, y pueden observarse en áreas más lejanas como las estudiadas por los equipos de Louis Alvarez y de Jan Smit en Italia, Dinamarca, Nueva Zelanda y España.

FORAMINÍFEROS: TESTIGOS EXCELENTES DEL K/T

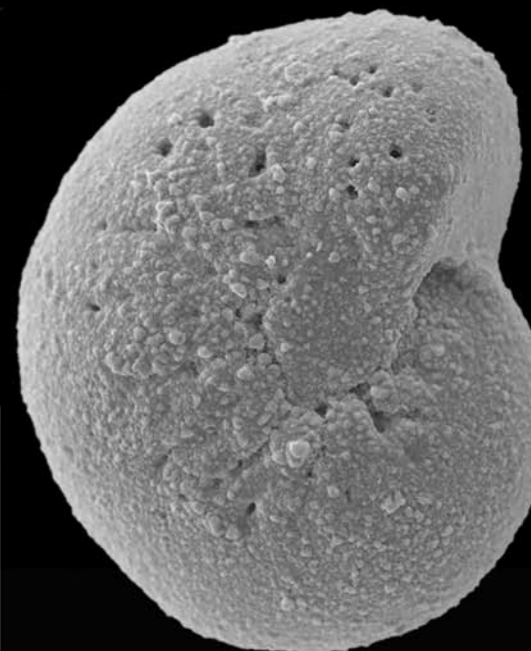
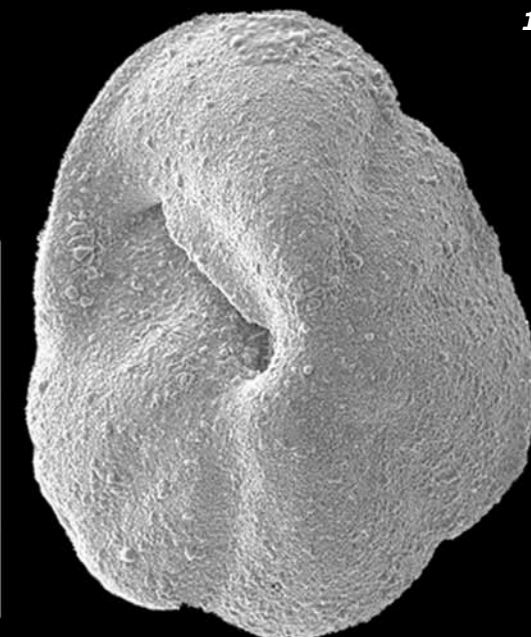
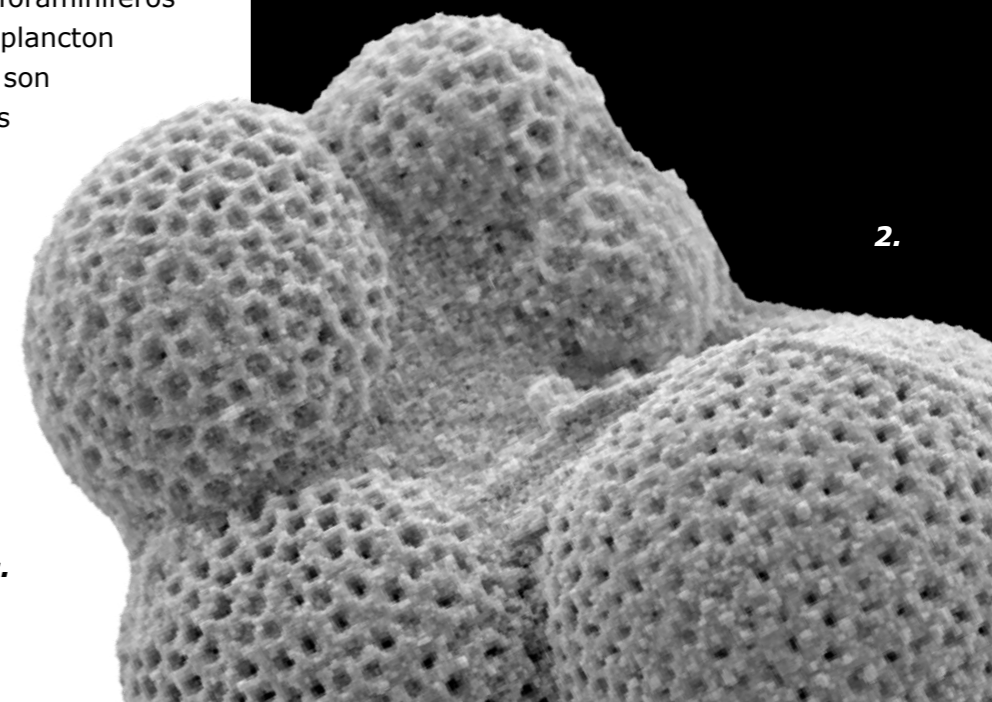
Nuestro grupo de investigación se ha especializado en el estudio de los foraminíferos, un grupo de protistas eucariotas que se protegen del medio externo mediante una concha microscópica, generalmente de composición calcítica, o en ocasiones compuesta por partículas recogidas del medio y soldadas con un cemento (conchas aglutinadas). Las conchas calcíticas o aglutinadas suelen resistir los procesos de fosilización, y por ello son muy abundantes en los sedimentos marinos.

Estos protistas ocupan el hábitat más extenso del planeta, los océanos. En función de su modo de vida se diferencian dos grandes grupos: los foraminíferos bentónicos, que habitan en el fondo marino, y los planctónicos, que flotan en la columna de agua. Los foraminíferos planctónicos forman parte del plancton marino y, al morir, sus conchas son arrastradas pasivamente por las corrientes marinas, y finalmente caen al fondo del mar, in-

Fotografías de microscopía electrónica de barrido de tectitas procedentes México. La escala equivale a 100 micras.



Fotografías de microscopía electrónica de barrido de diversos foraminíferos: bentónicos (1) y planctónico (2). La escala equivale a 100 micras.



1.

2.

El impacto meteorítico que hizo temblar la vida en la Tierra

corporándose al sedimento. Los foraminíferos están estrechamente ligados a las condiciones del medio en el que habitan, por lo que son unos excelentes indicadores de las condiciones medioambientales (temperatura, niveles de contaminación, acidificación de las aguas, productividad, etc.) tanto en medios actuales como en los sedimentos del pasado. Además, su gran abundancia y diversidad permite datar las rocas con precisión. Por todas estas razones, el análisis de los foraminíferos del tránsito Cretácico-Terciario ha contribuido notablemente al estudio de las causas y consecuencias del evento del K/T.

Alrededor del 90% de las especies de foraminíferos planctónicos se extinguieron en coincidencia con el límite K/T en todos los océanos, siguiendo lo que se denomina un patrón de extinción en masa catastrófico⁴. Este patrón de extinción únicamente puede ser atribuido a una causa de origen global generadora de cambios medioambientales muy rápidos en todo el planeta. Uno de ellos, probablemente el principal, fue el cese de la fotosíntesis debido al oscurecimiento global del planeta, lo que provocó a su vez el colapso de las cadenas tróficas dependientes del fitoplancton marino o de las plantas terrestres.

Los foraminíferos bentónicos no sufrieron, por el contrario, extinciones significativas. Sin embargo muestran importantes cambios en sus asociaciones en coincidencia con el límite K/T, incluyendo un descenso global de la diversidad como consecuencia del estrés medioambiental originado directa o indirectamente por el impacto, y la proliferación de especies oportunistas capaces de aprovechar este tipo de crisis ambientales.

Por otro lado, el estudio de los foraminíferos asociados a los depósitos característicos del K/T en áreas próximas al cráter de Chicxulub

ha permitido datar los sedimentos y precisar su origen. Concretamente indican que las unidades clásticas del Golfo de México y Caribe se depositaron justo inmediatamente después del impacto en Chicxulub, como consecuencia del colapso de los márgenes continentales, la ruptura de las plataformas, y el transporte masivo de sedimentos, que fueron arrastrados por olas tsunami desde zonas poco profundas e incluso desde el continente hacia las partes más profundas de la cuenca, a unos 1000-1500 metros de profundidad. La datación mediante foraminíferos y el estudio de las estructuras sedimentarias (disposición de los sedimentos) indican un rápido depósito de estas unidades que no puede explicarse mediante procesos geológicos "graduales". En efecto, para explicar la génesis de las unidades del K/T depositadas en el área del Golfo de México y El Caribe es necesario recurrir a la gran cantidad de energía liberada

4. Arenillas, I., Arz, J. A., y Molina, E. 2000. *Spanish and Tunisian Cretaceous-Tertiary boundary sections: A planktic foraminiferal biostratigraphic comparison and evolutive events. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar*, 120: 11-12.

5. Schulte P., Alegret L., Arenillas I., Arz J.A., y 37 más*. 2010. *The Chicxulub Impact and the Mass Extinction at the Cretaceous-Paleogene Boundary. Science*, 327: 1214-1218.

*Barton P., Bralower T., Bown P.R., Christeson G.L., Claeys P., Cockell C.S., Collins G.S., Deutsch A., Goldin T., Johnson K.D., Goto K., Grajales J.M., Grieve R., Gulick S., Kiessling W., Koeberl C., Kring D.A., MacLeod K.G., Matsui T., Melosh J., Montanari A., Morgan J.V., Neal C.R., Nichols, D.J., Norris R.D., Pierazzo E., Ravizza G., Rebolledo M., Reimold U., Robin E., Salge T., Speijer R.P., Sweet A.R., Urrutia J., Vajda V., Whalen M.T., Willumsen P.

por el impacto de un gran cuerpo extraterrestre en la península de Yucatán, que se ha estimado en unos 10^{23} a 10^{24} J, unas mil veces superior a la energía liberada por la mayor bomba nuclear probada.

¿UNA O MÚLTIPLES CAUSAS ?

Aunque la hipótesis impactista es hoy en día la mejor documentada, existe un grupo de científicos que tratan de explicar la crisis biológica del límite K/T mediante fenómenos tales como una actividad volcánica inusual a finales del Cretácico en el área del Decán (India), variaciones del nivel del mar, o una combinación de estos factores. Con el fin de evaluar el papel jugado por estos agentes geológicos en el evento de extinción, Peter Schulte y 40 colaboradores (entre los que nos encontramos los autores de este artículo) analizaron detalladamente el registro estratigráfico, paleontológico, geoquímico y mineralógico del límite K/T en las 80 localidades más completas de todo el planeta. Sus resultados fueron publicados recientemente en un artículo de revisión en la revista *Science*, y concluyen que el impacto del gran meteorito de Chicxulub fue la principal causa de las extinciones masivas del límite K/T⁵.

Según este análisis multidisciplinar, las hipótesis alternativas no han conseguido hasta la fecha explicar satisfactoriamente la brusquedad de la extinción en masa del límite K/T, ni los marcadores cósmicos presentes en este nivel estratigráfico, como son la alta concentración de Ir, cuarzos de choque, espinelas de Ni o las tectitas, entre otros. Se ha calculado que los

cambios climáticos que pudo generar el vulcanismo del Decán (un incremento de 2°C en la temperatura global y emisiones de azufre que formarían aerosoles en la atmósfera, pero que se disolverían en los océanos entre erupción y erupción) no son suficientes como para desencadenar una extinción masiva. Por otra parte, no es posible explicar una extinción geológicamente instantánea como la del K/T mediante hipótesis que impliquen cambios climáticos o del nivel del mar graduales y no especialmente significativos a finales del Cretácico.

En cambio, la liberación de grandes volúmenes de azufre, polvo y hollín en pocos minutos tras el impacto del meteorito en Chicxulub necesariamente tuvo que causar perturbaciones medioambientales extremas, como el oscurecimiento y enfriamiento global del planeta. Este escenario es compatible con los datos paleontológicos observados en el límite K/T, que muestran cómo todos los cambios significativos en los ecosistemas se iniciaron en ese momento. El impacto de un asteroide sigue siendo la causa más probable para explicar los cambios ocurridos en la biosfera hace 65,5 Ma.

Laia Alegret, Ignacio Arenillas
y José Antonio Arz

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

Instituto Universitario de Investigación
en Ciencias ambientales de Aragón (IUCA)
Universidad de Zaragoza

Foraminíferos planctónicos y bentónicos del Cretácico.

LA CIENCIA

EN LA ZARAGOZA DEL SIGLO XI

Zaragoza, ciudad ibera, romana e hispanogoda, fue ocupada por los musulmanes en la primavera del año 714. Antes había sido una relevante colonia romana, pero a comienzos del siglo VIII vivía sumida en una lánguida decadencia, entre las ruinas de los viejos edificios y foros romanos que ya nadie podía mantener.

POR JOSÉ LUIS CORRAL

Patio de Santa Isabel del Palacio de la Aljafería de Zaragoza.

*Foto por Anne Onimous (www.flickr.com).

La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI

LA CIUDAD DE ZARAGOZA EN AL-ANDALUS

Zaragoza, ciudad ibera, romana e hispanogoda, fue ocupada por los musulmanes en la primavera del año 714, tres años después de que desembarcaran en Gibraltar. Zaragoza era entonces una ciudad bajo dominio visigodo, sede de una importante diócesis en la que habían ejercido su cátedra episcopal obispos tan relevantes para la cultura hispanogoda como Braulio y Tajón. Antes había sido una relevante colonia romana, pero a comienzos del siglo VIII vivía sumida en una lánguida decadencia, entre las ruinas de los viejos edificios y foros romanos que ya nadie podía mantener.

La ocupación islámica supuso una profunda transformación de la ciudad y de toda su región.

Al-Andalus fue durante varios siglos la última frontera del islam, y entre comienzos del siglo VIII y principios del XII la ciudad de Zaragoza se erigió en la principal ciudad de esa frontera. Por ello, durante buena parte de su historia como ciudad islámica se convirtió en centro de acogida y de destino de intelectuales y científicos del mundo musulmán, que encontraron en Zaragoza un ambiente de libertad para sus creaciones intelectuales que no podían ser albergadas en otras zonas de al-Andalus, donde la intransigencia y el radicalismo estaban muy presentes.

En el siglo XI, desaparecido el califato de Córdoba, Zaragoza se convirtió en la capital de uno de los reinos de taifas más importantes de todo al-Andalus, y bajo el mecenazgo de sus monarcas florecieron la filosofía, la medicina, la literatura y todas las ciencias. Intelectuales musulmanes, pero también judíos, encontra-

ron en Zaragoza el ambiente propicio para poder escribir sus obras con cierto margen de libertad, huyendo de la intransigencia religiosa y política de otras taifas.

LA CIENCIA EN LA ZARAGOZA MUSULMANA

Durante los siglos VIII, IX y X, Zaragoza fue la capital de una provincia del Estado omeya cordobés, a veces rebelde contra el poder de emires y califas. Eclipsada por la pujanza de la gran Córdoba, donde radican en esos siglos los principales sabios y científicos de al-Andalus, Zaragoza crece despacio pero de forma continua. Según las listas de sabios y ulemas que se conservan, en la ciudad, que tenía entre veinte y veinticinco mil habitantes, vivían en esa época alrededor de unas sesenta personas que pueden ser consideradas como destacados científicos o intelectuales en las distintas ramas del saber.

Los sabios zaragozanos no habían logrado alcanzar el suficiente nivel como para crear una ciencia propia, y en esto, como en tantas otras cosas, eran deudores de los cordobeses, que a su vez bebían en las fuentes del oriente musulmán. La enseñanza se enriquecía en Zaragoza con la experiencia aportada por los intelectuales llegados desde Córdoba y otras ciudades de al-Andalus, e incluso de Oriente, y también por las reportadas por los intelectuales zaragozanos que viajaron a otros lugares en busca de sabiduría, como hizo Qasim ibn Tabit, quien, en compañía de su padre, visitó Oriente y peregrinó a la Meca a principios del siglo X, estudiando en Egipto. De su experiencia y aprendizaje es fruto su obra *Libro de las aclaraciones*, que acabó su padre.

