

ANALES DE QUÍMICA

Revista de la Real Sociedad Española de Química

Segunda época

www.rseq.org/anales

Volumen 108

Número 4

Octubre-Diciembre 2012

Páginas 285-384



j.f.c

Síguenos en Facebook y Twitter

ISSN 1575-3417



INVESTIGACIÓN

C. Avendaño
Inhibidores de PARP
A. Suarez
Cicloadiciones dipolares
A. Puga
Baterías de litio

HISTORIA DE LA QUÍMICA *Turing y la Química*

DIVULGACIÓN DE LA QUÍMICA

RECORDANDO EL AIQ
LA QUÍMICA EN LA WEB
CARTAS AL EDITOR



26	3	58	16	
Fe	Li	Ce	S	
9	53	99	73	16
F	I	Es	Ta	S

Entidades colaboradoras



Socios Corporativos

- Aldrich Química
- Bruker
- Cepsa
- Feique
- Janssen Cilag
- Lilly España
- Sugelabor

Real Sociedad Española de Química ♦ Junta de Gobierno

Presidente

Jesús Jiménez Barbero

Vicepresidentes

Pilar Goya Laza
Agustí Lledós Falcó

Secretario General

Pedro J. Pérez Romero

Tesorera

Paloma Yáñez-Sedeño Orive

Editor General

Bernardo Herradón García

Vocales

Valentín García Baonza
Pilar Gómez Sal
Miguel Ángel Miranda Alonso
Emilia Iglesias Martínez
Sonsoles Martín Santamaría
Mariona Sodupe i Roure

Ex-Presidente

Nazario Martín León

Presidentes de Secciones Territoriales

Alicante
Miguel Yus Astiz

Aragón
Concepción Gimeno Floría

Asturias
Marta Elena Díaz García

Cataluña
Antonio Echavarren Pablos

Castilla-La Mancha
Julián Rodríguez López

Extremadura
Vacante

Galicia
Carlos Saá Rodríguez

Granada
Juan Manuel Salas Peregrín

Islas Baleares
José Manuel Saá Rodríguez

Islas Canarias
Fernando García Tellado

La Rioja
Pedro J. Campos García

Madrid
Juan José Vaquero López

Málaga
Juan Teodomiro López Navarrete

Murcia
Alberto Requena Rodríguez

Navarra
Vacante

País Vasco
Pascual Román Polo

Salamanca
Miguel Ángel Bañares Muñoz

Sevilla
Rosario Fernández

Valencia
Gregorio Asensio Aguilar

Valladolid
Juan A. Casares González

Presidentes de Grupos Especializados

Adsorción Jose Rubén García Menéndez

Calorimetría y Análisis Térmico Francisco Fraga López

Coloides e Interfases Luis M. Liz Marzán

Cristalografía y Crecimiento Cristalino Fernando J. Lahoz

Didáctica e Historia Manuela Martín Sánchez

Electroquímica Vicente Montiel Leguey

Física Atómica y Molecular Luis Bañares Morcillo

Física del Estado Sólido Luis Viña Liste

Fotoquímica José M^a Álvarez Pez

Hidratos de Carbono Francisco Santoyo González

Historia de la Ciencia Pascual Román Polo

Jóvenes Investigadores Químicos Begoña Milián Medina

Nanociencia y Materiales Moleculares Fernando Langa de la Puente

Polímeros Julio San Román Del Barrio

Química Agrícola M^a Luisa González San José

Química Biológica José Luis Mascareñas Cid

Química del Estado Sólido Regino Sáez Puche

Química Inorgánica Jaime Casabó Gisbert

Química Orgánica Joan Bosch Cartes

Química Organometálica Pedro J. Pérez Romero

Química Productos Naturales Isidro González Collado

Reología Antonio Santa María Ibarburu

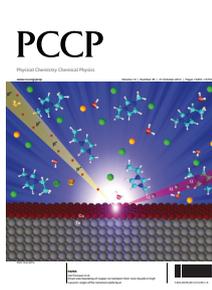
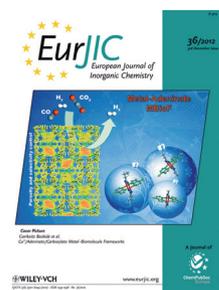
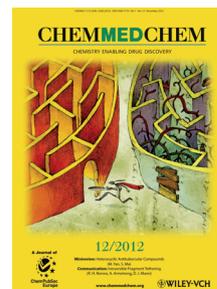
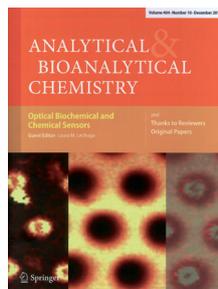
Resonancia Magnética Nuclear Óscar Millet Aguilar-Galindo

Termodinámica Jaime Amorós Arnau

Representantes

ANQUE Carlos Negro Álvarez
RSEF Bianchi Méndez Martín

Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química





Pocas imágenes se asocian a una ciencia como la Tabla Periódica con la Química. Hasta llegar a su representación actual, ha hecho falta el trabajo de muchos científicos. Este aspecto histórico es abordado en esta edición de Anales de Química, con un tributo especial Mendeléiev y Moseley.

ANALES de la Real Sociedad Española de Química

Editor General

Bernardo Herradón
Instituto de Química Orgánica General

Editora Adjunta

Sonsoles Martín-Santamaría
Universidad CEU San Pablo

Editora Asociada

Yolanda Pérez-Cortés
Universidad Rey Juan Carlos

Comité Editorial

Manuel Blázquez
Universidad de Córdoba
Pedro J. Campos
Universidad de La Rioja
Juan A. Casares
Universidad de Valladolid
Miquel Durán
Universidad de Girona
Valentín García-Baonza
Universidad Complutense de Madrid
Javier García-Martínez
Universidad de Alicante
Juan José Iruín
Universidad del País Vasco, San Sebastián
Pedro J. Pérez
Universidad de Huelva
Gabriel Pinto
Universidad Politécnica de Madrid
Mario Redondo
Inspector de Educación en la zona Sur Madrid
Pascual Román
Universidad del País Vasco, Bilbao
Paloma Yáñez-Sedeño
Universidad Complutense de Madrid

Secretaría Administrativa

Patricia Yáñez-Sedeño
Real Sociedad Española de Química

Facultad de Ciencias Químicas Universidad Complutense

Ciudad Universitaria
28040 Madrid
Tel (+34) 913 944 356
Fax (+34) 915 433 879
www.rseq.org

Diseño, Realización y Publicidad

ADI SERVICIOS EDITORIALES
<http://www.auladoc.com>

Depósito Legal: M-232-1958
ISSN: 1575-3417

Anales de la Real Sociedad de Química

Volumen 108 ♦ Número 4 ♦ Segunda época
Octubre-Diciembre 2012

Sumario

Editorial	288
<i>Bernardo Herradón</i>	
Cartas al Editor	289
Investigación Química	
La paradoja farmacéutica. Anticancerosos basados en la hipoxia celular. Inhibidores PARP.	290
<i>M^a del Carmen Avendaño-López</i>	
Líquidos iónicos como electrolitos estables para baterías de litio y otros dispositivos de almacenamiento de energía	298
<i>Alberto V. Puga</i>	
Reacciones de cicloadición 1,3-dipolares a alquinos catalizadas por cobre	306
<i>Andrés Suárez</i>	
Historia de la Química	
El icono de los químicos: la tabla periódica de los elementos	314
<i>Eduardo J. Fernández y Julio Fernández</i>	
Aportaciones de Alan Turing al ámbito de la química: Teoría de la morfogénesis e interpretación de algunas reacciones químicas	322
<i>Manuela Martín-Sánchez, María Teresa Martín-Sánchez, Gabriel Pinto</i>	
Recordando el AIQ	
“La Química a escena” en el Museo de la Ciencia de Valladolid, una tabla periódica interactiva 3D y mucho más	328
<i>Manuel Bardají, Inés Rodríguez</i>	
Córdoba celebra la Química	334
<i>Alberto Marinas, Carmen Michán, Teresa Roldán-Arjona, Manuel Blázquez</i>	
El Año Internacional de la Química en La Rioja: un año en nuestra vida, una apuesta para nuestro futuro	340
<i>J. Héctor Busto, Pedro J. Campos</i>	
Alrededor de la Química	
Divulgación de la Química:	
Una propuesta de divulgación científica: actividades festivas para niños y jóvenes... ¡cumple con la química!	344
<i>Gabriel Pinto y María Luisa Prolongo-Sarria</i>	
La Química en la WEB	352
Reseña de libros	356
Noticias de la RSEQ	357
Noticias Científicas Relevantes	369
Hitos científicos del año 2012	376
Índice de autores	381

Editorial

Termina 2012, el primer año tras la conmemoración del *Año Internacional de la Química* (AIQ). Durante este año se han consolidado muchas iniciativas comenzadas en 2011 y se ha seguido trabajando para aumentar la percepción social de la química. Los medios de comunicación son fundamentales para alcanzar este objetivo, siendo el nexo de unión entre los profesionales de la química y los ciudadanos. Aunque aún se publica alguna noticia negativa relacionada con la química, la mayor parte del tratamiento en los medios de comunicación es positivo, reconociendo el papel que la química tiene en el bienestar del ser humano; lo que supone un cambio considerable desde el año 2010. Por otro lado, también como consecuencia del AIQ, la presencia de noticias, blogs y foros de discusión sobre química ha aumentado significativamente en INTERNET, con excelentes sitios web que se hacen eco de los avances de la química, y que hemos recogido en la sección “La Química en la WEB”. El AIQ también ha supuesto que muchas personas relacionadas con las diversas facetas de la química hayan organizado numerosas actividades de valor educativo y divulgativo. Durante 2012 hemos mantenido la sección “Recordando el AIQ”, donde hemos publicado artículos describiendo este tipo de iniciativas. Aunque organizadas con motivo del AIQ, son actividades que pueden usarse en otros contextos y posiblemente anime a docentes de enseñanza preuniversitaria a realizarlas en sus centros de enseñanza.

La química es una ciencia extraordinaria, capaz de preparar numerosas sustancias que contribuyen al progreso de otras ciencias y a facilitarnos materiales valiosos para nuestra salud, cuidado, felicidad, trabajo, etc. El vigor de la química se pone de manifiesto por el reciente anuncio de que el CAS (*Chemical Abstract Service*) registra su sustancia 70 millones sólo 18 meses después de llegar a la marca de los 60 millones. Aunque este dato cuantitativo puede tener un valor relativo, también hay que destacar que la química está haciendo progresos considerables, como hemos destacado en la sección “Noticias Científicas Relevantes” (NCRs). En este número, junto a estos avances recientes, hemos hecho balance de algunos hitos de la ciencia (sin distinción de áreas) en 2012. En esta selección observamos la importancia de la química en los avances de otras áreas científicas. Podemos decir que la investigación química mundial está en un buen momento. También en España se vive una buena situación científica: cada vez se publican más artículos en revistas de gran prestigio (lo que hemos destacado en bastantes NCRs durante este año); y observamos, año tras año, que la química española está en los primeros lugares a nivel mundial. Y esta situación

se produce en unas circunstancias de crisis económica que está afectando seriamente a la ciencia en nuestro país. En el trimestre transcurrido desde la pasada edición de *Anales de Química*, la situación ha empeorado, produciéndose múltiples manifesta-

ciones en defensa de la ciencia y la educación. En la sección “La Química en la WEB” se recogen algunas noticias en prensa y artículos en INTERNET sobre este asunto.

Dejando al lado esta mala situación, el buen momento de la química en España queda de manifiesto en los artículos de Investigación Química que publicamos, que abordan temas de actualidad en áreas tan distintas como el diseño de fármacos, el almacenamiento de energía y la metodología sintética. Si sólo tuviésemos que elegir una imagen representativa de la química, posiblemente sería la Tabla Periódica. La portada de este número recoge un bonito diseño de la Tabla Periódica, realizado por Julio Fernández, que es el coautor de un artículo narrando la historia del desarrollo de la Tabla Periódica. Otro icono de la ciencia fue Alan Turing, genial matemático, al que podemos considerar el padre de la computación práctica. Aunque aparentemente alejado de la química, las ideas de Turing han influido en nuestra ciencia, como se pone de manifiesto en un artículo en esta edición. Aparte de las secciones ya mencionadas, y otras habituales (Cartas al Editor y Noticias de la RSEQ), hay que destacar el artículo de la sección “Divulgación de la Química”, en la que se presentan un conjunto de actividades variadas dirigidas a niños muy pequeños; a los que hay que interesar por la ciencia desde edades muy tempranas. Como en la despedida de ese artículo, os deseo



Espero que disfrutéis de este número de *Anales de Química* y os deseo un Feliz 2013.

Las cartas se pueden remitir por correo electrónico a editor.general@rseq.org o a b.herradon@csic.es

¿Es malo publicar mucho? ¿O es un mal necesario?

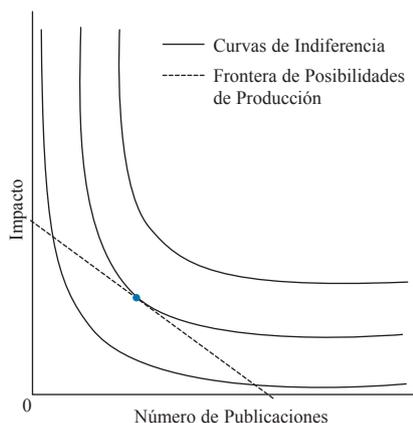
La relación cantidad/calidad de las publicaciones y su contribución al progreso del conocimiento es uno de los temas recurrentes de discusión entre investigadores de todos los campos del conocimiento. Tal y como señala Elguero,¹ existe la impresión generalizada entre algunos colectivos de investigadores, de que publicar mucho implica publicar mal (al menos en términos de índices de impacto).

Coincidimos con el profesor Elguero en que es necesario respetar la elección individual de qué merece ser publicado y qué no, especialmente por las repercusiones de toda índole que recaen sobre el equipo de investigadores. Sin embargo, queremos incidir en un aspecto que indudablemente influye en el modelo de cada investigador. Dentro del sistema actual, al menos en lo que respecta a la investigación en el ámbito universitario, existen diversos procesos de acreditación y habilitación selectivos para poder optar a los diversos puestos de la escala académica. Cada proceso se rige por unas “reglas del juego” en las que cada mérito docente e investigador trata de ser objetivizado y cuantificado (tarea sin duda compleja, irónicamente subjetiva y no exenta de polémica). Este sistema es sin duda necesario para establecer criterios que aseguren cierto nivel de calidad y están en consonancia con los implantados en otros países desarrollados, pero provoca que el número y el impacto de las publicaciones venga determinado por la valoración que el sistema de evaluación haya decidido otorgar a cada uno de los méritos, al menos hasta que el investigador se consolida.

Recurriendo a una herramienta del mundo de la economía internacional como es la frontera de posibilidades de producción (FPP), cada investigador dispone de una serie de horas de trabajo que puede dedicar al número de publicaciones que desee. Asumiendo que publicar en revistas de mayor impacto requiere mayor dedicación, existe un dilema o “trade-off” entre menos publicaciones de alto impacto o más publicaciones de menor impacto. Esto se representa en el gráfico, en el que en los ejes se representa el número de publicaciones y su impacto. La recta discontinua represen-

ta las distintas combinaciones posibles en las que a medida que sube el impacto, se reduce el número de publicaciones y viceversa. Sería posible situarse por debajo de esta recta (subutilización de las horas de trabajo), pero no por encima, aunque la recta podría desplazarse hacia arriba o hacia abajo si la productividad del investigador aumenta o disminuye.

Podría parecer que la elección de donde situarse en la FPP recae únicamente en la preferencia del investigador. Sin embargo, es aquí donde queremos resaltar el papel decisivo de la cuantificación de méritos en los sistemas de evaluación, ya que existen méritos que se puntúan por igual pero que suponen un esfuerzo distinto al investigador. Esto se representa mediante curvas de indiferencia, que serán tanto más preferidas cuanto más alejadas del origen. Puesto que no es posible situarse fuera de la FPP, la curva de indiferencia preferida será aquella que toque a la propia frontera, determinando así el número e impacto de las publicaciones que mayor utilidad proporcionan al investigador.