Pero será a partir del siglo XI cuando Zaragoza se convierta en capital de un reino independiente, y cuando surja en esta ciudad un numeroso elenco de intelectuales y científicos que la convertirán en uno de los principales centros científicos del islam andalusí. A ello contribuyeron dos factores: En primer lugar el establecimiento de escuelas básicas en las mezquitas, especialmente en la mezquita mayor (ubicada en el solar que hoy ocupa la catedral de la Seo del Salvador), donde enseñaron notables maestros que formaron a los

“La Aljafería se convirtió en uno de los centros de enseñanza más relevantes de al-Andalus, una verdadera casa de la sabiduría.”



Palacio de la Aljafería, Zaragoza.

*Foto por Jorge Orta Tudela (www.flickr.com).

La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI

futuros intelectuales zaragozanos en escuelas coránicas básicas. Y sobre todo el mecenazgo de los reyes de la nueva taifa que acogieron a científicos e intelectuales que buscaban refugio ante la intransigencia que comenzaba a extenderse por el mundo musulmán; los monarcas establecieron sus propios centros de enseñanza; ya Ibn Darray, poeta de Almanzor refugiado en Zaragoza, actuó al servicio de Munder I enseñando lexicografía, genealogía y literatura. Y la Aljafería se convirtió en uno de los centros de enseñanza más relevantes de al-Andalus, una verdadera "casa de la sabiduría", dotado de un observatorio astronómico y una biblioteca.

El empuje definitivo al desarrollo científico lo propiciaron dos reyes de la dinastía hudí en la segunda mitad del siglo XI, al-Muqtádir y su hijo al-Mu'tamin, ambos grandes mecenas además de estudiosos de las ciencias, especialmente de la astronomía y las matemáticas.

Tan destacada actividad intelectual posibilitó la existencia de un notable gremio de librerías. Se sabe que algunos libreros zaragozanos marcharon a Valencia tras la conquista de la ciudad por Alfonso I de Aragón; así lo hicieron Ibn Sandur ibn Mantil, coleccionista de obras poéticas, Ibn Abi-l-Baqa, copista, y Ahmad ibn al-Sagir, que llegaría a ser bibliotecario real de los almohades.

Todo este cúmulo de circunstancias hizo posible que el siglo XI se convirtiera, en palabras del profesor Joaquín Lomba, en "el más brillante de la cultura zaragozana".

LAS DISCIPLINAS CIENTÍFICAS EN ZARAGOZA

La práctica totalidad de las disciplinas científicas conocidas en la Alta Edad Media tuvieron cabida en la ciudad de Zaragoza en el siglo XI, pero hubo algunos intelectuales que practicaron con acierto varias de ellas a la vez, con-

virtiéndose en precedentes de los polifacéticos humanistas del Renacimiento.

Quizás sea Abu Bakr ibn al-Sa'ig ibn Bayya, conocido universalmente como Avempace (h. 1080-1138), ejemplo de intelectual que practicó con acierto diversas disciplinas científicas. Nacido en Zaragoza en el seno de una familia de orfebres y plateros, fue un notabilísimo filósofo, y está considerado como el primer comentarista de Aristóteles, precediendo en ello al mismísimo Averroes. Como filósofo, escribió varios libros, entre los que son de destacar *El régimen de solitario*, *La carta del adiós* y el *Tratado de la unión del Intelecto con el hombre*.

Pero Avempace fue también un extraordinario científico; escribió un tratado de botánica titulado *Discurso sobre las plantas* y destacó como médico, físico y astrónomo, además de ser considerado un notable poeta y un excelente músico. Era capaz de predecir los eclipses con una precisión asombrosa, tanto que durante el funeral de un amigo anunció, mediante unos versos, un eclipse lunar que se produjo unos pocos minutos después. Merece la pena escuchar esos versos:

*"Tu hermano gemelo descansa en la tumba
y éte atreves, estando ya muerto,
a salir luminosa y brillante por los cielos azules?
¡Oh Luna! ¿Por qué no te ocultas
y tu eclipse será como el luto que diga a las gentes
el dolor que te causa, tu tristeza, tu pena profunda?"*

Y acabado de recitar el poema, la Luna se eclipsó.

Incluso se dedicó a la política, llegando a ser visir (una especie de primer ministro) del reino.

La conquista cristiana de 1118 provocó el exilio de Avempace, que marchó a Levante y luego



*Foto por camara.bag (www.flickr.com).

Arcadas en el Patio de Santa Isabel de la Aljafería zaragozana.

"El fin último de la vida humana es la sabiduría."

Avempace.

al norte de África, donde siguió ejerciendo su magisterio científico y filosófico en la ciudad de Fez, convirtiéndose en un referente obligado para intelectuales posteriores tanto musulmanes (Averroes), como judíos (Maimónides) o incluso cristianos (Santo Tomás de Aquino). Su posición vital ante la ciencia se resume en una de sus sentencias: "El fin último de la vida humana es la sabiduría".

La tolerancia practicada en la Zaragoza musulmana hizo posible que brillaran científicos y filósofos judíos, como sobre todo Abu-l-Fadl ibn Hasday, conocido por su actividad poética y musical, además de por sus trabajos en aritmética y astronomía. También fue un relevante político, visir con tres reyes de Zaragoza, acabó renegando del judaísmo y se convirtió al islam.

En la actualidad las disciplinas "científicas" y las "humanísticas" están, desgraciadamente, demasiado separadas, pero en la España musulmana un sabio no solía hacer esa distinción y era frecuente que un filósofo fuera a la vez un experto matemático y astrónomo, o que un gramático, poeta o músico tuviera profundos conocimientos de medicina, aritmética o física.

Desde el siglo IX la Marca Superior de al-Andalus, cuya capital era Zaragoza, destacó por sus relevantes filósofos, sobre todo aquellos que viajaron hasta oriente para traer a occidente los más altos valores de la filosofía. Uno de los más conocidos fue Abdarraman (fallecido en el año 893), uno de los primeros estudiosos de la lógica, o los reputados al-Jurchani, que vino desde oriente para instalarse en Zaragoza a principios del siglo XI y para enseñar filosofía y astronomía, y Abu 'Utman al-Saraquistí, que publicó el famoso tratado *El árbol de la sabiduría*.

Fue a mediados del siglo XI cuando se fundó en Zaragoza una verdadera escuela de filosofía,

La Ciencia en la Zaragoza del siglo XI

superando a los encomiables pero individuales sabios que habían practicado hasta entonces esta disciplina. El primero en formar escuela fue al-Kirmani, un gran humanista defensor de la razón por encima de todo, que procedía de la ciudad iraquí de Harrán y que trajo consigo la experiencia de las extraordinarias escuelas orientales e introdujo en Zaragoza, por primera vez en al-Andalus, la *Enciclopedia de los hermanos de la pureza*, un gran diccionario enciclopédico de 52 tratados que fueron escritos en oriente a fines del siglo X y recopilados en la ciudad de Basora por seguidores de la escuela neoplatónica. Con esta Enciclopedia se creó en Zaragoza un movimiento -una verdadera escuela, como ha definido con gran acierto el profesor Joaquín Lomba- de filósofos esotéricos, gnósticos y místicos que se llamaban a sí mismos como los "puros" y que aprendían bajo la dirección de un imán. Ésta fue la raíz de la escuela de filosofía de Zaragoza, que extenderá su influencia científica y lógica por todo al-Andalus gracias a filósofos como Ibn al-Jabbar o el propio Avempace.

El fundador de la mezquita mayor de Zaragoza allá por los años 714-715, el santón Hanas as-San'ani, se dedicaba a la ciencia astronómica y, gracias a sus conocimientos, fue capaz de fijar la orientación del muro de la *qibla*, es decir el que se orienta en dirección a La Meca, cuando se comenzó a edificar la primera mezquita zaragozana.

A partir de este primer científico, cuya biografía raya en la leyenda, fueron surgiendo en Zaragoza otros de una gran talla, como Yahya ibn 'Aylan (fallecido en 893), quien viajó a oriente en busca de nuevos conocimientos aritméticos y del que se sabe que escribió un libro de Aritmética que se ha perdido. Pero como ocurrió con los filósofos, los científicos zaragoza-

nos de estos primeros siglos no lograron fundar escuelas y la mayor parte de ellos tuvieron que buscar en Córdoba o en oriente a maestros que les ayudaran a superar su nivel de formación científica.

“Aprovechando el mecenazgo de los reyes tuyibíes y hudíes, se afincaron en Zaragoza notables científicos que lograron crear una escuela propia.”

Fue de nuevo a mediados del siglo XI cuando la taifa de Zaragoza alcanzó sus mayores logros científicos. Aprovechando el mecenazgo de los reyes tuyibíes y hudíes, las dos dinastías reinantes consecutivamente, se afincaron en Zaragoza notables científicos que lograron crear una escuela propia.

Así, descollaron figuras como la del matemático Sulayman ibn al-'Awfi o 'Abd Allah ibn Ahmad al-Saraqutí (muerto hacia 1056-1058); este último logró tal nivel de pensamiento matemático que fue capaz de desentrañar errores de planteamiento de matemáticos anteriores. Se formó con el famosísimo Maslama de Madrid,

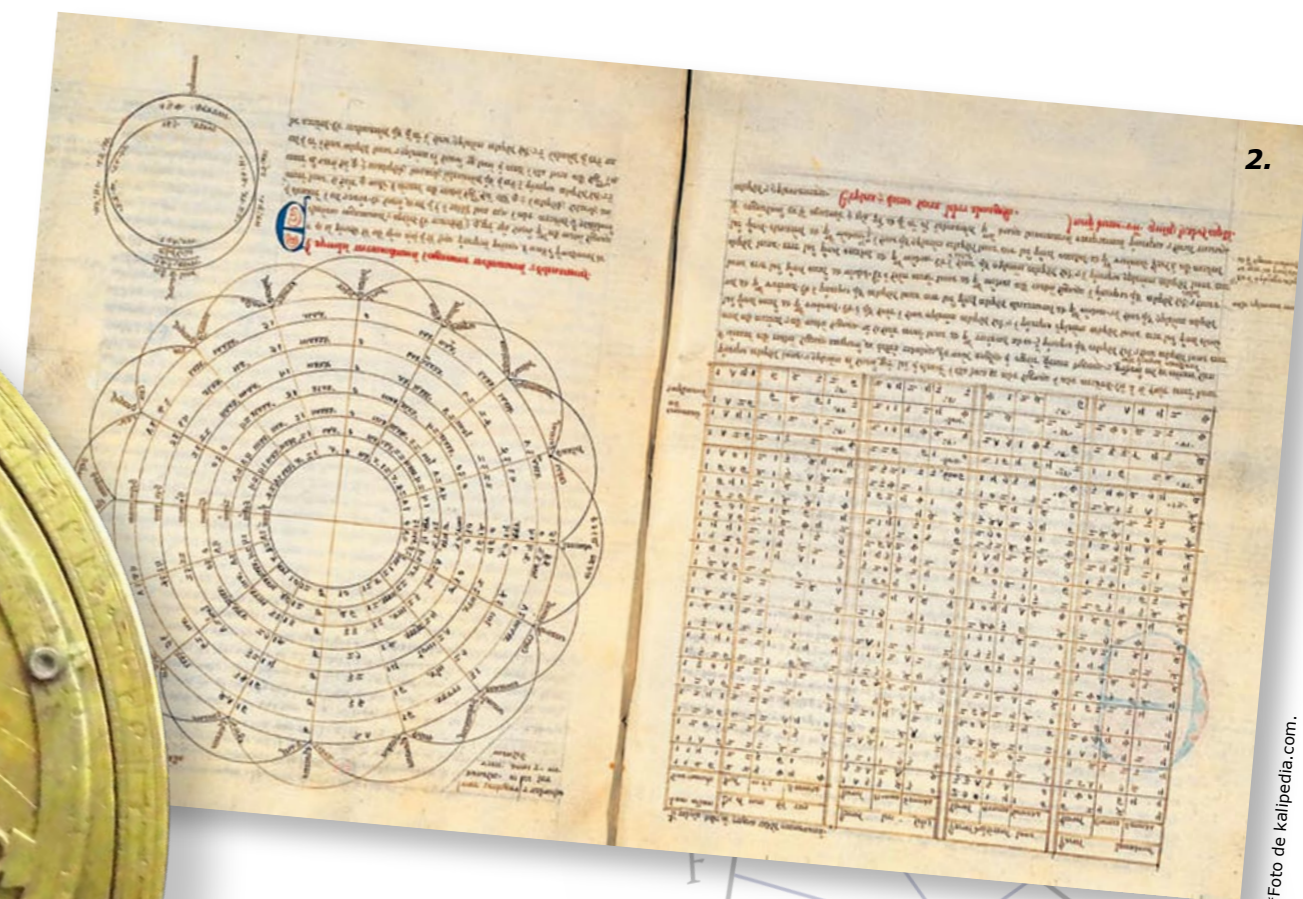
verdadero fundador de la escuela matemática andalusí en el siglo XI y volvió a su Zaragoza natal para fundar a su vez escuela. De él dijo uno de sus discípulos que "nadie sabía la geometría mejor y con mayor precisión".

No faltaron científicos originarios de las demás ciudades del reino, como el matemático y astrónomo Abu ibn Idris, un relevante miembro de la familia de los tuyibíes de Calatayud que descolló también como literato.

Pero semejante número de científicos fue posible gracias a que dos de los reyes de la dinastía hudí fueron ellos mismos notables científicos.



1.



1.- Astrolabio, antiguo instrumento que permite determinar la posición de las estrellas sobre la bóveda celeste.

2.- Páginas del libro *Almagesto* de Ptolomeo.

$$\frac{AF}{BD} \cdot \frac{BD}{DC} \cdot \frac{CE}{FA} = 1$$

El primero fue al-Muqtádir (1046-1082), estudioso de la matemáticas y además un brillante astrónomo, que ordenó edificar el palacio de la Aljafería, donde se instaló una escuela palatina y un observatorio astronómico. Pero fue sobre todo su hijo al-Mu'tamin (1081-1085) quien más destacó. Siendo un joven príncipe ya escribió algunos tratados de los que se tiene noticia pero que no se han conservado. Más tarde publicó una obra titulada *Libro de la perfección y de las apariciones ópticas*, aunque es conocido sobre todo por su obra *Kitab al-Istikmal (El libro del perfeccionamiento)*, un tratado en el que recoge la tradición de la matemática, geometría y astronomía griegas y que comple-

“El legado científico de los grandes maestros musulmanes zaragozanos del siglo XI fue cayendo en el olvido con la ocupación cristiana, y esa época quedó en el recuerdo como un verdadero siglo dorado.”

ta además con algunos teoremas nuevos sobre los círculos tangentes. Fue uno de los libros científicos más consultados en la Edad Media. Como ha resaltado recientemente el profesor Hogendijk, la figura científica de al-Mu'tamin adquiere una extraordinaria importancia porque sistematizó la teoría de los números, la geometría plana y el concepto de razón y pro-

porción en matemáticas, además de avanzar mucho en la geometría de la esfera y de las secciones cónicas. Por todo ello los profesores Lomba, Samsó y Hogendijk no han dudado en calificar al rey al-Mu'tamin como “uno de los principales matemáticos y geómetras de la Edad Media”.