Actualmente los procesos de acreditación y habilitación, así como los sexenios de investigación, indican orientativamente la necesidad de presentar un número mínimo determinado de publicaciones para ser evaluado positivamente. Esto provoca que lo más conveniente sea dedicarse a lograr los méritos requeridos, desincentivando la búsqueda de un mayor impacto ya que el mayor esfuerzo no se ve compensado.² Añadiendo a esto una situación político-económica en la que los presupuestos destinados a la investigación están a la baja, llegando a extremos, hasta ahora inéditos, de despidos de profesores contratados docto-

res, la urgencia de lograr una evaluación positiva crece exponencialmente, especialmente entre investigadores jóvenes. Así, esta inestabilidad laboral y la exigencia de un número mínimo de publicaciones conllevan que para agilizar la consecución de la evaluación positiva a menudo proyectos de investigación que podrían dar como fruto publicaciones de mayor impacto dedicándoles el tiempo y recursos necesarios, sean finalizados en cuanto es posible extraer de ellos un mérito de valoración equivalente.

Decía Einstein³ que “...una carrera académica en la que una persona se ve forzada a producir artículos científicos en grandes cantidades conlleva el riesgo de una superficialidad intelectual.” Para evitarlo, resulta condición necesaria (aunque no suficiente) el proporcionar una estabilidad laboral que hasta ahora resulta inexistente para muchos, y que tampoco tiene atisbos de establecerse próximamente con las decisiones políticas adoptadas en nuestro país encaminadas a incrementar la excelencia, pero que olvidan que para lograrlo se requieren muchos científicos de base.⁴ Nosotros, por nuestra parte, desconocemos si publicar mucho es malo, pero sí sabemos que a veces no queda más remedio.

María Ángela Sainz-Polo

Instituto de Química-Física “Rocasolano” (IQFR-CSIC), C-e.: xmangela@iqfr.csic.es

Alfredo Jiménez Palmero

Departamento de Administración y Dirección de Empresas. Universidad de Burgos

Juan Alfredo Jiménez Eguizábal

Departamento de Ciencias de la Educación. Universidad de Burgos

Notas

1. J. Elguero, “¿Es malo publicar mucho? O el problema de optimizar una función”. *An. Quim.* **2010**, *106*, 112–113.
2. Es cierto que en la evaluación también se consideran otros aspectos como el número de citas de una publicación, lo que incentiva buscar un mayor impacto. Sin embargo, teniendo en cuenta que los artículos tardan bastante tiempo (incluso años) en ser publicados, leídos y citados en otras publicaciones (que también tardan años en publicarse), el reconocimiento a la mayoría de artículos excepcionales suele llegar de forma posterior a la solicitud de evaluación.
3. W. Isaacson, *Einstein, his life and universe*, Ed. Simon & Schuster, New York, **2007**.
4. J. Elguero, “La Química Española: 2005–2020”, *ARBOR* **2006**, *182*, 153–166.

La paradoja farmacéutica. Anticancerosos basados en la hipoxia celular. Inhibidores PARP

M^a del Carmen Avendaño-López

Resumen: El desarrollo de fármacos está inmerso en una paradoja: una cantidad ingente de nuevos conocimientos básicos, especialmente los derivados de la genómica, se ve acompañada de una disminución en el número de fármacos que se introducen en la práctica clínica. Se comenta brevemente cómo la hipoxia, que caracteriza a muchos tumores sólidos, ha motivado el diseño de profármacos bio reducibles que se activan selectivamente generando especies citotóxicas o actuando como radiosensibilizantes, y qué perspectivas se han abierto para los inhibidores PARP.

Palabras clave: Anticancerosos, hipoxia, profármacos, radiosensibilizantes, PARP.

Abstract: The pharmaceutical world is immersed in a paradox: a huge amount of basic knowledge, especially from the genomic sciences, is accompanied by a decrease in the number of drugs approved for clinical use. Some hypoxia-based strategies for the treatment of solid tumours are commented: bio reducible produgs generating cytotoxic species and radiosensitizers, as well as the current perspectives of PARP inhibitors

Key words: Anticancer agents, hypoxia, prodrugs, radiosensitizers, PARP.

Introducción

Empecemos por decir que el término “cáncer” no es correcto, ya que hoy se sabe que engloba a más de 100 enfermedades distintas. La declaración de guerra al cáncer comenzó en 1971 con la firma por el Presidente Nixon de la *National Cancer Act*, en la que se propuso que los Institutos Nacionales de Salud tuvieran al cáncer como objetivo prioritario y se impulsó un acercamiento entre los organismos públicos de investigación y las empresas farmacéuticas. Pronto se apreció la rentabilidad a largo plazo que suponía “el estudio de la célula hasta sus últimas consecuencias”, un cambio de estrategia que permitió en una docena de años que las formas de cáncer de mayor incidencia contaran con fármacos específicos y con otros de eficacia variable. Gracias al desarrollo de la genómica y la proteómica las probabilidades de éxito son actualmente mayores. Sin embargo, a pesar del progreso extraordinario experimentado en el entendimiento de los mecanismos moleculares implicados en la carcinogénesis y en el desarrollo tumoral (en 1982 se descubrió el primer oncogén humano y hoy se conocen más de 500), el cáncer sigue siendo uno de los principales problemas de salud en los países civilizados. La *American Cancer Society*, que realiza cada año una estimación

del número de nuevos casos y del número de fallecimientos que provoca, prevé para el año 2012 un total de 1.638.910 nuevos casos y 577.190 fallecimientos en Estados Unidos,¹ siendo el descenso anual de muertes por cáncer desde que se dispone de datos (1999-2008) de un 1%.

Las dificultades encontradas en la quimioterapia del cáncer tienen múltiples causas, entre las que se encuentran la gran diversidad biológica que manifiesta cada uno de los distintos tipos en cada paciente incluyendo su evolución, los mecanismos que promueven su progresión, la aparición de resistencias a los tratamientos, y la gravedad de los efectos secundarios que éstos provocan. Por ello se considera fundamental el tratamiento individualizado. La mayoría de los cánceres se deben al mal funcionamiento (mutaciones) de nuestros propios genes y, por tanto, los fármacos deben tratar de inhibir un proceso que es esencial para la vida pero que ha empezado a funcionar de forma anormal. Hoy se sabe que las células de los tumores sólidos tienen alteradas al menos una decena de funciones básicas, y parece impensable plantear el elevado número de ensayos clínicos que se requerirían para averiguar cuáles son las que hay que bloquear para su remisión. Por ello, algunos investigadores tratan de diseñar estirpes de ratones que posean las mismas mutaciones que existen en los tumores humanos y hacer que estos genes se expresen en los mismos tipos de células a fin de diseñar modelos más fiables que los utilizados hasta el momento en los estudios preclínicos. Actualmente las terapias contra el cáncer son extremadamente complejas y en ellas hay que tener en cuenta la enorme cantidad de datos clínicos que se generan y los avances científicos que se producen en distintas áreas de conocimiento y en especial de la genómica. Estos avances, comunes a todo tipo de enfermedades, no acaban de cristalizar con la velocidad que cabría esperar en la introducción en la práctica clínica de “fármacos inteligentes”. De hecho la mayoría de la industrias farmacéuticas viven una etapa difícil, lo que no deja de ser una paradoja. La llamada medicina personalizada, más propiamente medicina individualizada, ha despertado muchas expectativas siendo ya para muchos una realidad mientras que otros le auguran muchas dificultades.



M.ª C. Avendaño

Catedrática de Química Orgánica
Académica de Número de la RANF
C-e: avendano@farm.ucm.es

Recibido: 28/05/2012. Aceptado: 23/07/2012.

La química en la quimioterapia del cáncer

Las capacidades de la síntesis orgánica han permitido que los productos naturales² o sus análogos, sigan siendo una fuente muy valiosa en la quimioterapia del cáncer³ y pueda disponerse de las cantidades que se requieren para su uso clínico de aquellos que han de ser obtenidos por síntesis o semisíntesis. Por otra parte, aunque muchos fármacos anticancerosos han surgido del cribado al azar, la química orgánica permite racionalizar la complementariedad estructural y electrónica entre un ligando y su diana biológica, así como las interacciones que se establecen entre ellos.⁴ El ADN sigue siendo la más importante de las dianas en la quimioterapia anticancerosa pero, como consecuencia de los descubrimientos acerca de las vías de señalización celular que se encuentran implicadas en el desarrollo del cáncer, aquéllas se han ampliado en gran medida al campo de las proteínas. El conocimiento de la estructura tridimensional de éstas por cristalografía de rayos X, y en su ausencia la aplicación de criterios de homología, permite diseñar utilizando preferentemente el cribado *in silico* pequeñas moléculas que se adapten a su estereoquímica y puedan interaccionar adecuadamente a través de sus grupos funcionales complementarios. No obstante, hay que ser muy cauto en cuanto a los resultados, ya que no puede olvidarse el paradigma de los farmacólogos: *in vivo veritas*. Se sabe que pueden existir muchas moléculas capaces de ocupar el mismo lugar de una enzima pero que, como ocurre con los inhibidores de diferentes proteínas cinasas que ocupan el sitio de unión del ATP, pueden adoptar distintos modos de unión. Por ello, la semejanza estructural no puede correlacionarse inequívocamente con la interacción con una cinasa específica. Por otra parte algunos compuestos, como es el caso del imatinib, se enlazan a una conformación inactiva de la enzima (la cinasa de Abelson en este caso), por lo que difícilmente podrían haber sido propuestos *a priori* por modelado molecular.⁵

Además de las consideraciones expuestas, los conocimientos químicos son esenciales para que un candidato a fármaco se convierta en un compuesto que posea propiedades farmacéuticas adecuadas (que sea *druggable*), y es que la estructura y propiedades de una molécula gobiernan tanto su actividad biológica (a través de sus interacciones con biomoléculas) como su biodisponibilidad (fundamentalmente por sus propiedades fisicoquímicas). Cuando se encuentra una molécula con una actividad deseable es frecuente que su desarrollo se frene por problemas en su farmacocinética (absorción, distribución, metabolismo y excreción, ADME). Estos problemas se resuelven aplicando diversas tecnologías para su formulación, modificando su estructura utilizando análogos, o desarrollando profármacos con mejores propiedades aunque éstos tengan que bioactivarse.

En los últimos años han irrumpido en la terapia anticancerosa productos procedentes de la biotecnología, entre los que se encuentran los anticuerpos monoclonales y algunas enzimas, pero también se han incorporado fármacos coadyuvantes como por ejemplo los radiosensibilizantes y distintos agentes de contraste de imagen cuyo desarrollo es en buena parte químico. Se han realizado también muchos esfuerzos para intentar un efecto más selectivo de los fármacos citotóxicos, de forma que se afecten lo menos posible las células sanas. La nanotecnología está ofreciendo algunas soluciones a éste y otros problemas, como el de la biodistribución, mediante la

administración de fármacos transportados en nanopartículas. Estas estrategias pretenden minimizar la citotoxicidad que supone una distribución no selectiva de los fármacos en el organismo y permiten que fármacos que poseen una extraordinaria eficacia pero que por su gran liposolubilidad tienen dificultades para su formulación farmacéutica, como son los taxanos, puedan ser utilizados en ausencia de vehículos tóxicos.

“Let the enzyme or receptor be the judge”.

Algunas terapias basadas en la hipoxia celular.

Esta frase, extraída de un trabajo reciente sobre peptidomiméticos basados en la pirrolinona,⁶ define gráficamente las dificultades con que se encuentra el denominado “diseño racional” de fármacos. Tratamos de predecir y de racionalizar, pero la química de la vida es demasiado compleja. Lo que a nuestro entender no debe hacerse es utilizar enfoques basados en los conocimientos de biología celular del siglo XXI menospreciando los conocimientos químicos, ni tampoco basarse en una química muy sofisticada utilizando modelos biológicos que no son apropiados. Aquí vamos a tratar de “pensar en química” utilizando algunos ejemplos de terapias anticancerosas, especialmente las que se dirigen a incrementar su eficacia en las células hipóxicas.

Un modo de aumentar la selectividad de los fármacos citotóxicos es emplear profármacos que sean bioactivados selectivamente en las células de tumores malignos explotando las características especiales de éstas: presencia o sobreexpresión de una enzima, hipoxia, menor valor del pH extracelular, u otras.⁷ Basándose en la hipoxia,⁸ una característica de los tumores sólidos en los que la presión parcial de oxígeno puede ser hasta de 5 mm Hg (correspondiente a una solución 7 mM), se han diseñado profármacos bio reducibles⁹ que contienen un grupo funcional susceptible de transformarse en un anión-radical (*trigger*) y provocar una cascada de acontecimientos que culmina con la formación de especies citotóxicas.¹⁰ Estos profármacos podrían ser muy útiles porque los tumores sólidos son los más difíciles de vencer debido entre otros factores a su resistencia a la radioterapia y a la mala difusión en ellos de los fármacos por su escasa vascularización. Entre los grupos funcionales que podrían ser reducidos biológicamente se encuentran los *N*-óxidos, las quinonas y los nitroderivados aromáticos, siempre que sus potenciales de reducción sean apropiados para ser activados por las correspondientes reductasas celulares. Algunas estrategias (GDEPT, VDEPT o ADEPT) emplean enzimas procedentes de otros organismos. En los nitroderivados aromáticos, los potenciales de reducción deben encontrarse en el intervalo que va de -330 a -450 mV. De esta forma, los aniones-radical que se forman por la adición de un electrón se eliminan en presencia de oxígeno molecular (que se transforma en radical superóxido) pero se mantienen en las células hipóxicas provocando en ellas el correspondiente efecto citotóxico (Figura 1). Resulta obvio que para que esta aproximación sea eficaz en terapéutica la citotoxicidad del anión-radical o la de las especies que de él deriven debe ser mucho mayor que la del radical superóxido producido en las células normales, con suficiente concentración de oxígeno (ver la Figura 9). Los compuestos que poseen potenciales de reducción fuera del intervalo mencionado son menos útiles, bien porque se reducen demasiado fácilmente y por tanto no se bioactivan selectivamente en los tejidos hipóxicos (valores mayores de -330mV), o porque su reducción es demasiado difícil y no se produce con

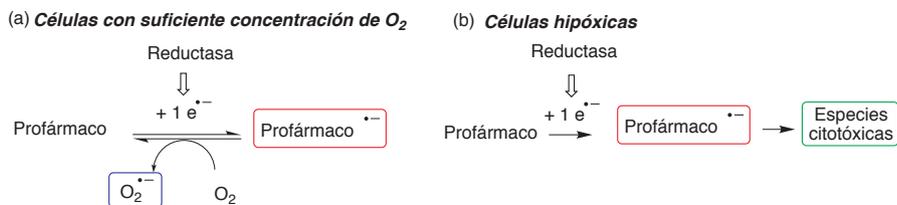


Figura 1. Evolución de los aniones-radicales en células oxigenadas e hipóxicas.

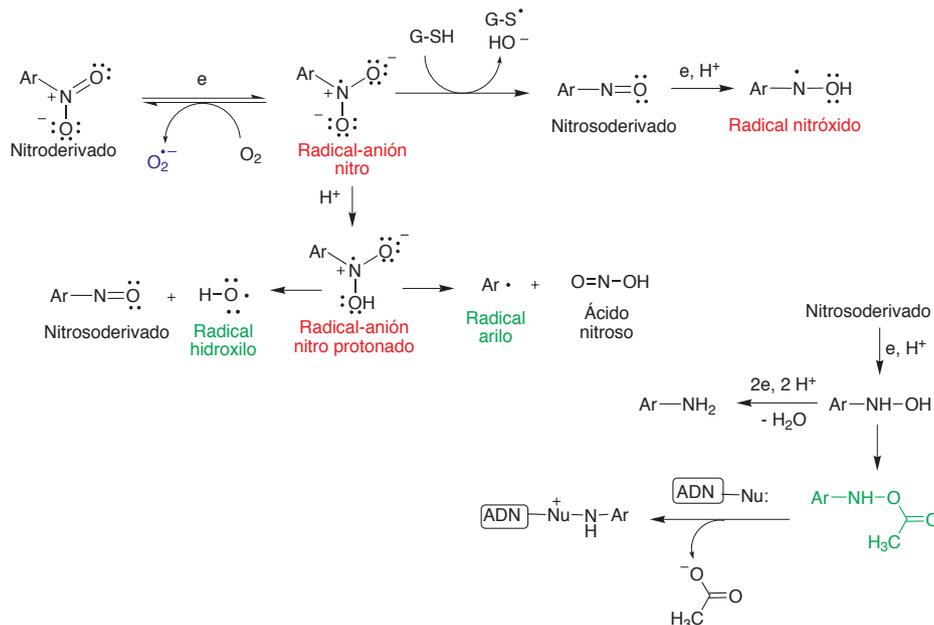


Figura 2. Algunos metabolitos y especies procedentes de la biorreducción de nitroderivados.