Al-Mu'tamin utilizó en sus trabajos muchísimas fuentes griegas y árabes, lo cual sólo fue posible, como ha señalado el profesor Lomba, gracias a que en Zaragoza existía una importante biblioteca bien surtida de obras científicas.

Tampoco faltaron médicos como Abulcasis, al-Kirmani o el polifacético Avempace, ni farmacólogos como el judío Ibn Buklaris, autor de varios libros, además de excelentes botánicos y astrónomos.

LA HERENCIA

El reino de Zaragoza no sólo descolló por la abundancia de científicos y filósofos musulmanes, también hubo intelectuales judíos de gran prestigio, como el tudelano Abraham ibn Ezra (1088-1164), notable científico y primer matemático judío que utilizó el sistema métrico decimal y el uso del cero como indicativo de la ausencia de cualquier cantidad.

La conquista cristiana de 1118 provocó el abandono de la ciudad de la mayoría de los sabios musulmanes, y la ciencia quedó en manos de los judíos, aunque alguno de ellos, como el conocido médico oscense Pedro Alfonso, autor del famosísimo libro *Disciplina clericalis*, se convirtió al cristianismo y fue incluso médico del rey Enrique I de Inglaterra

El legado científico de los grandes maestros musulmanes zaragozanos del siglo XI fue cayendo en el olvido con la ocupación cristiana,

y esa época quedó en el recuerdo de todo el mundo musulmán como un verdadero siglo dorado para la ciencia.

Todavía en el siglo XV, y según recogió el añorado profesor Antonio Ubieto, había en Zaragoza una “universidad”, tal vez mejor una escuela, para jóvenes mudéjares, donde los musulmanes aragoneses sometidos al cristianismo estudiaban ciencias y matemáticas. Probablemente aquélla fue la última vez en que, hasta al menos el siglo XIX, se recordó que la Zaragoza musulmana fue la ciudad de occidente donde más brillaron la ciencias en el siglo XI.

PARA SABER MÁS:

Ensayos:

- BOSCH VILÁ, Jacinto, *El Oriente árabe en el desarrollo de la cultura de la Marca Superior*, ed. Instituto Egipcio de Estudios Islámicos, Madrid 1954.

- CORRAL, José Luis y PEÑA, Javier, *La cultura islámica en Aragón*, ed. Diputación Provincial, Zaragoza 1986.
- LOMBA, Joaquín, *El Ebro: Puente de Europa. Pensamiento musulmán y judío*, ed. Mira, Zaragoza 2002.

Novelas:

- CORRAL, José Luis, *El salón dorado*, ed. Edhasa, Barcelona 1996.

José Luis Corral

Departamento de Historia Medieval, Ciencias y Técnicas Historiográficas y Estudios Árabes e Islámicos

Facultad de Filosofía y Letras Universidad de Zaragoza





Hablando de...

QUÍMICA

POR ANA ISABEL ELDUQUE



El año que viene ha sido dedicado a la Química a través de la proclamación de Año Internacional de la Química hecha por la Organización de las Naciones Unidas. No quiero dedicar estas líneas a la conveniencia o no de la misma, ni tan siquiera comentar nada acerca de este tipo de convocatorias y su incidencia real en el desarrollo de las actividades científicas. Quisiera reflexionar acerca del pasado, del presente y del futuro de la Química.

Como bien sabéis todos, soy química de profesión, por lo que, estimado lector, puedes esperar acertadamente leer una visión positiva de la Química y de su, en mi opinión, enorme aportación al bienestar humano. Tal es así, según yo lo entiendo, que nada sería igual en nuestra sociedad globalizada si la Química y los químicos no hubieran aportado su estudio o conocimiento al desarrollo humano. Creo no equivocarme si afirmo con bastante firmeza que ningún país desarrollado puede serlo sin aportaciones sustanciales de la Química a su sociedad.

En primer lugar quiero destacar una particularidad que tiene la Química frente a sus hermanas científicas básicas (Física, Matemáticas, Geología y Biología): es del todo impensable que la Química se hu-

biera podido desarrollar desde un punto de vista únicamente académico. La Química, desde su propio origen en el siglo XVIII, surge y se retroalimenta permanentemente del sector industrial que desarrolla. Tanto es así que muchos descubrimientos químicos se llevan a cabo como respuestas directas a necesidades de producción a escala industrial de determinados productos químicos. Sólo un ejemplo. La síntesis de carbonato sódico no procede de la experimentación pura, sino que es respues-

“La simbiosis ciencia-industria ha sido particularmente propia de la Química. Su efecto no tiene parangón en otros campos del saber.”

ta a la necesidad de álcalis de bajo coste para la industria del vidrio francesa en la segunda mitad del siglo XVIII (Proceso Leblanc). Y he dicho sólo un ejemplo porque la lista es absolutamente interminable.

La simbiosis ciencia-industria ha sido particularmente propia de la Química. Pero no se trata sólo de una curiosidad. Su efecto no tiene parangón en otros campos del saber. Los descubrimientos en el campo de la Química se traducen casi inmediatamente en la puesta en marcha del proceso industrial correspondiente (*scale-up*), con el doble objetivo de alcanzar las cifras de producción necesarias y a un coste que favorezca su utilización. Podemos describir que el mundo de la Química es como un convoy de ferrocarril donde la locomotora es la industria química, capaz de propulsar a todo el convoy con su enorme potencial económico, siendo alimentados sus enormes motores con ese combustible que es el nuevo conocimiento que la Química, como ciencia, genera permanentemente. La Química sin la industria se vería abocada a mera ciencia auxiliar de otros nuevos campos de conocimiento (especialmente de las ciencias biosanitarias y de la producción energética). Pero la industria química sin la Química básica no sería capaz de producir nada nuevo y se agotaría en la medida que las materias primas convencionales lo fueran haciendo.

Hoy en día estamos asistiendo a un fenómeno similar con otra ciencia hermana. Creo que el siglo XXI va a ser el siglo de la Biotecnología, donde podremos hacer modificaciones antes impensables en seres vivos. Esto no quiere decir otra cosa que nuestra hermana la Biología se está industrializando. No ha abandonado los laboratorios de investigación, ni mucho menos. Pero está generando su área tecnológica propia, que permita llevar a la práctica, a escala mucho mayor, los descubrimientos y aplicaciones descubiertos y diseñados por los investigadores. Hace poco más de un siglo, la Química

también tuvo que andar un camino semejante, cuando la tecnología química comenzaba a ser lo suficientemente compleja como para que se segregara un área de conocimiento propia y completa, que hoy en día conocemos como Química industrial o Ingeniería química.

La Química surgió como la necesidad de conocer el porqué de los cambios en las sustancias y, además, en qué cuantía. Rompe con su antecedente mágico, la alquimia, porque los científicos no aceptan por más tiempo las explicaciones basadas en conceptos esotéricos imposibles de comprobar. Quieren saber por qué y en qué medida. Surge la sistematización de la Química (definición de elementos y sustancias, medidas cuantitativas, leyes, teorías de la materia, etc.). Pero rápidamente se dan cuenta estos científicos que conocer cómo y cuánto les permite predecir comportamientos futuros. La Química adopta el mismo método de estudio que la Física ya llevaba haciendo desde el desarrollo de la mecánica y la óptica desde la revolución científica del siglo XVII.

Pero en el mundo de la Química surgió rápidamente un nuevo campo de interés. Los científicos comenzaron a pensar que, si podían predecir con bastante certeza cómo iba a transcurrir una reacción, ya no sería tan difícil determinar de qué cantidades de reactivos hacía falta partir para obtener la cantidad deseada de producto. Y si a esto le unimos algo de desarrollo tecnológico, tenemos ya las bases para que pueda nacer la industria química.

Volvamos un poco a nuestra historia y recordemos que, hacia mediados del siglo XVIII, Francia se encuentra inmersa en la necesidad de mejorar sus producciones industriales, aunque todavía muy artesanales, tanto para alimentar su elevada población como para compensar una situación financiera calamitosa. Por su parte, la gran potencia emergente del siglo, Inglaterra, ha comenzado ya su revolución industrial a partir de los excedentes de la pro-

ducción agraria mejorada. La iniciativa privada inglesa quiere nuevos campos donde desarrollar su actividad económica. Por tanto, gracias a la iniciativa estatal francesa y a la privada inglesa, nace la industria química como tal. Se comienza a fabricar industrialmente ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico, bases y álcalis, tintes sintéticos, disolventes, pólvora, hierro y acero, aleaciones, etc.. Y ello como tal, es decir, las fábricas de tejidos no construían su sección de tintes. Los compraban a los fabricantes de los mismos, a la industria química.

“La Química debe caminar junto a, y en conjunto con, la industria química, como forma de poner en valor realmente los descubrimientos de la ciencia básica.”



*www.biotech-igg.com.

Durante el siglo XIX todo esto se aceleró y alcanzó un nivel tal que ni Lavoisier, Gay-Lussac, Davy, Dalton y tantos otros pudieran haber ni tan siquiera imaginado, especialmente cuando dos países entraron en juego: Alemania y Estados Unidos. A partir de aquí, es otra historia.

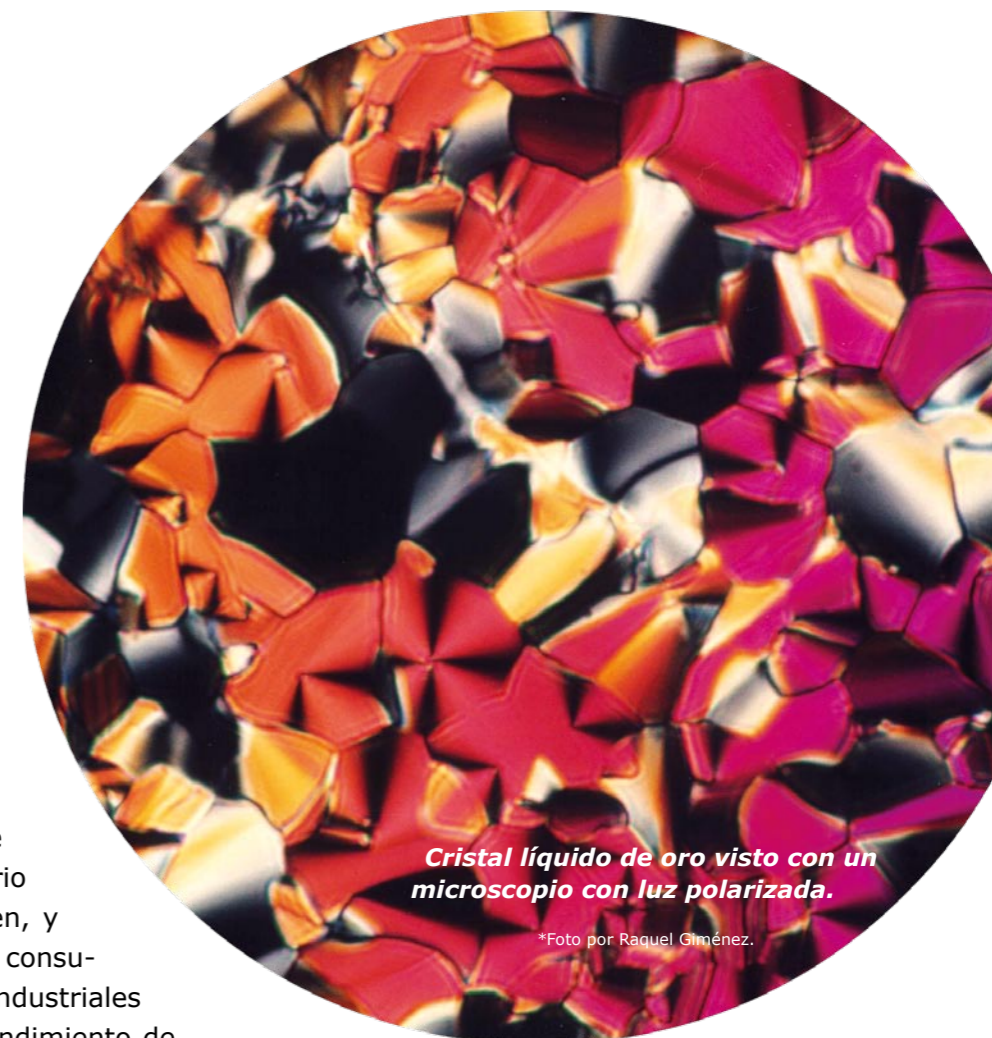
Pero lo que quiero resaltar es que, de cualquier producto que podamos pensar, las ramificaciones industriales son inmensas. Los productos básicos se emplean en miles de procesos, tanto como materias primas, catalizadores, etc. Los materiales que nos rodean son prácticamente sintéticos. Hasta la propia madera de un simple mueble requiere tratamientos de estabilización, aditivos, protectores, recubrimientos para su funcionalidad. Las sustancias que usamos, e ingerimos, son en su mayoría fruto de síntesis. Si hemos conseguido viajar al espacio es porque se han podido utilizar materiales de diseño específico para el fin previsto. Los plásticos de ingeniería, las cerámicas avanzadas, las aleaciones especiales y otros nuevos materiales nos permiten actividades en ambientes completamente hostiles al resto de materiales comunes (ambiente químico corrosivo, radiactividad, altas temperaturas y presiones...). Pero también, y gracias al conocimiento que proporciona la Química, podemos pensar en sintetizar materiales que presenten propiedades claramente ventajosas en condiciones no agresivas. Catalizadores selectivos, compuestos superconductores a temperatura ambiente, materiales de altas propiedades mecánicas y bajo peso, son campos en desarrollo que volverán a aportar bienestar a nuestras sociedades. Y como ya he dicho antes, todo ello con un coste lo suficientemente asequible como para permitir que se fabriquen productos con esos materiales

accesibles económicamente para la mayoría de la población. Henry Ford no fabricó técnicamente un gran producto cuando diseñó el modelo T, pero su precio fue tal, que en pocos años el automóvil, rareza de *snoobs* hasta entonces, se convirtió en el símbolo de la nación más poderosa del siglo.

La Química es, por tanto, parte de nuestra vida. Y debe seguir siéndolo. Pensar en una sociedad virtual, que sólo se mueve a través de la red, es tan ilusorio como estúpido. Los bienes existen, y cada vez más. La sociedad es muy consumista y precisa que los procesos industriales sean cada vez más eficientes (rendimiento de los procesos, especificidad y selectividad de los mismos, consumo energético, impacto social en general). Las necesidades surgen sin parar (comunicación, transporte, salud e higiene...). La población mundial no para de crecer, al menos durante las próximas décadas, y cada vez mayor número de personas se incorporan, desde los países en desarrollo, al modelo occidental de hábitos de elevado consumo. Las comunicaciones requieren cada vez mayor volumen de tráfico y de velocidad de transmisión. Los recursos naturales habitualmente utilizados son claramente insuficientes para mantener la actividad actual a largo plazo. La Naturaleza ya no puede ser tratada como ese gran vertedero donde nos hemos deshecho de nuestros residuos impunemente durante siglos. Y la Naturaleza ya no es nuestro entorno inmediato. Desde los acuíferos más profundos, desde los fondos oceánicos, hasta las capas de la alta atmósfera sufren nuestra presencia y nuestra actividad. Los satélites artificiales caen a tierra después de su periodo de actividad, recordándonos aquel dicho castizo que decía que “el que al cielo escupe...”.