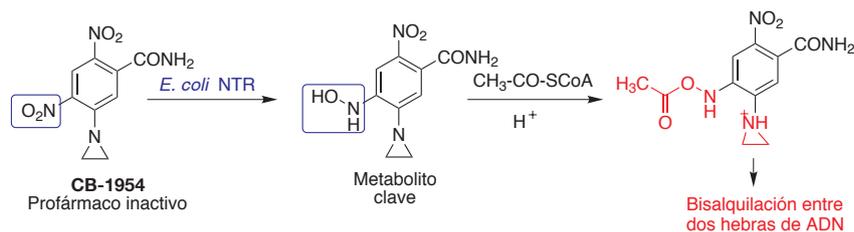


Figura 3. Ejemplo de terapia VDEPT.

la eficacia deseada ni siquiera en los tejidos hipóxicos (valores por debajo de -450mV).

En los nitroderivados aromáticos los metabolitos más citotóxicos son los radicales-anión nitro o sus derivados protonados, ya que generan radicales hidroxilo capaces de dañar a cualquier biomolécula incluyendo el ADN (Figura 2). Sin embargo, las concentraciones que se requieren para que estos profármacos sean suficientemente activos son demasiado altas en general y no son útiles en la práctica clínica.

Para aumentar las concentraciones locales de los metabolitos citotóxicos se ha ensayado la combinación de este tipo de profármacos con algunas reductasas de bacterias anaerobias, más eficaces que las humanas, utilizando con frecuencia vectores virales que transportan los genes responsables de su expresión (*virus directed enzyme prodrug therapy*, VDEPT).

El ejemplo que se indica en la Figura 3 se desarrolló hasta alcanzar diferentes fases de ensayos clínicos. Se trata de una combinación del profármaco CB1954 y la nitroreductasa de *Escherichia coli NfsB*, liberada en el tumor por un adenovirus no-replicante que expresa el gen *nfsB*.¹¹ La reducción ocurre selectivamente en el grupo nitro en posición *orto* al grupo aziridina, produciendo en el átomo de nitrógeno de éste un aumento de su densidad electrónica que facilita su protonación y, por tanto, su bioactivación como agente alquilante. Sin embargo, este metabolito no es suficientemente activo a pesar de que incrementa su eficacia mediante la *O*-acetilación del grupo hidroxilamino originando un agente bisalquilante capaz de establecer un enlace cruzado entre dos hebras de ADN. En definitiva, el valor terapéutico de esta combinación es todavía pequeño.¹²

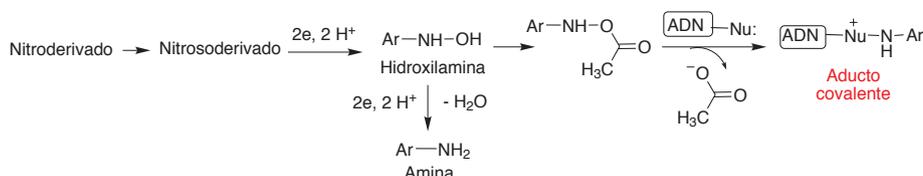


Figura 4. Reducción a hidroxilaminas y aminas.

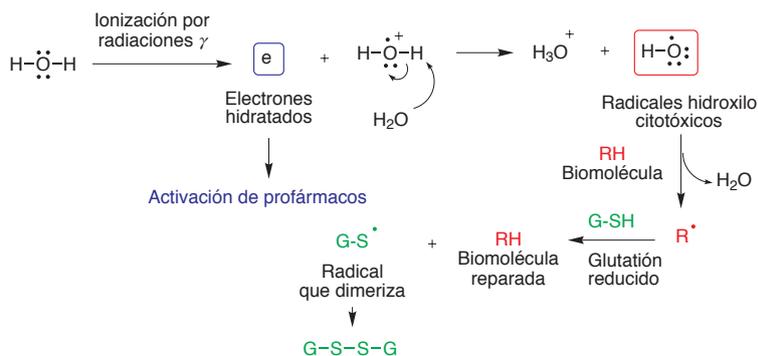


Figura 5. Algunos efectos de la radiación ionizante.

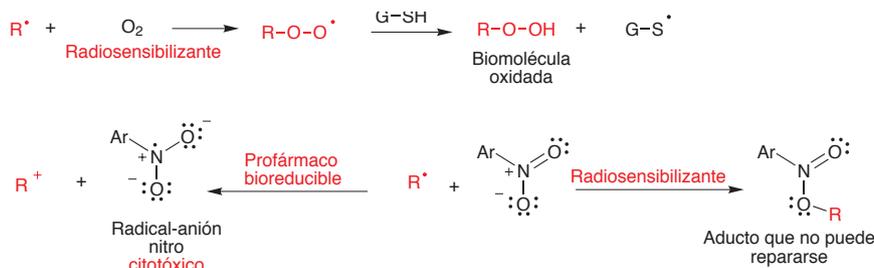


Figura 6. Algunos efectos de los radiosensibilizantes.

Hay que mencionar que, puesto que la reactividad de las mostazas nitrogenadas aromáticas como agentes alquilantes está determinada en gran medida por la densidad electrónica de su átomo de nitrógeno, la reducción enzimática de un grupo nitro situado en dicho anillo a hidroxilamina origina en general un agente alquilante de mayor potencia. Hay que decir además que la *O*-acetilación es una reacción muy común en los metabolitos con estructura de hidroxilamina (los más frecuentes dado que la reducción posterior a amina requiere potenciales de reducción muy negativos), y que estos derivados son capaces de formar aductos covalentes con el ADN (Figura 4).

La falta de eficacia mostrada por las metodologías que utilizan profármacos bio-reducibles se debe en buena medida a que los tejidos con una hipoxia severa son necróticos y, por tanto, carecen de las enzimas y cofactores necesarios para que se produzca su adecuada activación. Una alternativa que no está exenta de problemas es la administración conjunta de estos profármacos con radioterapia. La radiación ionizante aplicada localmente es una de las estrategias más utilizadas en el tratamiento del cáncer. Se trata de una terapia que genera radicales libres, como hacen muchos anticancerosos con estructura quinónica o quinonimínica, las bleomicinas, los enodiinos, algunos nitroderivados, *N*-óxidos, etc. La radioterapia genera radicales hidroxilo y electrones hidratados mediante la fragmentación de moléculas de agua. Los radi-

cales hidroxilo son citotóxicos porque disparan la formación de radicales cuando interaccionan con distintas biomoléculas, un proceso que en el caso del ADN produce la ruptura de sus hebras. A su vez, la citotoxicidad celular provocada por la formación de radicales libres puede repararse con antioxidantes como el glutatión, debido a que los radicales de azufre tienden a dimerizarse para dar disulfuros estables (Figura 5).

Los electrones liberados en la ionización del agua son agentes reductores mucho más potentes que las enzimas, por lo que puedan bioactivar profármacos bio-reducibles más eficazmente que éstas. Sin embargo, debido a su baja concentración, es necesario que las especies citotóxicas que se originen en la reducción del profármaco sean muy potentes. Con este fin se han estudiado por ejemplo ciertas sales de amonio cuaternario que contienen un sustituyente nitroheteroarilmetilo (*nitroaryl-methyl quaternary salts*, NMQ), que pueden funcionar como profármacos del agente alquilante mecloretamina, aunque todavía no han encontrado aplicación clínica. Ya hemos mencionado que los tumores malignos hipóxicos son resistentes a la radioterapia, de hecho, las células muy hipóxicas o anóxicas requieren para que se produzca su muerte dosis de radiación 2 ó 3 veces superiores a las bien oxigenadas, y esto sucede porque el oxígeno se comporta como un radiosensibilizante. La eficacia de la radiación ionizante es hasta 3,5 veces mayor en presencia de oxígeno debido a que éste transforma los radicales

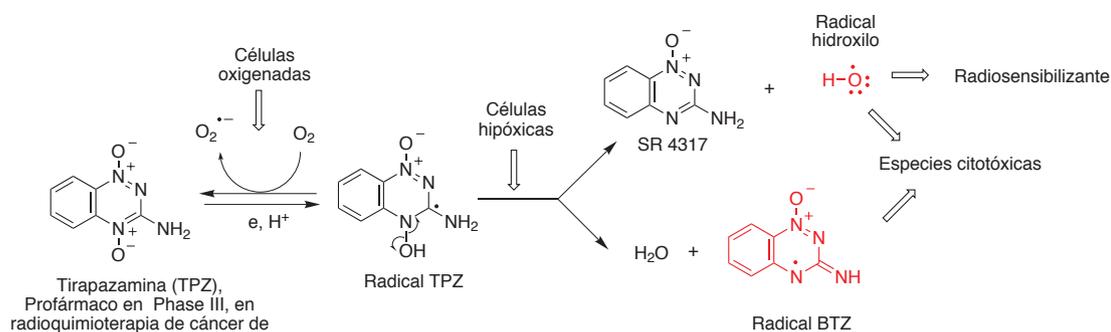


Figura 7. La tirapazamina, como profármaco citotóxico y radisensibilizante.

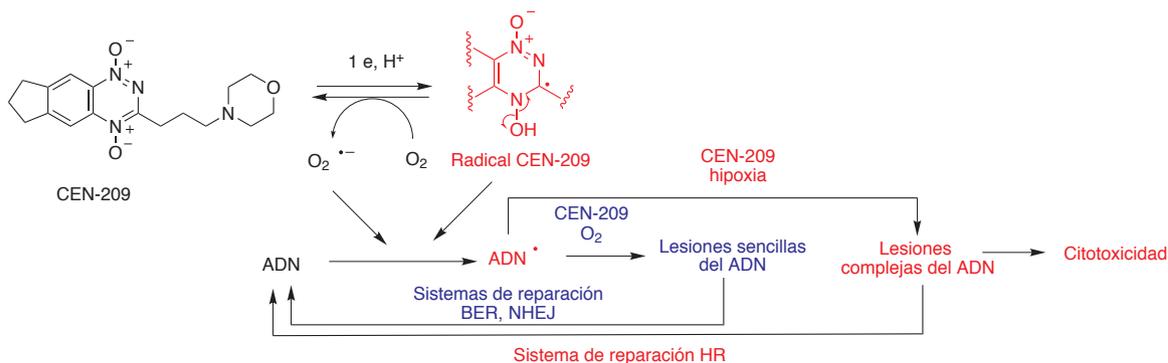


Figura 8. Efectos de CEN-209 en células oxigenadas e hipóxicas.

de las biomoléculas en otros radicales que ya no pueden repararse (Figura 6). Para aumentar el potencial de la radioterapia en los tejidos hipóxicos se han estudiado fármacos radiosensibilizantes capaces de reaccionar con los radicales de las biomoléculas y originar aductos que ya no pueden repararse. Estos radiosensibilizantes también pueden actuar como profármacos biorreducibles originando especies citotóxicas y así, encontramos algunos nitroderivados como los nitroimidazoles que se consideran radiosensibilizantes y otros como CB1954 que se proponen como profármacos citotóxicos. También se conocen radioprotectores, que tratan de disminuir la radiosensibilidad en los tejidos sanos, siendo el más conocido el profármaco amifostina (W2721) que se defosforila por fosfatasa alcalina para dar el correspondiente tiol activo.

Alternativamente se han estudiado otras muchas metodologías para aumentar el contenido de oxígeno en los tumores que van a irradiarse, como la inhalación de carbógeno (una mezcla de 95-98% O₂ y 5-2% de CO₂), el aumento de los niveles de hemoglobina, la utilización de fármacos como efaproxiral (RSR13) que interacciona alostéricamente con la hemoglobina disminuyendo su afinidad para enlazarse al oxígeno que así puede actuar como radiosensibilizante, el uso de agentes vasoactivos como la nicotinamida, nuevos transportadores de oxígeno usando nanopartículas, etc.¹³

Además de los nitroderivados algunos di-*N*-óxidos aromáticos como la tirapazamina (SR4233), un profármaco citotóxico que se encuentra en estudios clínicos de Fase III dirigidos al tratamiento radioquimioterápico de cánceres de cabeza y cuello, son citotóxicos y radiosensibilizantes. La

tirapazamina genera radicales hidroxilo y de benzotriazina (BTZ) (Figura 7), mostrando una toxicidad selectiva en células hipóxicas en ausencia de radiación y potenciando también el efecto de la radioterapia.⁸ Su capacidad para actuar como radiosensibilizante es probable, pero es difícil de explicar cómo se produce la potenciación del efecto de la radioterapia cuando el profármaco se administra tras la radiación.

Otro compuesto con un mecanismo de acción análogo a tirapazamina es el di-*N*-óxido CEN-209 (Figura 8). Su toxicidad selectiva es mayor en las células hipóxicas que son deficientes en el proceso de reparación del ADN denominado HR (*homologous recombination*),¹⁴ y por ello sería útil en este tipo concreto de pacientes.

Radiosensibilizantes que inhiben procesos de reparación del ADN o proteínas de señalización. Inhibidores PARP

Los radiosensibilizantes que actúan por los mecanismos ya comentados han de estar presentes en las células en el momento de la irradiación ya que deben reaccionar con radicales de vida media corta, pero existen otros que actúan sobre los efectos de la radiación inactivando enzimas que reparan el ADN o proteínas de señalización. Entre los que se han estudiado para superar la resistencia intrínseca o adquirida frente a las radiaciones ionizantes y a los anticancerosos que actúan dañando al ADN, comentaremos brevemente los inhibidores de las enzimas poli(ADP-ribosa) polimerasas (PARP), denominadas también ADP-ribosa transferasas,

que se presentan en las isoformas PARP-1 y PARP-2. Son proteínas nucleares implicadas en fenómenos de señalización celular relacionados con procesos inflamatorios y cáncer a través de modificaciones postraduccionales producidas por poli(ADP)-ribosilación de distintas proteínas. PARP forma parte del proceso de reparación de las roturas de una sola hebra de ADN (*single strand breaks*, SSBs) denominado BER (*base-excision repair*). Por eso, los inhibidores de PARP aumentan la citotoxicidad de los quimioterápicos que producen estas lesiones. Si el proceso BER no funciona adecuadamente porque PARP está inhibida, se acumulan los SSBs y se produce la rotura de ambas hebras de ADN (*double strand breaks*, DSBs), y conforme aumentan estas roturas la supervivencia celular depende más de otros sistemas de reparación (como la recombinación homóloga, HR).

PARP-1 cataliza la transferencia de unidades de ADP-ribosa del sustrato NAD⁺ (nicotinamida-adenina-dinucleósido-difosfato) a grupos carboxilo de residuos de ácidos glutámico y aspártico de una serie de proteínas nucleares, entre las que se encuentra la propia PARP-1, produciendo en ellas modificaciones transitorias y la subsiguiente activación de una serie de procesos de reparación.¹⁵ La interacción del ADN lesionado con PARP-1 origina primero la mono-ADP-ribosilación de la proteína aceptora (sustrato), seguido de una etapa en que se produce la elongación del polímero y su ramificación (Figura 9). En las células normales los niveles de estos polímeros son muy bajos, pero cuando se produce el daño al ADN los niveles aumentan de 10 a 500 veces.