La Química es, por tanto, parte de nuestra vida. Y debe seguir siéndolo. Pensar en una sociedad virtual, que sólo se mueve a través de la red, es tan ilusorio como estúpido. Los bienes existen, y cada vez más. La sociedad es muy consumista y precisa que los procesos industriales sean cada vez más eficientes (rendimiento de los procesos, especificidad y selectividad de los mismos, consumo energético, impacto social en general). Las necesidades surgen sin parar (comunicación, transporte, salud e higiene...). La población mundial no para de crecer, al menos durante las próximas décadas, y cada vez mayor número de personas se incorporan, desde los países en desarrollo, al modelo occidental de hábitos de elevado consumo. Las comunicaciones requieren cada vez mayor volumen de tráfico y de velocidad de transmisión. Los recursos naturales habitualmente utilizados son claramente insuficientes para mantener la actividad actual a largo plazo. La Naturaleza ya no puede ser tratada como ese gran vertedero donde nos hemos deshecho de nuestros residuos impunemente durante siglos. Y la Naturaleza ya no es nuestro entorno inmediato. Desde los acuíferos más profundos, desde los fondos oceánicos, hasta las capas de la alta atmósfera sufren nuestra presencia y nuestra actividad. Los satélites artificiales caen a tierra después de su periodo de actividad, recordándonos aquel dicho castizo que decía que “el que al cielo escupe...”.

Quiero por ello animar a mis colegas químicos de la Facultad, y a todos los lectores que relacionan su actividad con la Química, a que empleemos algo de este año para la reflexión personal. Si podemos descubrir algún aspecto donde podamos mejorar algo nuestro trabajo químico, creo que la convocatoria del año in-



Cristal líquido de oro visto con un microscopio con luz polarizada.

*Foto por Raquel Giménez.

La Química es, y permitidme afirmarlo de una manera bastante rotunda, una de las encargadas de encontrar respuestas a todos estos interrogantes y otros muchos que surgirán. No de forma aislada, sino cooperativa con el resto de las ramas de la ciencia. No es tiempo de maximalismos. Ni toda la Química es contaminante y nos llena el cuerpo de aditivos cancerígenos, ni toda investigación debe centrarse en aspectos tan extremadamente sutiles que sólo unos pocos iniciados son capaces de comprenderlos. La Química, como así ha sido desde su origen, debe caminar junto a, y en conjunto con, la industria química, como forma de poner en valor realmente los descubrimientos de la ciencia básica.

Quiero por ello animar a mis colegas químicos de la Facultad, y a todos los lectores que relacionan su actividad con la Química, a que empleemos algo de este año para la reflexión personal. Si podemos descubrir algún aspecto donde podamos mejorar algo nuestro trabajo químico, creo que la convocatoria del año in-

“Necesitamos este momento de reflexión. Sin cuestionarnos la necesidad de la Química, pero aceptando que todo es susceptible de mejora.”

ternacional habrá dado frutos. Nuestras líneas de investigación, la enseñanza de la Química a todos los niveles educativos, la divulgación que hacemos de ella, los procesos industriales en los que estamos involucrados deben ser objeto de cuestionamiento para intentar descubrir aspectos de mejora. Añadámosle a ello condicionantes nuevos que nos aporta la sociedad y que afectan a nuestra actividad: sostenibilidad de cualquier acción, tecnologías de la información casi inmediatas y cambiantes, globalización económica, oferta creciente de bienes y servicios... Nada de lo anterior puede ser considerado inamovible. La sociedad, como nuestro propio planeta, está en continuo movimiento.

Los retos son grandes. Nuestra ciencia no pasa por sus momentos de máxima popularidad. Tampoco existe, a nivel mundial, un conjunto de científicos de renombre que, al menos, proporcionen a la Química algo de protagonismo social. He de felicitar a la comunidad física, porque esta disciplina sí está sabiendo transmitir a la sociedad esta imagen de ciencia necesaria (a través, especialmente, de la Astronomía y de la Física de Partículas). Y ello en el momento en que la Física se ha movido hacia un desarrollo que requiere un conocimiento científico y un grado de abstracción tal que la hacen inaccesible para la inmensa mayoría de los humanos. Por ello necesitamos

este momento de reflexión. Sin cuestionarnos la necesidad de la Química (sólo mentes muy obtusas e ignorantes son capaces de proponer el abandono del uso de sustancias y materiales sintéticos), pero aceptando que todo es susceptible de mejora.

Quiero acabar proponiendo que utilicemos este año como inicio de una actividad divulgadora que nos permita, al menos en parte, compensar la falta actual de figuras públicas de renombre dentro del mundo de la Química. Existen muchos y muy notables químicos en todos los campos. Es muy importante que su conocimiento y su trabajo se conozcan. Pero no todo el mundo es capaz de transmitir su propio saber de forma amable y atractiva. Por eso, creo que las actividades que se van a desarrollar a partir del año próximo deben transmitir que la Química no es sólo aquello que hace que una fábrica huela mal y contamine el río más cercano. Que es la ciencia que ha permitido que las cosechas se multipliquen y puedan alimentar a una cada vez mayor población. Que es la ciencia que ha permitido que enfermedades muy virulentas en el pasado se hayan convertido en comunes. Que los medios de transporte sean mucho más rápidos y eficaces y que viajar esté al alcance de todos. No estoy rechazando la realización de encuentros y actos especializados. Estoy pidiendo que no sean la única actividad. Estoy intentando transmitir que las generaciones más jóvenes deben conocer este acervo, considerarlo y desarrollarlo.

Creo que, huyendo de la búsqueda de ningún mérito o protagonismo innecesario, la Química es simplemente imprescindible para la sociedad actual.

Ana Isabel Elduque

Dpto. de Química Inorgánica
Facultad de Ciencias
Universidad de Zaragoza



*www.mapa.es



*www.ramprojects.in

CONSECUENCIAS DEL **FUEGO** EN LOS PAISAJES **MEDITERRÁNEOS**

Los paisajes mediterráneos son el resultado de una dilatada relación temporal entre el medio físico y el hombre, en la que el fuego ha jugado un papel fundamental. Clima, intensa ocupación humana del territorio y fuego son los tres factores que explican, en buena parte, la naturaleza de los ecosistemas mediterráneos (Pausas y Vallejo, 1999).

**POR MAITE ECHEVERRÍA,
FERNANDO PÉREZ,
PALOMA IBARRA Y
JUAN RAMÓN DE LA RIVA**



Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos

LA HISTORIA DEL FUEGO EN EL PAISAJE MEDITERRÁNEO

La intensa influencia humana en la cuenca mediterránea desde el Neolítico se plasma en paisajes en los que las prácticas agrícolas han modificado el medio natural, construyendo terrazas para cultivos en laderas, quemando la cubierta vegetal para aumentar el espacio agrícola, talando bosques para ampliar la superficie de pastos... Fuegos de reducidas dimensiones se utilizaron como herramienta agraria en equilibrio con las condiciones ambientales (Le Houérou, 1993).

Pero el fuego ha pasado de ser un elemento natural del paisaje a un factor humano de mayor frecuencia e intensidad, con resultados negativos que pueden desencadenar situaciones de desertificación. La frecuencia del fuego se ha

incrementado en las últimas décadas, cuando los bosques mediterráneos de carrascas, quejigos, sabinas... han sido sustituidos por comunidades fundamentalmente de *Pinus halepensis* y *Pinus pinaster*, que pasan a colonizar las tierras de cultivo cuando son abandonadas por el uso agrícola, favorecidas además por las repoblaciones forestales. El proceso de abandono de los usos agrarios tradicionales va seguido de un proceso de "matorralización" a base de plantas que toleran el fuego -ericáceas, cistáceas...-, corroborando la existencia de incendios provocados por el hombre, y que ha dado lugar a una importante pérdida de diversidad paisajística. Es, pues, a partir de mediados del siglo XX cuando esta consideración del fuego como un componente natural del paisaje desaparece, al incrementarse tanto la superficie como la frecuencia de los incendios especialmente en países como Portugal, España, Italia o Grecia.

“El aumento de las temperaturas, la alteración de la cubierta vegetal, la pérdida de nutrientes y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera son algunos de los procesos puestos en marcha por el fuego.”

Las principales causas de los incendios son los rayos, los volcanes y la acción humana, esta última especialmente importante en la densamente ocupada cuenca mediterránea donde, en la década de los 90, 50.000 fuegos aproximadamente afectaron a 600.000 hectáreas anuales de bosque y otros tipos de vegetación (FAO, 2001).

Aragón no es una de las comunidades más afectadas por los incendios dentro del territorio español; no obstante, extensas superficies arboladas sufren alteraciones debido a la irrupción violenta del fuego. La distribución temporal de estos incendios presenta una enorme variabilidad, junto a años de escasa siniestralidad como 1996, 1997 o 2010, existen otros como 1985, 1994 y el reciente 2009 en los que los daños causados por el fuego han adquirido proporciones catastróficas.

CONSECUENCIAS AMBIENTALES DE LOS FUEGOS

La consecuencia más evidente de un incendio es la desaparición o modificación de la vegetación, pero este resultado va acompañado de cambios en el suelo y en el comportamiento del agua y de los procesos de erosión en el territorio quemado que, a corto y

medio plazo, condicionan la recuperación del paisaje previo al fuego. El aumento de las temperaturas, la alteración de la cubierta vegetal, la pérdida de nutrientes y la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera son algunos de los procesos puestos en marcha por el fuego, propiciando un proceso de degradación del suelo, especialmente grave en ecosistemas como los mediterráneos de suelos frágiles e intensos procesos de erosión.

1.- Consecuencias en el suelo

Los impactos del fuego en las propiedades de los suelos han sido un foco de interés en las últimas dos décadas (Shakesby y Doerr, 2006). El suelo afectado por un incendio puede sufrir alteraciones directas en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, como consecuencia del aumento de las temperaturas y la incorporación de cenizas tras el mismo (Giovannini et al., 1998), pero también cambios indirectos como resultado de la nueva situación creada tras la pérdida de la cubierta vegetal, conduciendo a una mayor susceptibilidad a la erosión, tanto hídrica como eólica. Esta alteración depende en buena parte de la severidad del incendio, entendida ésta como la intensidad de las temperaturas alcanzadas y su duración.

En el suelo ennegrecido y desprovisto de vegetación aumenta la temperatura y disminuye la absorción y retención de agua. No obstante, a pesar de que las llamas puedan alcanzar valores por encima de 1400°C, el suelo puede presentar temperaturas máximas en torno a 500-800°C, si bien en profundidad se reducen con un retraso temporal condicionado por la humedad, por lo que la temperatura alcan-

Aspecto del incendio de Ejulve en agosto de 2009.

*Foto por Fernando Pérez Cabello.

Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos

zada en un incendio sólo tiene consecuencias en los primeros centímetros de suelo. Según diferentes autores (Pardini et al. 2004), el calentamiento del suelo por debajo de 220°C no modifica las características edáficas de forma significativa. El calentamiento entre 220 y 460°C causa la combustión de algunas sustancias orgánicas. Temperaturas superiores a 460°C durante suficiente tiempo provocan la total combustión de la materia orgánica y la descomposición de los carbonatos.

Algunos de los parámetros edáficos alterados por el fuego son el grado de acidez o basicidad (pH), la cantidad de nutrientes y materia orgánica, la estabilidad de los agregados del suelo, la porosidad y la hidrofobicidad.

El **pH** de los suelos afectados por el fuego tiende a incrementarse, puesto que las cenizas aportan carbonatos, óxidos y cationes básicos (Ulery et al., 1993), lo que puede generar problemas de nutrición para la vegetación. En relación con esta aportación de cenizas, la salinidad del suelo aumenta, tal y como se observa en algunos sectores de la Depresión del Ebro (Badía y Martí, 2003).

La combustión de la vegetación y de la hojarasca muerta libera **nutrientes**, y algunos como el fósforo, el magnesio, el calcio o el potasio pueden ser devueltos al suelo por las cenizas, por lo que no es extraño que tras el fuego se produzca un aumento temporal de la fertilidad, que favorece la regeneración de la vegetación quemada, y de la **materia orgánica**.

“La intensidad del fuego es en uno de los factores fundamentales para entender la magnitud de los cambios en el suelo, en los procesos de erosión y en la regeneración vegetal post-fuego.”

Pero este incremento de nutrientes cercano al incendio puede descender bruscamente si se ponen en marcha procesos de erosión provocados por lluvias intensas, tan frecuentes en el ámbito mediterráneo, incrementando las pérdidas de suelo. La cantidad de carbono orgánico está ligada, entre otros factores, a la intensidad del fuego, de modo que en incendios de baja intensidad puede aumentar por la vegetación parcialmente quemada. La pérdida de materia orgánica provoca, a su vez, una alteración de la **estabilidad del suelo**, elemento clave para explicar la resistencia a la erosión tras el fuego.

En un suelo quemado, desprovisto de vegetación, la **porosidad** puede disminuir, puesto que las partículas finas, desprendidas a partir de la sal-

picadura de las lluvias post-incendio, rellenan los poros, reduciendo la infiltración del agua en el suelo y aumentando la arroyada superficial. Además, el fuego vaporiza sustancias orgánicas que pueden condensarse allí donde la temperatura es más baja, generando **hidrofobicidad**, repelencia al agua especialmente activa en suelos arenosos y ácidos, aunque también se ha reconocido en suelos calcáreos mediterráneos (Arcenegui et al., 2008).

2.- Consecuencias en la erosión

Desde el punto de vista de la erosión, la pérdida de la vegetación modifica el reparto del agua, su evapotranspiración, su entrada en el

suelo y la producción de flujos hídricos en superficie. Estos cambios tienden a ocurrir en un periodo inmediato al mismo, pero de duración variable (Prosser y Williams, 1998).

La intensidad del fuego, tal y como se ha comentado, es en uno de los factores fundamentales para entender la magnitud de los cambios en el suelo, en los procesos de erosión y en la regeneración vegetal post-fuego. También la frecuencia de los incendios resulta un elemento-clave para explicar procesos de degradación ambiental e incluso de desertificación en ambientes tan frágiles como los matorrales mediterráneos.

Uno de los efectos más llamativos en relación con la temperatura alcanzada por el fuego es la fragmentación de las rocas, que quedan cuarteadas en lajas aplanadas, tapizando el suelo. La **desaparición de la cubierta vegetal** provoca que la cantidad de agua interceptada por árboles, matorrales o herbáceas sea menor, aumentando los flujos de agua superficiales y, por lo tanto, la erosión. A partir del fuego, el funcionamiento del agua sobre la superficie del terreno está dirigido, fundamentalmente, por la regeneración de la vegetación (Pérez Cabello et al., 2000; Cerdà y Doerr, 2005), usando un simulador de lluvia en un pinar mediterráneo, observaron que el recubrimiento vegetal tres años después del fuego reducía el flujo superficial al 18% de lo medido en suelo desnudo seis meses después del fuego. En cualquier caso, hay que tener en cuenta que los restos **vegetales quemados** pueden jugar un papel ambiental

importante, disminuyendo el efecto de la salpicadura por parte de las gotas de agua, interceptando la lluvia, dirigiéndola hacia el tronco y aumentando la entrada de agua en el suelo (Pérez-Cabello et al., 2002). Obstaculizando de esta forma la erosión de suelo, a lo que contribuye la hojarasca que queda tras el incendio.

La presencia tras el fuego de un manto de **cenizas** evita la erosión en la etapa inmediata al incendio, absorbiendo las precipitaciones iniciales. También la combinación de depósitos de ceniza y acículas, en el caso de bosques de coníferas quemados, reduce la erosión en las laderas; a más hojarasca menos cantidad de flujo superficial porque crece la capacidad de almacenamiento de agua (Cerdà y Doerr, 2008). No obstante, esta protección de ceniza es efímera y, en este sentido, es interesante conocer el balance entre la regeneración vegetal y el periodo de desaparición de las cenizas para salvaguardar el suelo de la erosión.

Otro factor ambiental que condiciona el comportamiento hidro-geomorfológico post-fuego es la **exposición topográfica**. En las laderas de exposición

Producción de ignifracos en el incendio de los Montes de Zuera (Zaragoza), en agosto de 2008.

*Foto por Maite Echeverría.



Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos

sur, la erosión post-incendio adquiere mayor intensidad que en las laderas de umbría (Pérez Cabello et al., 2000 y 2002). Además, la exposición topográfica parece jugar un papel importante en la intensidad del fuego, siendo en las laderas norte, de vegetación más abundante, donde el fuego alcanza mayor temperatura y duración, si bien las condiciones ambientales post-fuego son más precarias en las laderas de solana, frenándose las pérdidas de suelo (Pérez-Cabello et al., 2002).

Por último, también el **uso del suelo** se convierte en un factor relevante frente al fuego. El aterrazamiento de laderas para el cul-

tivo y su abandono a partir de la década de los años 60 del siglo XX, va acompañado de un crecimiento de matorrales y una posterior ocupación por parte de pinares. El fuego sobre estos ámbitos reduce la infiltración del agua y acelera la producción de sedimento a escala de terraza (Llovet et al., 2008).

Tras los fuegos forestales, en definitiva, se asiste de forma generalizada a un descenso de las tasas de infiltración y a un incremento de la escorrentía superficial y, por lo tanto, de la erosión hídrica, dando lugar a la aparición de formas de erosión tales como canales o cárcavas.

“Tras el fuego las tasas de erosión se incrementan fuertemente durante unos meses o años, para luego reducirse y volver a la situación previa al fuego.”

Los estudios encaminados a la medición de la erosión post-fuego utilizan diferentes escalas espacio-temporales. En la actualidad, los conocimientos científicos del efecto de los incendios apuntan a que tras el fuego las tasas de erosión se incrementan fuertemente durante unos meses o años, para luego reducirse y volver a la situación previa al fuego. En algunos casos, el incendio no produce alteraciones significativas y la recuperación es rápida, e incluso, en ocasiones, la alta variabilidad de las lluvias hace que las tasas de erosión durante el año inmediato al incendio descendan. En otros casos, la erosión se dispara en unos años para luego reducirse, pero también puede persistir, lo que induce a procesos de degradación de suelo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., Guerrero, C., Zornoza, R., Mataix-Beneyto, J. y García-Orenes, F. *Catena*, 74: 219-226 (2008).
- Badía, D. y Martí, C. *Arid Land Research and Management*, 17: 23-41 (2003).
- Cerdà, A. y Doerr, S.H. *Journal of Wildland Fire*, 14: 423-437 (2005).
- Cerdà, A. y Lasanta, T. *Catena*, 60: 58-80 (2005).
- Cerdà, A. y Doerr, S.H. *Catena*, 74: 256-273 (2008).
- Cerdà, A. y Robichaud, P.R. (Eds.): Science Publishers. 589 p. (2009).
- F.A.O.: Global Forest Fire Assessment 1990-2000. (2001).
- Gimeno, E., Andreu, V. y Rubio, J.L. *European Journal of Soil Science*, 51: 201-210 (2000).
- Le Houérou, N.H. *Agroforestry systems*, 21: 43-61 (1993).
- Llovet, J., Josà, R. y Vallejo, V.R. *Catena*, 74: 227-234 (2008).
- Marqués, M.A. y Moral, R. *Catena*, 19: 333-344 (1992).
- Mataix-Solera, J. y Guerrero, C. *Incendios forestales, suelos y erosión hídrica*. Caja Mediterráneo. 196 p. (2007).
- Pardini, G., Gispert, M. y Dunjo, G. *Sci. Total Environ.*, 328 (1-3): 237-246 (2004).
- Pausas, J.G. y Vallejo, R. *Remote sensing of large wildfires in the European Mediterranean basin*, 3-16. Springer Verlag (1999).
- Pérez-Cabello, F., Cancar, L., de la Riva, J., Echeverría, M.T. y Ibarra, P. *Il Suolo*, 3: 24-30 (2000).
- Pérez-Cabello, F., Echeverría, M.T., Ibarra, P. y de la Riva, J. *Aportaciones a la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio*. 307-314. Madrid. (2002).
- Prosser, I.P. y Williams, L. *Hydrological Processes*, 12: 251-265 (1998).
- Shakesby, R.A. y Doerr, S.H. *Earth-Science Reviews*, 74: 268-307 (2006).
- Ulery, A.L., Graham, R.C. y Amrhein, C. *Soil Science*, 156: 358-364 (1993).



Regeneración mediante *Brachypodium pinnatum* y *Helictotrichon cantabricum* en una umbría del Prepirineo oscense transcurridos 9 meses de un incendio en 1996.

*Foto por Maite Echeverría.

Consecuencias del fuego en los paisajes mediterráneos



Surcos, rills, en los Montes de Castejón de Valdejasa (Zaragoza), tras el incendio de agosto de 2008.

*Foto por Maite Echeverría.

“Hay que tener en cuenta que la restauración es un proceso lento y que requiere de una evaluación científica y seguimiento a medio y largo plazo.”

En definitiva, la recuperación ambiental va a depender del manejo que se realice tras el incendio (Marqués y Mora, 1992), de las condiciones previas, de la intensidad del fuego, de las precipitaciones posteriores, de la humedad, de la temperatura,... Y, en cualquier caso, ante condiciones mediterráneas de déficit hídrico y escasa presencia de nutrientes, la recuperación suele ser más lenta que en zonas húmedas.

VULNERABILIDAD DEL TERRITORIO Y SEVERIDAD DEL FUEGO

Aunque existen numerosos estudios en los que se analizan las consecuencias del fuego, el hecho de que sus efectos no sean fácilmente generalizables dificulta la se-

lección de medidas para minimizarlos. La diferente capacidad natural de respuesta del medio afectado y las interacciones, que se producen entre las variables ambientales y las características del fuego (intensidad-severidad), justifican la necesidad de diseñar programas de gestión específicos para cada zona. Siempre hay que tener en cuenta que la restauración es un proceso lento y que requiere de una evaluación científica y seguimiento a medio y largo plazo.

La vulnerabilidad ecológica, tras la irrupción violenta de un incendio forestal, hace referencia a la potencialidad de las comunidades forestales para recomponer las condiciones ambientales. Los ecosistemas que registran incrementos considerables en los mecanismos de erosión y experimentan procesos destacados en relación con la degradación del suelo son los menos resistentes y con menor capacidad para su recuperación. En este sentido, aunque el papel desempeñado por la severidad sigue planteando algunas dudas, en términos generales la alta severidad se asocia, entre otras cosas, a una mayor calcinación de la cubierta vegetal, un mayor incremento de la repelencia al agua del suelo y a un también mayor incremento de la erosión (Cerdà y Robichaud, 2009).

Maite Echeverría, Fernando Pérez,
Paloma Ibarra y Juan Ramón de la Riva.

Grupo Geoforest.

Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio.

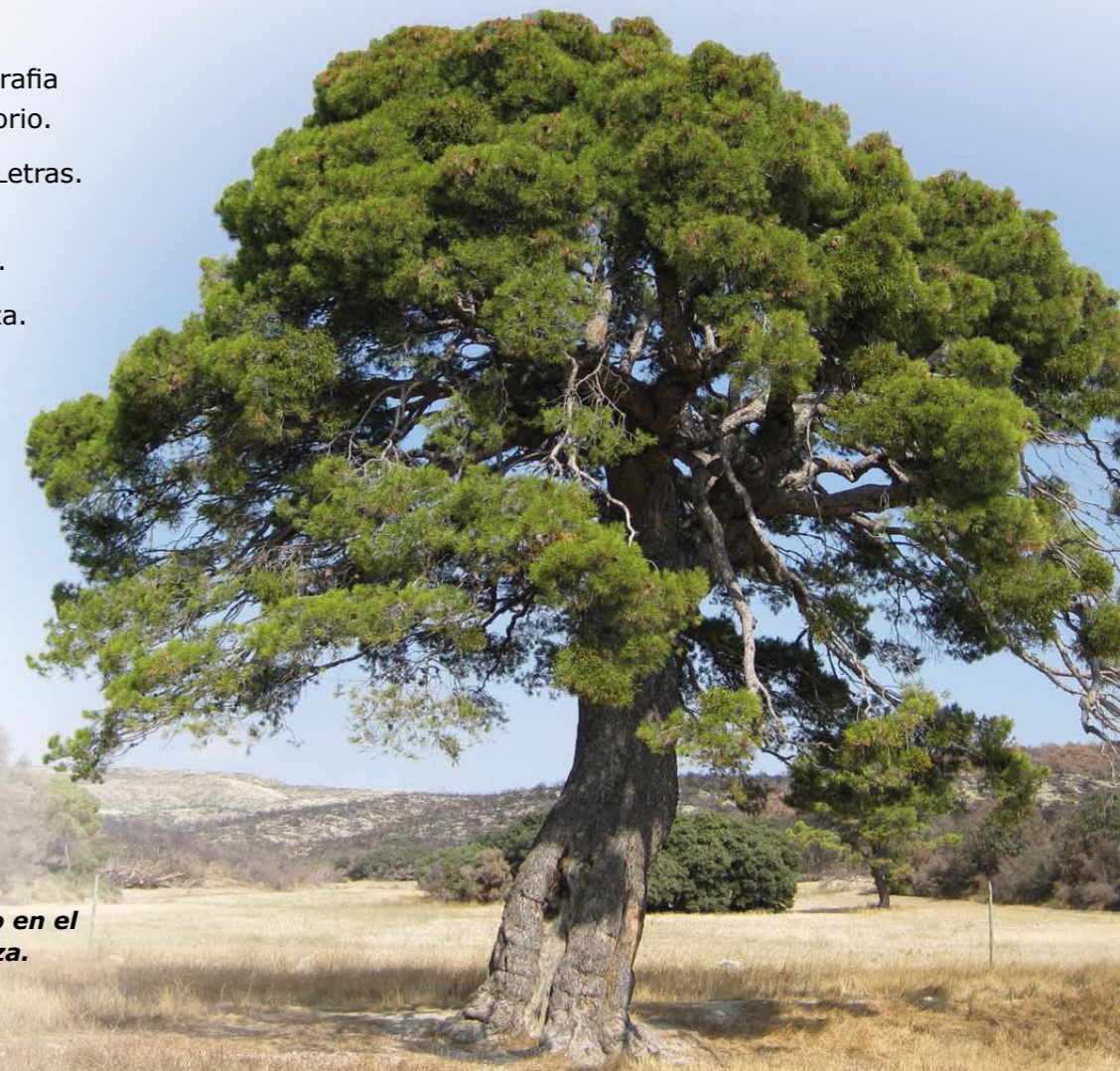
Facultad de Filosofía y Letras.

Instituto de Ciencias
Ambientales de Aragón.

Universidad de Zaragoza.

El pino de Valde Navarro en el pinar de Zuera, Zaragoza.

*www.javierpuyuelo.es.



Construyendo...

*...el Espacio Europeo
de Educación Superior*

Grado en Biotecnología

Grado en Física

Grado en Geología

Grado en Matemáticas

Grado en Óptica y Optometría

Grado en Química

GRADOS



Máster en Biología Molecular y Celular

Máster en Física y Tecnologías Físicas

Máster en Iniciación a la Investigación en Geología

**Máster en Iniciación a la Investigación
en Matemáticas**

Máster en Investigación Química

**Máster en Materiales Nanoestructurados para
Aplicaciones Nanotecnológicas**

**Máster en Modelización Matemática, Estadística
y Computación**

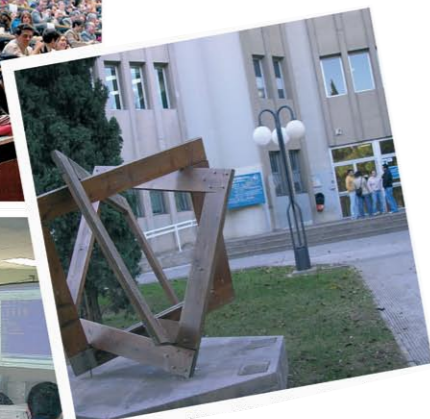
Máster en Química Sostenible

MÁSTERES



¡matricúlate!

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



**UN PERSONAJE SINGULAR
EN LA HISTORIA
DE LA METEOROLOGÍA**

BENJAMIN FRANKLIN

*"Si no quieres perderte
en el olvido tan pronto
como estés muerto y
corrompido, escribe
cosas dignas de leerse,
o haz cosas dignas de
escribirse."*

Benjamin Franklin
(1706-1790)

**POR AMADEO E. URIEL
Y FRANCISCO ESPEJO**



Un personaje singular en la historia de la meteorología: Benjamin Franklin

Cuando hace un tiempo estuvimos buscando material para preparar una charla sobre la Historia de la Meteorología, descubrimos el notable vacío existente en este campo. Salvo algunas publicaciones sueltas y las referencias marginales que aparecen en libros y artículos centrados en otros aspectos, la mayor fuente de información se halla en Internet (no podemos seguir avanzando sin reconocer la labor que en este terreno lleva realizando, desde hace años, nuestro compañero de la Agencia Estatal de Meteorología Manuel Palomares Calderón de la Barca). Todo esto nos ha movido a redactar esta nota, a la que esperamos que puedan seguir otras en el futu-

ro que nos permitan dar a conocer las aportaciones de diversos personajes, casi todos ellos muy singulares.

Antes de abordar el papel que jugó Franklin en su momento, debemos centrar una serie de ideas. Para poder llegar a elaborar una predicción meteorológica, es necesario dar una serie de pasos:

1. Disponer de un mínimo de observaciones meteorológicas instrumentales de distintos parámetros (temperatura, humedad, viento, presión, precipitación), complementadas con otras realizadas a estima o mediante aparatos (nubosidad y tipo de nubes, meteoros, visibilidad...). En este aspecto, el siglo XVII marcó el inicio de la posibilidad de realizar este tipo de observaciones, a partir de la invención del termómetro (Galileo, 1600) y el barómetro (Torricelli 1643), a los cuales siguieron los de los demás instrumentos de medida.
2. Contar con una red de observación lo más amplia posible, en la cual las observaciones deben hacerse del mismo modo y a la misma hora, para que puedan ser comparables y permitan elaborar mapas. Aunque habían existido encomiables iniciativas previas, hasta la llegada del siglo XIX esto no fue abordado con el suficiente rigor, tanto en Europa como en Estados Unidos.
3. Elaborar modelos conceptuales que nos permitan comprender los fenómenos meteorológicos, su génesis y posterior evolución, base de cualquier predicción. Como veremos más adelante, Benjamin Franklin fue uno de los pioneros en este aspecto y, con posterioridad a sus primeros trabajos, se inició el verdadero desarrollo de la meteorología sinóptica y consecuentemente de la predicción tal como la conocemos hoy día.

4. Para que la predicción pueda ser útil y operativa, es preciso que las observaciones se concentren con rapidez en los puntos donde se elaboran las predicciones y que éstas se distribuyan a todos los usuarios potenciales. La invención del telégrafo por Samuel Morse en 1832 fue providencial para que esto fuera posible (hasta 1840 no empezaron a funcionar las primeras redes de comunicaciones como tales).
5. El siguiente paso para mejorar la precisión y extensión temporal de los pronósticos radica en poseer herramientas de cálculo suficientemente rápidas y capaces para procesar, en un tiempo razonable, toda la información disponible con el conocimiento científico acumulado. Esto no pudo empezar a ser posible operativamente hasta que la informática alcanzó un grado suficiente de desarrollo en el último cuarto del siglo XX.