Asociación de inhibidores PARP con anticancerosos que lesionan al ADN y expectativas para el tratamiento de cánceres asociados a mutaciones en los genes *BRCA1* y *2*

Dado que PARP se activa en respuesta a daños en el ADN, especialmente los generados por radiaciones ionizantes, agentes alquilantes y radicales libres, su inhibición puede ser benéfica en la terapia antitumoral.¹⁶ En este contexto encontramos que las proteínas BRCA-1 y BRCA-2 (*breast cancer-1* y *2*) forman parte del sistema de detección y reparación de los daños del ADN regulando su reparación y contribuyendo en gran medida a la estabilidad del genoma, evitando reorganizaciones génicas peligrosas que pueden conducir al desarrollo de cánceres. Muchas mutaciones de los genes que las expresan se asocian con un mayor riesgo de desarrollar algunos tipos de cáncer, especialmente los de mama (un 5%), ovario (un 10%), próstata, ciertos tipos de leucemias y linfomas, páncreas y melanoma maligno. Si el mecanismo de reparación HR está disminuido, por ejemplo porque existen mutaciones en los genes *BRCA*, la supervivencia celular depende más del proceso de reparación BER y por ello los inhibidores de PARP producen “letalidad sintética”, definida como la resultante de la interacción simultánea de factores que no serían letales en forma aislada. Esta es la razón por la que estos inhibidores, que en general son moléculas muy sencillas, han despertado un extraordinario interés en el desarrollo de terapias de combinación para el tratamiento específico

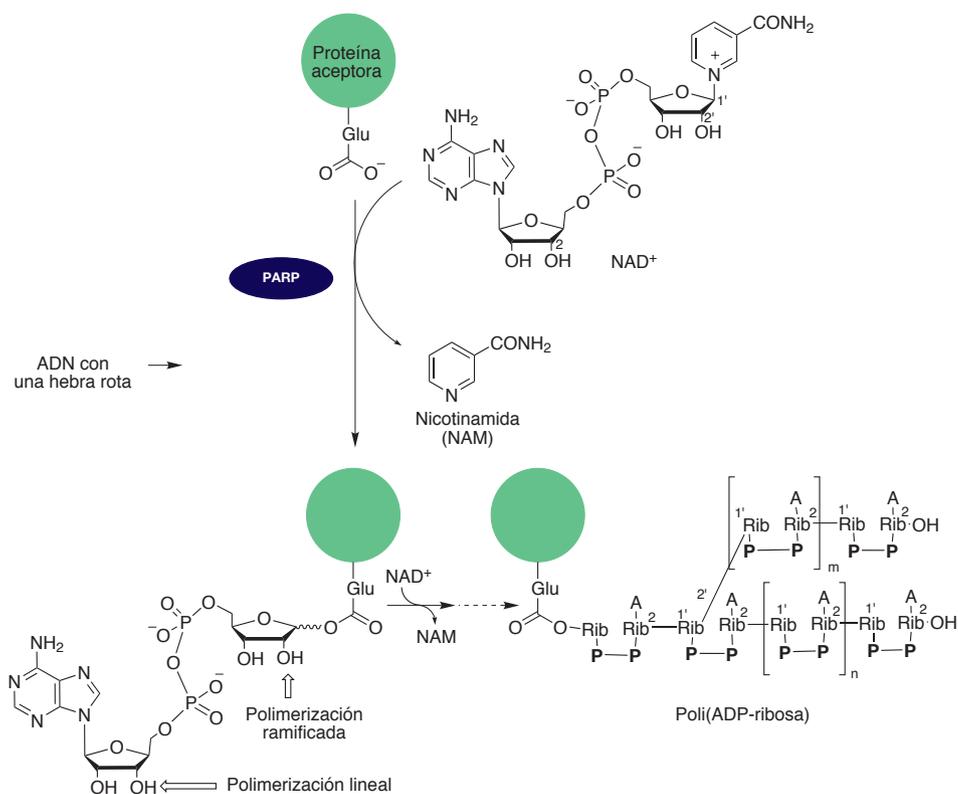


Figura 9. Mecanismo de acción de las enzimas PARP.

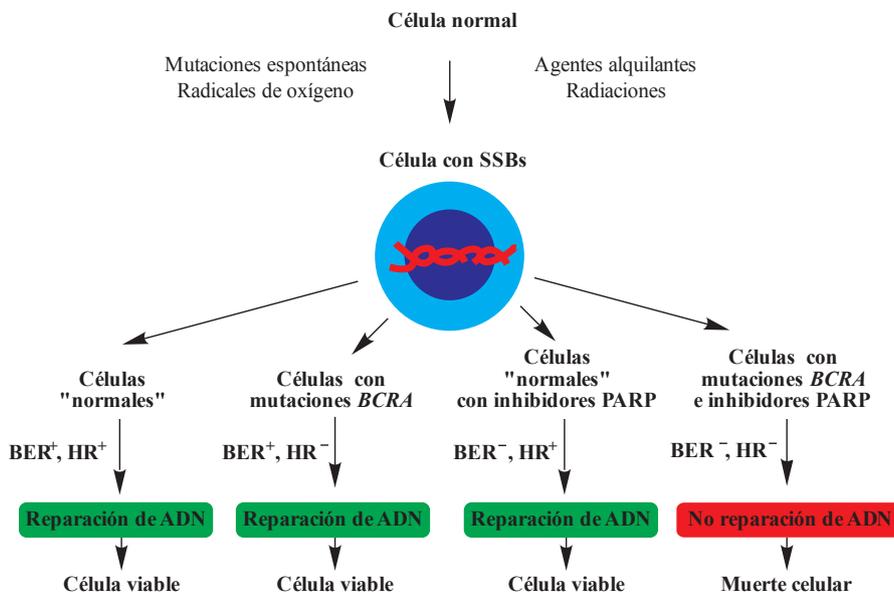


Figura 10. Los inhibidores PARP producen letalidad sintética sólo en células tumorales en las que la reparación del ADN por el proceso HR está impedida (por ej. por mutaciones *BCRA*).

de cánceres de mama y ovario asociados a dichas mutaciones (Figura 10).¹⁷ Varios de ellos han entrado en ensayos clínicos y han mostrado en principio unos resultados sorprendentes, aunque posteriormente se han discontinuado varios de ellos.

La primera generación de inhibidores de PARP se diseñó por analogía con la estructura del producto secundario de la reacción que catalizan estas enzimas, la nicotinamida, pero fueron poco específicos. El cribado posterior de 170 compuestos permitió identificar varios derivados heterocíclicos que sirvieron de prototipo para su optimización, así como establecer que las circunstancias estructurales requeridas para una actividad potente son un sistema aromático o heterocíclico portador de una función carboxamida con una rotación restringida alrededor del enlace Ar-CO (el grupo carbonilo ha de disponerse *anti* respecto al enlace C¹-C² del sistema aromático) y capaz de establecer enlaces de hidrógeno, y un sustituyente en la posición *meta* respecto a dicha función que no pueda ser eliminado (Figura 11).¹⁸ Cuando después se resolvió por difracción de rayos X la estruc-

tura de algunos complejos formados en el dominio catalítico de PARP con distintos inhibidores, pudo observarse que el grupo carbonilo de la función amida forma dos enlaces de hidrógeno con los residuos Ser-904 y Gly-863 mientras que el grupo NH participa en un enlace de hidrógeno con el residuo Gly-863. Estos conocimientos condujeron a la preparación de indoles y bencimidazoles portadores de una función lactama, como rucaparib (AG014699, PF-01367338, Figura 12).

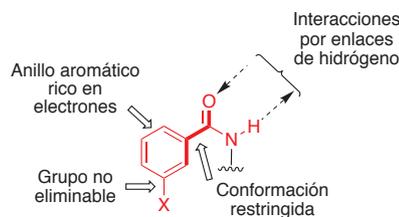


Figura 11. Grupo fármacofo de los inhibidores PARP.