Benjamin Franklin (Boston, 1706 – Filadelfia, 1790) era el decimoquinto hermano de una familia de un total de diecisiete, únicamente cursó estudios elementales hasta la edad de diez años y a los doce comenzó a trabajar como impresor en la empresa de uno de sus hermanos. Sin embargo, este hombre nos recuerda a los grandes genios del Renacimiento, ya que destacó en todos los campos de la actividad humana a los que dedicó su tiempo: científico, inventor, político, editor, filósofo, músico y economista. Parecía predestinado a hacer realidad uno de sus propios aforismos: **"si no quieres perderte en el olvido tan pronto como estés muerto y corrompido, escribe cosas dignas de leerse, o haz cosas dignas de escribirse"**.

Su interés por los temas científicos coincide con el comienzo de su actividad política. Influido por los científicos de su tiempo (Isaac Newton, Joseph Addison...) desarrolló una no-

table actividad que le llevó a alcanzar un reconocido prestigio científico tanto en el continente americano como en Europa, basado no sólo en los intercambios epistolares con científicos de otros países (aparte del inglés dominaba el latín, francés, alemán, italiano y español), sino también por las largas temporadas que pasó en Europa, principalmente en Londres y París. En 1743 fue elegido presidente de la Sociedad Filosófica norteamericana, en 1756 miembro de la Royal Society y, en 1772, la Academia de las Ciencias de París le designó como uno de los más insignes científicos vivos no franceses.

Aunque resultaría verdaderamente apasionante adentrarse en las distintas facetas de su trabajo, vamos a centrarnos solamente en aquellos aspectos que, de una u otra forma, han tenido que ver con el desarrollo de la meteorología y la predicción del tiempo:

I.- EL ALMANAQUE

El 28 de diciembre de 1732 publica la primera edición del *"Almanaque del pobre Richard"*, cuya edición se prolongó anualmente hasta 1758. Escribiendo bajo el seudónimo de Richard Saunders, justificaba la venta del almanaque para "obtener unos peniques con los que cuidar

"Este hombre nos recuerda a los grandes genios del Renacimiento, ya que destacó en todos los campos de la actividad humana a los que dedicó su tiempo."

Benjamin Franklin pintado por Joseph Siffred hacia 1800 (National Portrait Gallery, Londres).

Un personaje singular en la historia de la meteorología: Benjamin Franklin

a su malhumorada esposa". Este anuario fue muy popular en aquella época, proporcionándole fama y bastantes beneficios económicos.

Aunque esta publicación destaca principalmente por los aforismos que defendían una serie de virtudes universales, mezclando los tintes éticos con una visión a veces bastante cínica de la vida (la templanza, el silencio, el orden, la resolución, la frugalidad, el trabajo, la sinceridad, la justicia, la moderación, la limpieza, la serenidad, la castidad y la humildad) y de los cuales muchos de ellos aún siguen vivos en la cultura popular de los Estados Unidos, fue muy utilizada por los colonos americanos para planificar sus actividades según las predicciones del tiempo (también contenía consejos sobre el cuidado del hogar, hacer rompecabezas y otros pasatiempos).

Los almanaques de este tipo fueron muy populares a lo largo de los siglos XVIII y XIX. Solían ser publicaciones de bolsillo y su aparente fiabilidad se basaba en el hecho de no concretar demasiado ni el momento ni el lugar de la ocurrencia de los fenómenos meteorológicos, confiando en el comportamiento siempre variable del tiempo atmosférico en las latitudes medias del planeta, es decir "dando tiempo al tiempo". Franklin llegó a vender hasta 10.000 copias anuales. No podemos resistirnos a la tentación de hacer una breve reflexión sobre algunos productos de predicción que existen actualmente en el mercado y cuya base "científica" es muy similar.

"En 1752 llevó a cabo en Filadelfia su famoso y peligroso experimento de la cometa, que le permitió demostrar que las nubes están cargadas de electricidad"

II.- LA METEOROLOGÍA SINÓPTICA

La palabra "sinóptico" procede del griego, y quiere decir "visto a la vez". La consideración global y simultánea de todas las observaciones meteorológicas en un área extensa se denomina sinóptica, y en la actualidad el término se refiere tanto a la rama de la meteorología que considera las situaciones meteorológicas, como a la escala de los fenómenos del orden de 1000 Km o más (anticiclones, depresiones, frentes...).

Benjamin Franklin también era aficionado a la astronomía y el 21 de octubre de 1743 estaba preparado para observar un eclipse lunar, pronosticado para las nueve de la noche de ese día. Sin embargo, no pudo hacerlo debido a que una tormenta afectó esa noche a Filadelfia. Este hecho debió contrariarlo como es lógico, pero tuvo una gran trascendencia para la meteorología. Franklin quedó inicialmente sorprendido cuando un hermano suyo, que vivía en Boston, le

dijo que él si había podido contemplar el eclipse perfectamente y que la borrasca no había empezado sino hacia casi las once de la noche. Boston está situado en la costa nordeste de Estados Unidos a unos 640 kilómetros al nordeste de Filadelfia. Después de recopilar toda la información que pudo en relación con el temporal, a través de los periódicos locales, llegó a la conclusión de que la tormenta, la lluvia y los vientos asociados se habían desplazado desde Georgia hasta Nueva Inglaterra, realizando por tanto el primer estudio de meteorología sinóptica de América. Como conocía la distancia y el

tiempo transcurrido, también pudo hacer una primera estimación de la velocidad de desplazamiento de este tipo de fenómenos.

Este descubrimiento debió llamarle poderosamente la atención y despertar su curiosidad científica, ya que desde entonces tuvo una cierta fijación con las tormentas y el deseo de aprender más acerca de ellas. Una de las cosas para la que le costaba más trabajo encontrar una explicación razonable era el hecho de que las tormentas se desplazaran en sentido contrario al del viento que llevaban aparejadas en superficie, y parece ser que, en una ocasión, se adentró con su caballo en el seno de una tormenta para perseguir a lo largo de casi tres cuartos de milla a un torbellino, pasando a ser así posiblemente el primer "cazatormentas" de la historia.

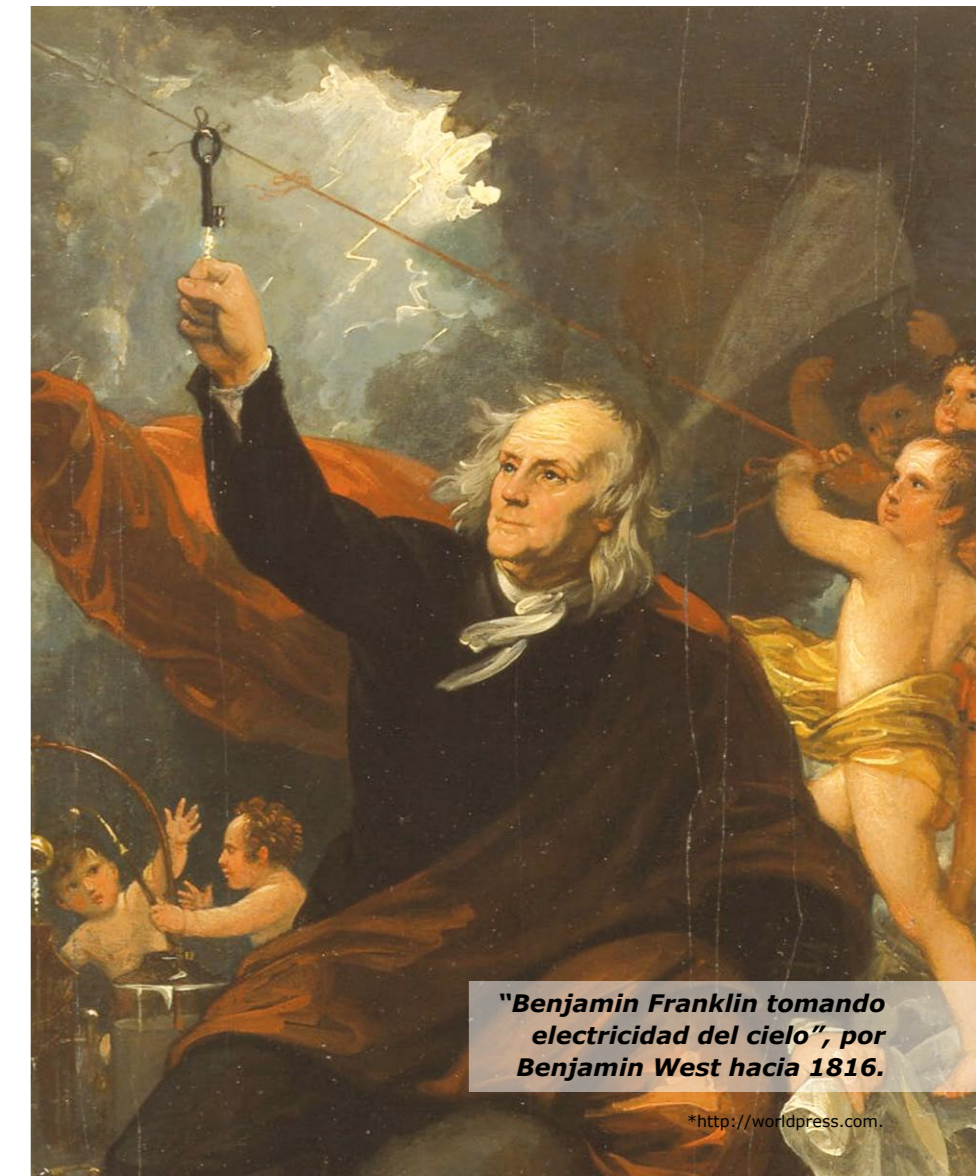
De hecho, el meteorólogo norteamericano **James Espy** (1785-1860) usó los modelos de Franklin de vientos en tormentas para llegar a determinar que un centro de baja presión tenía asociada una corriente de aire que fluía en espiral hacia el interior, al tiempo que era arrastrada por la circulación atmosférica general.

III.- LA ELECTRICIDAD

A partir de 1747, Franklin se dedicó al estudio de los fenómenos relacionados con la electricidad, y se comenta que fue uno de los científicos de su época que llegó a poseer mayores conocimientos sobre ella. Al parecer, el origen de todo estuvo en el envío a Benjamin

de algo similar a una botella de Leyden, desde Londres, por parte de un tal Peter Collinson. Preferimos transcribir literalmente en inglés la impresión que le causó este objeto "*for my own part, I was never before engaged in any study that so totally engrossed my attention and my time as this has lately done*".

Como en tantos otros campos, intuyó la naturaleza del problema y abrió la vía para el desarrollo posterior de teorías y principios adaptados al conocimiento actual del universo. En 1747 enunció el "**Principio de conservación de la electricidad**" (en realidad de la carga eléctrica) y de sus estudios nació su obra científica más destacada, **Experimentos**



"Benjamin Franklin tomando electricidad del cielo", por Benjamin West hacia 1816.

Un personaje singular en la historia de la meteorología: Benjamin Franklin

y observaciones sobre electricidad. En 1751 publicó trabajos en Londres y en 1752 recibió la "Copley Medal" de la Royal Society de Londres.

En 1752 llevó a cabo en Filadelfia su famoso y peligroso experimento de la cometa, que le permitió demostrar que las nubes están cargadas de electricidad y que los rayos son descargas eléctricas. En el citado experimento utilizó una cometa dotada de un alambre metálico unido a un hilo de seda del que pendía una llave también metálica. El hilo de seda, de acuerdo con su suposición, debía cargarse con la electricidad captada por el alambre y transmitirla a la llave. Durante la tormenta, acercó

la mano a la llave y observó que saltaban chispas, al igual que sucedía en los experimentos que había realizado anteriormente con botellas de Leyden, lo cual demostraba la presencia de electricidad.

Este descubrimiento le llevó a inventar el pararrayos, el cual tuvo tal éxito que dio lugar a que en 1782, y sólo en la ciudad de Filadelfia, se hubieran instalado cuatrocientos. Este invento iba ligado íntimamente a otro de sus descubrimientos: el poder de las puntas metálicas (al observar que un cuerpo con carga eléctrica se descargaba mucho más deprisa si termina en punta).

Entre sus aportaciones, cabe destacar la introducción de conceptos tales como el de la electricidad positiva o negativa y el de conductor, resumidos en su "**teoría del fluido único**", la cual afirmaba que cualquier fenómeno eléctrico era consecuencia del paso de un fluido sutil desde aquellos cuerpos que lo poseían en exceso (cargados con "electricidad positiva"), hacia aquellos que lo tenían en defecto (cargados con "electricidad negativa"). Esto le permitía explicar los dos tipos aparentes de electricidad atmosférica a partir del comportamiento de las varillas de ámbar, o del conductor eléctrico entre otros. Aunque evidentemente, a la vista del conocimiento actual de la estructura atómica, había un error de concepto, el modelo era original y novedoso.

IV.- LA CORRIENTE DEL GOLFO

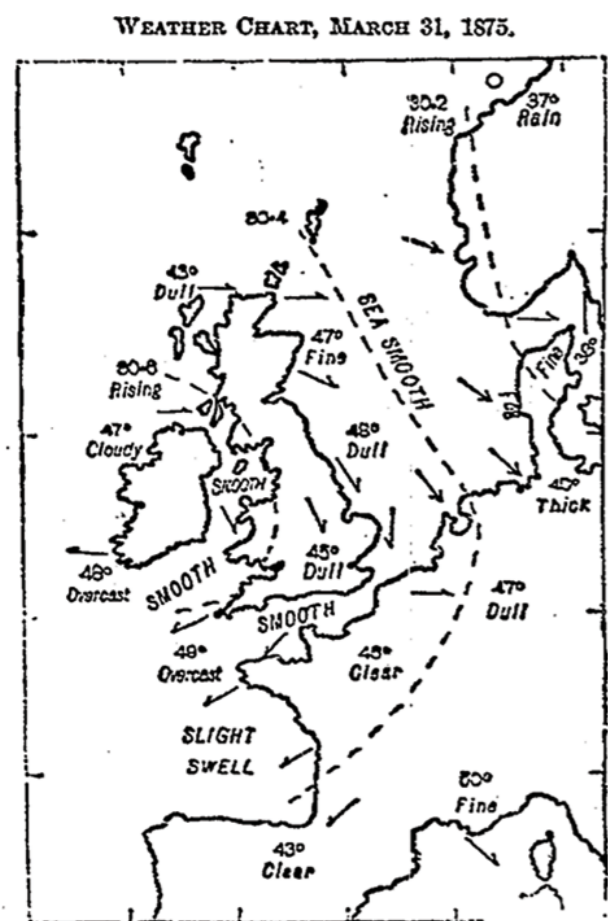
Polifacético, dotado de una increíble capacidad de trabajo y con una curiosidad científica insa-

ciable, creemos que aprovechó los viajes realizados en 1763 a Nueva Jersey, Nueva York y Nueva Inglaterra con el fin de estudiar y mejorar el Servicio Postal norteamericano (inventando, de paso, el cuentakilómetros), para estudiar las corrientes oceánicas de la costa este de Norteamérica, siendo el primero en descubrir la Corriente del Golfo (y obviamente su influencia sobre el clima), cartografiándola entre 1764 y 1765.

Estos trabajos dieron pie a que posteriormente, entre otras cosas, el oceanógrafo norteamericano Matthew Fontaine Maury pudiera obtener el apoyo de muchos capitanes de buques para recopilar datos sobre las corrientes y la atmósfera de los océanos, conduciendo a la creación del Observatorio Naval de los Estados Unidos.

Es obvio que, dada la relevancia de sus trabajos e investigaciones, sus viajes por Estados Unidos y Europa y la cantidad de contactos que mantuvo, Benjamin Franklin tuvo que ejercer una gran influencia sobre los personajes de su tiempo y posteriores. Aparte de los ya citados, tenemos que nombrar a su compatriota Loomis, al vicealmirante inglés Robert Fitzroy y al francés Le Verrier que, pudiendo contar ya con la ayuda del telégrafo, comenzaron a sentar las bases de la meteorología sinóptica y la predicción a ambos lados del Atlántico y, casi simultáneamente, en el tiempo. No obstante, todos estos personajes también fueron singulares y merecen ser abordados en otros trabajos como el presente.

Amadeo E. Uriel y Francisco Espejo.
Agencia Estatal de Meteorología en Aragón.



The dotted lines indicate the gradations of barometric pressure. The variations of the temperature are marked by figures, the state of the sea and sky by descriptive words, and the direction of the wind by arrows—barbed and feathered according to its force. ☉ denotes calm.


Primer mapa del tiempo con la situación meteorológica del día anterior, publicado en The Times por Francis Galton (abril de 1875).



Dibujo de la Corriente del Golfo, original de B. Franklin.

*<http://www.noaa.gov/>.

**EL USO LETAL DE LA CIENCIA:
ARMAS DE
DESTRUCCIÓN
MASIVA
(II)**

A large, glowing orange and yellow nuclear mushroom cloud explosion dominates the center of the image. The cloud has a thick, vertical column of smoke and fire rising from a point on the horizon, topped by a wide, flat, glowing disc. The background is a dark, cloudy sky, and the foreground shows a dark, flat landscape with some faint, glowing patches of light.

Todas las sustancias en dosis elevadas pueden provocar la muerte, por lo que en realidad lo que determina que consideremos una sustancia como letal es que provoca la muerte con una dosis pequeña.

POR JOSÉ MANUEL VICENTE

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)

INTRODUCCIÓN

En esta segunda parte vamos a ver los dos elementos restantes de las armas NBQ: las biológicas y las químicas (BQ). A diferencia de las Nucleares tienen un periodo de desarrollo e investigación más amplio; es más, muchos historiadores fijan su origen en un tiempo indefinido de la antigüedad más remota. Esta afirmación es más que discutible si consideramos su empleo y desarrollo. Las armas Q son hijas de la revolución industrial y se emplearon masivamente en la I Guerra Mundial (I GM). Las armas B no se han empleado nunca, de forma masiva, en ninguna guerra, lo que ha habido son casos puntuales poco documentados.

Aclarar, antes de entrar en materia, que las armas químicas o biológicas constan como mínimo de dos elementos: el agresivo B ó Q, y un sistema de difusión¹; ambos están tan imbricados que si falla un elemento el conjunto pierde eficacia o puede ser inútil². Y, además, en la mayor parte de los casos es necesario un vector³ o elemento de transporte.

ARMAS QUÍMICAS

Las armas Q se emplearon en la I GM, como consecuencia del estancamiento de los frentes y la aparición de la sangrienta guerra de trincheras. Es necesario probar, y emplear, nuevas armas que provoquen la sorpresa y den impulso al ataque, así aparecen los carros de combate, la aviación de guerra, las ametralladoras modernas, el empleo de la telefonía, y un largo etc., en el que se encuentran las armas químicas que dieron lugar a la "guerra de gases". Fue un paso natural, ya que los contendientes poseían potentes industrias químicas y se conocían los efectos nocivos de los productos que se empleaban en ella.

En resumen, en la I GM se hicieron numerosos ensayos, investigaciones y empleo de agresivos químicos, pero con un resultado más que decepcionante, desde el punto de vista militar. Hasta hoy en día no se han vuelto a emplear de una forma masiva, si exceptuamos el empleo del defoliante conocido como "agente naranja"⁴, durante la guerra de Vietnam. Si bien se ha seguido investigando y se han conseguido armas químicas tan poderosas que algunos pe-

riodistas las bautizaron como las "bombas atómicas de los pobres". Al que esté interesado en la Historia de las armas químicas les recomiendo el libro "Armas químicas: La ciencia en manos del mal", de René Pita⁵.

Clasificación y desarrollo

Existen numerosas clasificaciones de estas sustancias, pero la más interesante es la de los denominados letales (que provocan la muerte), que es la que veremos. Pero antes una reflexión, todas las sustancias en dosis elevadas pueden provocar la muerte, por lo que en realidad lo que determina que consideremos una sustancia como letal es que provoca la muerte con una dosis pequeña. ¿Qué es la dosis? Es la cantidad de sustancia necesaria para producir los efectos nocivos deseados, muerte o incapacidad. Se mide en mg/m³ (de aire) por unidad de tiempo (un minuto), y su grafía es D ó Ct (concentración). De lo que deducimos que un agente letal en dosis baja produce incapacidad, o incluso no produce efectos, y al contrario, un incapacitante en una dosis elevada o que afecte a una persona no sana puede producir la

1. Este elemento técnico es más complejo y difícil de obtener que los agresivos en sí, además se diseña específicamente para cada tipo de agresivo, ya que tienen diferentes características físicas y químicas, y por lo tanto necesitan un sistema de difusión concreto que se adapte a él y mantenga sus propiedades. Para las armas B todavía es peor pues, además, hay que mantener a los microorganismos vivos y con capacidad de actuar.
2. Por ejemplo, tanto en Iraq como en Afganistán los grupos insurgentes y terroristas han intentado dispersar cloro por medio de bombas pero, al no tener la suficiente formación científica y técnica, lo único que han conseguido es volatizarlo.
3. Pueden ser bombas, proyectiles de artillería, un avión con un generador de aerosoles, etc., y en el caso de la B pueden ser seres vivos como insectos, artrópodos, roedores, etc.
4. El Agente Naranja es una mezcla de dos herbicidas hormonales: el 2,4-D y el 2,4,5-T. Ambos componentes se han usado y se usan en la agricultura, principalmente el 2,4-D vendido actualmente en productos como el *navigate*.

Por la urgencia en su utilización, en Vietnam, fue producido con una purificación inadecuada, presentando contenidos elevados de un subproducto cancerígeno: la dioxina tetraclorodibenzodioxina. Este residuo no se encuentra normalmente en los productos comerciales que incluyen estos dos ingredientes, pero marcó para siempre el nombre del Agente Naranja, cuyo uso dejó secuelas en los vietnamitas y en los soldados estadounidenses. Por cierto, el nombre del agente proviene del color de los bidones que lo contenían.

5. René Pita Pita es Cte farmacéutico, especialista en NBQ, y destinado en la Escuela Militar de Defensa NBQ, y es un experto en armas químicas, reconocido internacionalmente. El libro está publicado por la Editorial Plaza y Valdés, en el 2008. Con ISBN 9788496780422.



Rociado con agente naranja durante la Guerra de Vietnam.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)

muerte. Los agresivos letales clasificados por sus efectos fisiológico son:

- **Sofocantes o neumotóxicos.** Actúan por inhalación. Producen lesiones en los tejidos de las vías respiratorias, con formación de edema pulmonar que impiden la oxigenación de la sangre. Los síntomas se inician con la irritación de las vías respiratorias, dando lugar a sensación de ahogo, tos violenta y expectoraciones. Una dosis pequeña puede tener efectos permanentes: bronconeumonías y bronquitis crónicas. Los más conocidos son: *Cloro*; *Fosgeno* (sus efectos pueden verse retardados hasta 24 horas; su mezcla con agentes estornudógenos fue conocida como *rompemascaras* porque obligaba a quitarse la máscara); *Cloropicrina* (que además es un poderoso lacrimógeno). Fueron los primeros en emplearse masivamente en el campo de batalla.
- **Tóxicos sanguíneos o hemotóxicos.** Actúan por inhalación. El tóxico desplaza al oxígeno impidiendo su captación por la sangre. Sus efectos varían desde una irritación nasal o laríngea, hasta la pérdida de conocimiento y el fallo respiratorio que conduce a la muerte por asfixia. Los más conocidos son: *Ácido cianhídrico*⁶; *Clorocianógeno*; *Arsina*.
- **Vesicantes o dermatóxicos.** Son líquidos oleosos que provocan profundas quemaduras como las del ácido sulfúrico, penetran en el organismo a través de la piel y cuando alcanzan los tejidos internos son tóxicos, ya que actúan sobre la transmisión nerviosa. Sus efectos no son inmediatos, pudiendo aparecer a las tres horas de la contaminación. Se produce conjuntivitis, trastornos digestivos y erupciones cutáneas en las regiones expuestas, seguido de una inflamación de las vías respiratorias que pueden provocar la muerte por asfixia. Los más conocidos son: *Iperita* (por ser

Yprés el primer lugar en donde se empleó o *gas mostaza* (por su olor): Es un líquido oleoso, incoloro, de débil olor a mostaza; *Iperita nitrogenada*; *Lewisita*: Con olor a geranio.

- **Nerviosos o neurotóxicos.** Los anteriores agresivos se desarrollaron, y emplearon, durante la I GM. Los neurotóxicos fueron desarrollados por Alemania en el periodo entreguerras, pero Hitler nunca se decidió a emplearlos en el campo de batalla por su temor a la guerra de gases. El mismo permaneció una semana ciego cuando en la I GM, siendo cabo, fue gaseado con cloro.

Son compuestos órgano-fosforados, incoloros, inodoros e insípidos. Actúan por inhibición de la acetilcolinesterasa (enzima fundamental para la correcta transmisión del impulso nervioso). Su vía de penetración más importante es el aparato respiratorio, aunque también penetran por vía digestiva, ojos y piel. Sus efectos son muy rápidos, actúan inmediatamente después de producirse la absorción. Con pequeñas concentraciones pueden producirse gran número de bajas. Hay dos grandes grupos: agentes G desarrollados por Alemania y posteriormente mejorados por soviéticos y occidente: *Tabún*: Es un líquido oleoso que se descompone en ácido cianhídrico, lo que le da un olor a almendras amargas. *Sarín*: Es un líquido oleoso, tres veces más tóxico que el tabún. *Somán*: Es un líquido incoloro. El segundo grupo fue desarrollado tras la II GM, por los Estados Unidos y Gran Bretaña, son los agresivos V (VX, VE, VM), que son líquidos de bajo punto de fusión, muy persistentes, y actúan fundamentalmente a través de la piel (vía cutánea). Su diferencia se basa en el ácido fosforado empleado.

Sus síntomas son contracción de la pupila (miosis) y vista turbia, dificultad respirato-

ria, convulsiones musculares y bajada de la presión arterial. El plazo de aparición de estos síntomas varía, de acuerdo con la dosis absorbida y vía de penetración, desde 30 segundos a 30 minutos por vía respiratoria y desde 15 minutos a dos horas por vía cutánea. La muerte sobreviene por parada cardiorrespiratoria. Sus efectos son acumulativos.

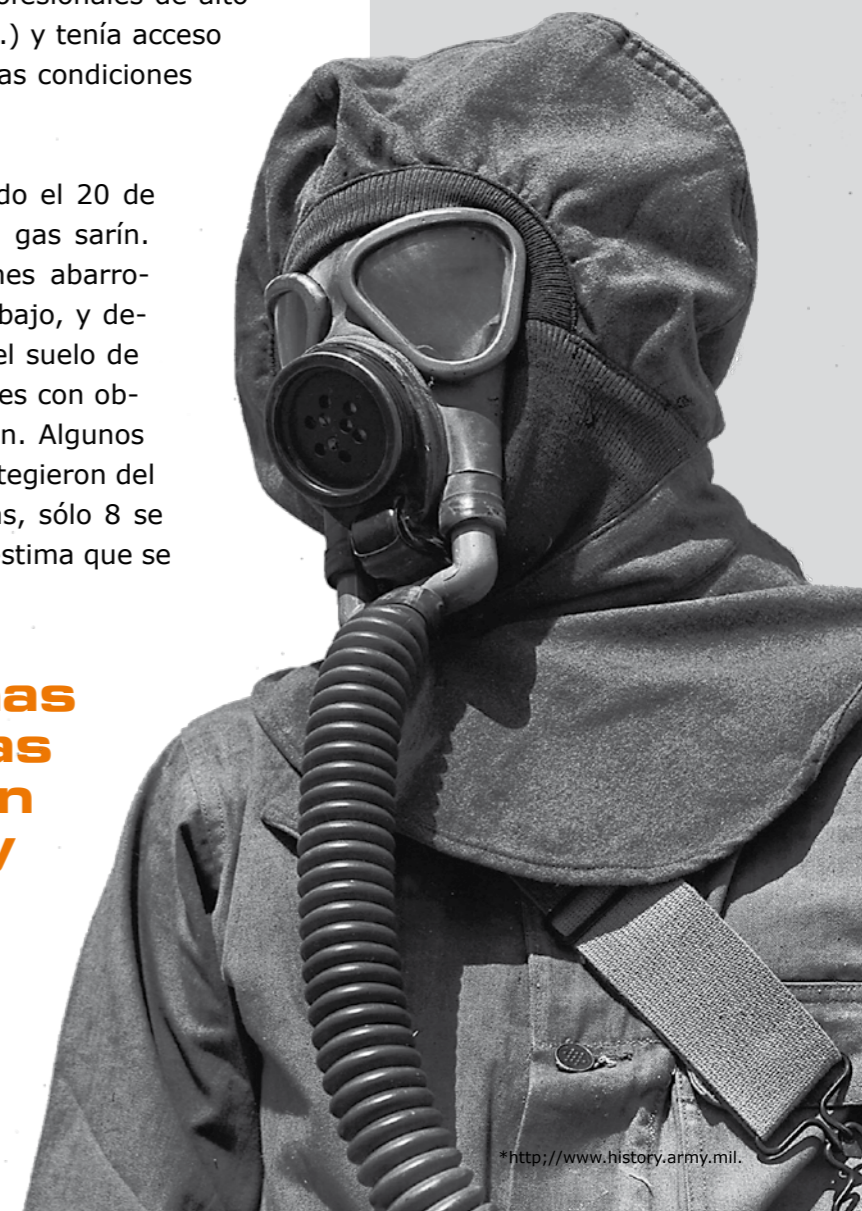
TERRORISMO CON ARMAS QUÍMICAS

Aunque numerosos grupos terroristas han amenazado con utilizar agresivos químicos en sus atentados, y lo intentan, hasta ahora solamente un grupo terrorista lo ha logrado. Fue la secta apocalíptica **Aum Shinrikyo** (La Verdad Suprema), en Japón, cuyo líder era Shoko Asahara, que realizó varios atentados en los años 1994 y 1995. Era un grupo legal que disponía de las condiciones para poder elaborar un arma química: Era muy solvente económicamente, contaba entre sus filas con profesionales de alto nivel, (entre ellos ingenieros, químicos, etc.) y tenía acceso a medios tecnológicos sofisticados. Sin estas condiciones es imposible acceder a las armas químicas

El atentado más importante fue el cometido el 20 de marzo de 1995 en el metro de Tokio, con gas sarín. Cinco miembros de la secta tomaron trenes abarrotados de personas que se dirigían a su trabajo, y dejaron caer 11 bolsas con sarín líquido, en el suelo de los vagones. Luego agujerearon los paquetes con objetos punzantes antes de abandonar el tren. Algunos portaban máscaras y bufandas, que los protegieron del sarín mientras escapaban. De las 11 bolsas, sólo 8 se rompieron, 3 se recuperaron intactas y se estima que se liberaron unos 4,5 kg de sarín.

“Las armas químicas son hijas de la revolución industrial y se emplearon masivamente en la I Guerra Mundial.”

6. La disolución de cianuro de hidrógeno en agua es llamada ácido cianhídrico (HCN), conocido también como cianuro de hidrógeno ó ácido prúsico. El cianuro de hidrógeno puro es un líquido incoloro, muy venenoso y altamente volátil, que hierve a los 26°C. Tiene un ligero olor a almendras amargas. Sus sales son conocidas como cianuros.



El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)



El metro de Tokio posee uno de los mejores sistemas de seguridad contra armas químicas.

*Foto por Théo La Photo (www.flickr.com).

A pesar de que sólo murieron 12 personas, unas 6.000 personas fueron atendidas en los hospitales, provocando el caos. Al principio no se conocía la causa, y la gente al sentirse mal se dirigió por sus medios a los hospitales, fueron unas 3.000 personas, contaminando medios de transporte y personal. Y aún cuando se conoció que había sido un ataque con sarín, no existían medios adecuados para la magnitud del atentado, así 135 componentes de los equipos de rescate fueron afectados. En total, de los 6.000 afectados fueron tratados 3.227, e internados 493.

La ausencia de instalaciones para descontaminación de emergencia y de equipos de protección originó una exposición secundaria del personal médico: 135 del personal de ambulancias y 110 del principal hospital de referencia sufrieron síntomas. Pero lo peor han sido las consecuencias posteriores, muchas personas todavía tienen dificultades respiratorias y depresión.

Como conclusiones, los terroristas tenían el agresivo pero fallaron en el sistema de difusión, que fue una autentica chapuza. Tras este ataque puede que Tokio tenga el mejor siste-

ma de seguridad contra atentados con armas químicas. Policías, bomberos y empleados del metro disponen de medios y del entrenamiento necesario para que un ataque como aquel tenga unas consecuencias mucho menores. Que es muy difícil, y costoso, conseguir los agresivos químicos y sus sistemas de difusión. Y que los daños psicológicos, angustia, ansiedad, temor, etc. afectan a un gran numero de población (incluso no afectada) y son de mayor duración que los físicos.

CONTROL DE LAS ARMAS QUÍMICAS

Para controlar las armas químicas, la comunidad internacional se ha dotado de un tratado, la Convención Armas Químicas (CAQ), y su órgano de control y verificación, la Organización para la Prohibición de Armas Químicas (OPAQ)⁷. España⁸ es firmante del Tratado y de la Organización desde el día de su constitución, el 13 de enero de 1993. Forman parte de ella 190 estados (de los que dos no lo tienen ratificado), lo que supone el 98% de la población mundial y de la industria química. Tan solo cinco no lo han firmado (Angola, Egipto, Siria, Corea del Norte y Somalia).

La OPAQ tiene sede en todos los estados firmantes de la Convención, y realiza controles de verificación en los estados partes, concretamente en las empresas, con la colaboración de las autoridades, tanto de su estado de origen como en otros, son las denominadas inspecciones internacionales que se realizan sin previo aviso.

¿Qué se verifica en las inspecciones? En los países que han declarado la posesión de armas químicas, se controlan las existencias, su almacenamiento, su grado de seguridad, etc. Y además, y en el resto de estados firmantes, en las industrias químicas las sustancias controladas por la Convención que pueden servir para fabricar los agresivos químicos.

A diferencia de lo que sucede con las armas nucleares, no es probable que las armas químicas tengan implicaciones estratégicas debido a la gran cantidad de agente químico y medios de diseminación necesarios para provocar una gran catástrofe. Y eso a pesar de la elevada toxicidad de los compuestos químicos que se emplean.

LOS MATERIALES TÓXICOS INDUSTRIALES (TIM)

A parte de las sustancias controladas por la OPAC, hay que considerar otras sustancias tóxicas no susceptibles de ser empleadas como armas. Son los denominados Materiales Tóxicos Industriales (TIM), que se encuentran en mayor cantidad cuanto mayor es la capacidad industrial de un país. Estos materiales constituyen un peligro potencial que afectará a las zonas en las que se encuentren, aunque los procesos normales de fabricación, almacenamiento y transporte no suponen un riesgo elevado, su emisión intencionada o por accidente afectará a la población de la zona.

Si el origen de estos compuestos es químico se denominan Tóxicos Industriales Químicos (TIC). Son materias en forma gaseosa, aerosol, líquida o sólida, usados con fines industriales, comerciales, médicos, domésticos, etc. Piensen en la gran cantidad de productos químicos que habitualmente existen en una casa, y más si además se hace bricolaje, pintura, jardinería, agricultura, etc. Pues eso multiplicado es lo que se encuentra en las zonas con industrias químicas y petroquímicas, que son puntos sensibles ante un ataque terrorista que los pueda liberar y así producir grandes incendios, contaminación del terreno, del agua o del aire y quizá una elevada mortandad⁹.

7. Puede consultar, en español, todo lo referente a la misma en: <http://www.opcw.org/sp/acerca-de-la-opaq/>
8. Los interesados en esta organización en España, que recibe el nombre de Autoridad Nacional para la Prohibición de las Armas Químicas, en sus actividades, oferta de empleo, etc., pueden consultar su página web en: <http://www.mityc.es/industria/ANPAQ/Paginas/Index.aspx>.
9. Recuerden las grandes catástrofes sucedidas en España. Como el incendio en el camping de los Alfaques en el que un camión cargado de propileno licuado explotó el 11 de julio de 1978, que provocó 243 muertos, y más de 300 heridos graves. O la rotura de la presa, 25 de abril de 1998, de una balsa de residuos químicos de 8 hm³, de la empresa Boliden en Aznalcóllar, que contaminó el cauce del río Guadiamar, y llegó al parque de Doñana. O el naufragio del barco petrolero Prestige.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)

ARMAS BIOLÓGICAS

Están formadas por un dispositivo de dispersión (mecánico o seres vivos como ratas, insectos, etc.) y un agente biológico (microorganismos o sus productos – toxinas-) ¹⁰ capaces de originar enfermedad en los seres vivos (hombre, animales y plantas); o bien contaminar suministros de alimentos, fuentes de agua, etc.

Para que un microorganismo pueda ser usado como arma biológica debe de poseer unas capacidades naturales. Entre ellas: gran transmisibilidad ¹¹, periodo corto de incubación ¹², gran infectividad ¹³, patógeno ¹⁴, gran mortalidad o en su defecto grave enfermedad, que la población objetivo no esté inmunizada (vacunada), que no exista tratamiento o no haya suficientes reservas de medicación capaces de contrarrestar sus efectos.

Clasificación

El campo de los microorganismos es muy complejo y existen numerosas clasificaciones, una de ella se basa en su objetivo: hombre, animales y plantas; otra en sus efectos mortales o no; en su tamaño, Virus, Bacterias, Hongos y Protozoos.

De esta última clasificación recordar que los **virus** son los microorganismos más pequeños que existen, están compuestos por material genético (ARN ¹⁵ o ADN ¹⁶) y una capa protectora. Para vivir necesitan entrar en el interior de las células, vegetales o animales, ya que carecen de mecanismos biosintéticos y generadores de energía. Al ser los seres vivos más elementales tienen una gran capacidad natural de mutación, y para ser manipulados genéticamente. Son los que producen las enfermedades más comunes y a la vez más graves. No responden al tratamiento con antibióticos.

Los candidatos

Las Orientaciones de Defensa NBQ del Ejército y el manual NBQ de la OTAN, citan 31 organismos con potencia real para poder ser utilizados como armas biológicas. Pero entre ellos los que más interés tienen para ser utilizados son: el **ántrax** o carbunco, endémico en muchos países, entre ellos España,

que ataca a la piel produciendo úlceras similares a una quemadura. Pero que tiene una variedad que ataca a los pulmones, se propaga por inhalación y es muy letal, prácticamente el 100% de los infectados si no se aplica un tratamiento adecuado y a tiempo. Forma esporas por lo que puede ser utilizada en seco ¹⁷. La **viruela** (variola mayor) que se encuentra erradicada desde 1977, pero todavía existen cepas guardadas en dos laboratorios de referencia de la OMS. (Organización Mundial de la Salud); en varios laboratorios de los Estados Unidos y de Rusia. Se desconoce si se conserva en otros laboratorios en violación de la Convención de Armas Biológicas y Toxinas de 1972. Tiene un porcentaje del 90% de mortalidad ¹⁸. La **peste** (yersinis pestis) está producida por una bacteria. Existen cuatro variantes, siendo la neumónica, cuya vía de entrada es la respiratoria, la que tiene un desarrollo más grave pudiendo alcanzar hasta el 60% de mortalidad. El **ébola**, o Fiebres Hemorrágicas

“Las armas biológicas están formadas por un dispositivo de dispersión y un agente biológico capaces de originar enfermedad en los seres vivos.”

10. Son sustancias tóxicas elaboradas por los seres vivos, básicamente por los microorganismos, algunas se han podido obtener sintéticamente. Por su origen biológico se clasifican en: fitotoxinas, de origen vegetal; zootoxinas, de origen animal; y toxinas microbianas.
11. Es la capacidad de producir un crecimiento tal en el huésped que permita ser transmitido en número suficiente a un nuevo huésped, infectándolo. El paso de un huésped a otro puede efectuarse por contacto directo, o bien, indirectamente por medio de vectores, el aire, alimentos, agua u objetos inanimados.
12. Es el tiempo que tardan en manifestarse los síntomas de la enfermedad desde la penetración del microorganismo.
13. Es la capacidad de los microorganismos de introducirse, alojarse y multiplicarse en el organismo, iniciando la infección al vencer las barreras defensivas del organismo (piel, mucosas, barreras de aparato respiratorio, gastrointestinal o genitourinario, etc.).
14. Es la capacidad de iniciar o inducir la enfermedad. Puede verse modificada variando la puerta de entrada en el organismo.
15. El ácido ribonucleico, ARN, o RNA, es un ácido nucleico. Desempeña diversas funciones. el ADN no puede actuar solo, y se vale del ARN para transferir esta información vital durante la síntesis de proteínas (producción de las proteínas que necesita la célula para sus actividades y su desarrollo).
16. El ácido desoxirribonucleico, ADN, es un tipo de ácido nucleico que forma parte de todas las células. Contiene la información genética usada en el desarrollo y el funcionamiento de los organismos vivos conocidos y es responsable de su transmisión hereditaria.
17. Como el que se empleó en el envío de cartas en los Estados Unidos tras el 11S.
18. Es la enfermedad que se considera de más probable uso, así todos los soldados norteamericanos (más otros funcionarios como los de las embajadas) que participaron en las guerras del golfo estaban vacunados contra ella. Y que España compró numerosas vacunas por su posible utilización.

Material para detección e identificación biológica y química.

El uso letal de la Ciencia: Armas de destrucción masiva (II)

Virales (FHV-ébola) causadas por virus de distintas familias. Con una letalidad del 90% es altamente infeccioso y volátil. El **botulismo**, enfermedad provocada por la toxina producida por la *Clostridium Botulinum* y *Perfringens*, no se transmite de persona a persona, y es una de las toxinas más potentes¹⁹. Se pueden diseminar por aerosol o por sabotaje, y no existe ni vacuna ni antídoto.

Métodos de diseminación

La diseminación es la acción de liberar intencionadamente un agente biológico, de forma que pueda alcanzar su objetivo con capacidad infectante. Existen tres métodos de diseminación: **Aerosoles**, este tipo de diseminación es muy eficaz para la penetración en el organismo de los agentes biológicos a través del aparato respiratorio. **Vectores** se utilizan a mosquitos, moscas, piojos, garrapatas, etc. para llegar a plantas, animales y hombres. Esta forma de diseminación es prácticamente imprevisible e incontrolable por lo que no es muy recomendable. **Sabotaje** en el agua, el aire, etc. Se especula en utilizar una persona enferma como portador y que transmita la enfermedad en lugares de aglomeración, especialmente aeropuertos.

Terrorismo biológico

La posibilidad de un ataque bioterrorista es la que más inquieta a los analistas. El peor escenario que se puede imaginar es la dispersión de organismos patógenos en zonas densamente habitadas. Este tipo de ataque puede ori-

ginar una alta tasa de mortalidad, no siendo percibido en principio por las personas que son infectadas. Hasta la fecha los casos más conocidos de terrorismo biológico perpetrados con agentes patógenos controlados han sido tres:

- En 1984 en los Estados Unidos, la secta hinduista Rajneeshes, seguidores de Bhadwan Shree Rajneesh, envenenaron con salmonela la comida de varios restaurantes de la localidad de The Dalles en el estado de Oregón. El resultado fue de 751 afectados por la infección, pero ningún fallecimiento.
- En Japón, desde 1990 a 1995, el grupo Aum Shinrikyo realizó diversos ataques utilizando toxinas de botulismo y agentes de carbunco líquido en diversos escenarios: el centro de Tokio, el metro, el aeropuerto, el Parlamento, y parece ser que en dos bases navales americanas. No hubo ningún informe oficial de fallecidos o afectados.
- El caso más importante por sus resultados, 5 muertos, y por el impacto mediático y social que tuvo, fue el envío con cartas de ántrax entre octubre y noviembre de 2001²⁰, en los Estados Unidos. Se contabilizaron 22 casos positivos de cartas conteniendo carbunco, 11 de ellos con carbunco pulmonar, y otros 11 con carbunco cutáneo. Además de los fallecidos se infectaron 18 personas y a 30.000 más se les suministró antibióticos para prevenir la infección. Durante mucho tiempo fue un misterio el origen de las esporas de ántrax, hasta que en 2008 se fue cerrando el cerco al doctor Bruce E. Ivins del USAMRIID²¹, ya que la cepa de ántrax utilizada era idéntica a la Ames del propio centro. La presión de la prensa llegó a ser

tan extrema que Ivins fue ingresado por depresión, y el 27 de julio se suicidó. Para algunos medios de comunicación la muerte es extraña y el caso todavía no se ha resuelto.

A modo de apresurada conclusión

Después un vistazo tan rápido a las armas NBQ, transmitir que la amenaza existe, que hay científicos (terroristas) que buscan el hacer el mayor daño posible, pero que hoy existen medios y mecanismos para, dentro lo posible, prevenir a la sociedad ante un ataque de este tipo. Lo fundamental ante un acto NBQ es la gestión eficaz de la Emergencia. Para lograrlo es necesario: la alerta temprana, la existencia de servicios policiales, militares, sanitarios y emergencia preparados y alertas, coordinación entre ellos previa a la emergencia, la realización de ejercicios y simulacros en los que participen todos los organismos que lo harían en la realidad, y la existencia de planes de emergencia que sean permanentemente actualizados y mejorados. Especialmente necesarias son las medidas de coordinación, pues ningún servicio por sí solo puede resolver un ataque (atentado) con armas NBQ.

José Manuel Vicente
Dpto. de Sistemas de Armas
Academia General Militar
Zaragoza

19. A igual cantidad de agente es 15.000 veces más potente que el agresivo neurotóxico VX y 10.000 veces más potente que el sarín.
20. Por su proximidad temporal (los envíos comenzaron el 18 de septiembre) a los atentados del 11 S a las Torres Gemelas y el Pentágono, en un principio, se relacionó con ellos.
21. Instituto de Enfermedades Infecciosas del Ejército, que es el Centro donde se estudia y trabaja, entre otras enfermedades, con el ántrax.

“Especialmente necesarias son las medidas de coordinación, pues ningún servicio por sí solo puede resolver un ataque con armas NBQ.”



*Foto por José Manuel Vicente.