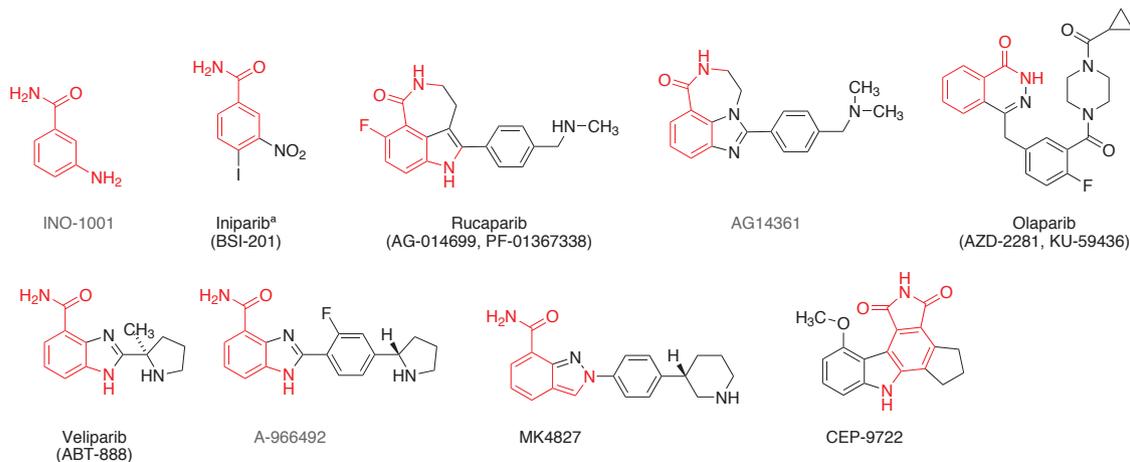


Figura 12. Inhibidores PARP que se han estudiado clínicamente. ^aActualmente no se considera que actúa por este mecanismo.

El compuesto más sencillo de este grupo es INO-1001, que fue desarrollado por Inotek Pharmaceuticals y recibió de la FDA la categoría de “fármaco huérfano” para prevenir las complicaciones que pueden producirse tras la cirugía de aneurismas de aorta. Al parecer, PARP es uno de los últimos efectores en la cascada de acontecimientos que se produce en las células y tejidos dañados por isquemia y posterior repercusión. Iniparib (BSI-201), cuyo desarrollo por Sanofi-Aventis se interrumpió en junio de 2011 tras resultados desalentadores en ensayos clínicos en Fase III, no es realmente un inhibidor de PARP aunque en un principio fue considerado como tal. Rucaparib (AG014699, PF-01367338) es un análogo de AG14361 que ha sido desarrollado por Pfizer. Fue el primer inhibidor PARP que pasó a ser estudiado en ensayos clínicos en combinación con el agente alquilante temozolomida,¹⁹ y algunos resultados de estudios en Fase II han sido prometedores.²⁰ Olaparib (AZD-2281) es un inhibidor de PARP activo por vía oral que resulta letal en células deficientes en BRCA y se ha ensayado en mujeres con cáncer de ovario avanzado que presentaban mutaciones en los genes *BRCA1* o *BRCA2*.^{21,22} Desarrollado en principio por la empresa KuDos Pharmaceuticals y desde 2006 por AstraZeneca, mostró unos resultados muy prometedores en los ensayos clínicos de Fase I y entró en ensayos de Fase II, pero el análisis de los resultados obtenidos motivó a la empresa en 2011 a interrumpir un estudio en Fase III que estaba previsto para una de sus indicaciones más importantes, con las consiguientes pérdidas económicas. Veliparib (ABT-888) es otro potente inhibidor de PARP desarrollado por Abbott que pertenece a una serie de bencimidazol carboxamidas que contienen una amina cíclica y un carbono cuaternario en la unión con el anillo de bencimidazol.²³ Potencia la acción de temozolomida en diferentes modelos de cáncer, desmostrando ser activo como radiosensibilizante en condiciones de hipoxia aguda,²⁴ sin embargo, los resultados obtenidos hasta el momento en los ensayos clínicos no parecen muy prometedores. MK4827, inicialmente desarrollado por Merck, también está siendo objeto de ensayos clínicos. Finalmente, CEP-9722, que es un profármaco desarrollado por Cephalon, ha entrado también en ensayos clínicos.²⁵

Conclusiones

Confiamos en que estos ejemplos hayan servido para ilustrar la complejidad inherente al desarrollo de fármacos anti-cáncer más selectivos e individualizados que los quimioterápicos convencionales. ¿Qué puede hacer un químico para introducir un valor añadido en este complejo mundo? En nuestra opinión ésta podría ser una receta útil:

intentar comprender lo mejor posible los hechos biológicos y “pensar en química”. ¡Ah!, y tener mucha fortaleza frente al desánimo.

Bibliografía

1. R. Siegel, D. Naishadham, A. Jemal, *CA: A Cancer J. Clin.*, **2012**, *62*, 10–29.
2. C. Avendaño, *An. R. Acad. Nac. Farm.* **2011**, *77*, 15–35.
3. G. M. Cragg, P. G. Grothaus, D. J. Newman, *Chem. Rev.* **2009**, *109*, 3012–3043.
4. S. Neidle, D. E. Thurston, *Nature Rev. Cancer* **2005**, *5*, 285–296.
5. C. Avendaño, J. C. Menéndez, *Medicinal Chemistry of Anticancer Drugs*, Elsevier, **2008**, Capítulo 9.
6. A. B. Smith, A. K. Charnley, R. Hirschmann, *Acc. Chem. Res.* **2011**, *44*, 180–193.
7. M. Rooseboom, J. N. M. Commandeur, N. P. E. Vermeulen, *Pharmacol. Rev.* **2004**, *56*, 53–102.
8. J. M. Brown, W. R. Wilson, *Nature Rev. Cancer*, **2004**, *4*, 437–447.
9. M. A. Naylor, P. Thomson, *Mini-Rev. Med. Chem.* **2001**, *1*, 17–29.
10. B. Halliwell, J. M. C. Gutteridge, *Free Radicals in Biology and Medicine*, 4ª ed. Oxford University Press, New York, **2007**.
11. A. Christofferson, J. Wilkie, *Biochem. Soc. Trans.* **2009**, *37*, 413–418.
12. G. Cheng-Faye, D. Palmer, D. Anderson, *et al.*, *Clin. Cancer Res.* **2001**, *7*, 2662–2668.
13. P. Wardman, *Clinical Oncol.*, **2007**, *19*, 397–417.
14. F. W. Huntera, J. Wanga, R. Patela, *et al.*, *Biochem. Pharmacol.* **2012**, *83*, 574–585.
15. D. D'Amours, S. Desnoyers, I. D'Silva, *et al.*, *Biochem. J.* **1999**, *342*, 2499–268.
16. N. J. Curtin, *Expert Rev. Mol. Met.* **2005**, *7*, 1–20.
17. G. Malini, *Nat. Biotechnol.*, **2011**, *29*, 373–374.
18. M. Banasik, H. Komura, M. Shimoyama, K. Ueda, *J. Biol. Chem.* **1992**, *267*, 1569–1575.
19. R. Plummer, P. Lorigan, J. Evans, N. Steven, M. Middleton, R. Wilson, K. Snow, R. Dewji, H. Calvert, *J. Clin. Oncol.* **2006**, *24*, A8013.
20. Y. F. Wang, *Drugs of the Future*, **2009**, *34*, 177–182.
21. A. Tutt, M. Robson, J. E. Garber, *et al.*, *The Lancet*, **2010**, *376*, 205–302.
22. S. L. Chan, T. Mok, *The Lancet*, **2010**, *376*, 211–213.
23. T. D. Penning, G. D. Zhu, V. B. Gandhi, *et al.*, *J. Med. Chem.*, **2009**, *52*, 514–523.
24. S. K. Liu, C. Coackley, M. Krause, *et al.*, *Rad. Oncol.*, **2008**, *88*, 258–268.
25. M. Rouleau, A. Patel, M. J. Hendzel, S. H. Kaufmann, G. G. Poirier, *Nature Rev. Cancer*, **2010**, *10*, 293–301.

Líquidos iónicos como electrolitos estables para baterías de litio y otros dispositivos de almacenamiento de energía

Alberto V. Puga

Resumen: Los líquidos iónicos son alternativas razonables a los electrolitos utilizados en dispositivos de almacenamiento de energía, como las baterías de litio, pues ofrecen importantes ventajas en materia de seguridad. Esto se debe a las favorables propiedades de muchos de ellos, principalmente no-inflamabilidad y no-volatilidad. Los candidatos con cationes amonio alifáticos ofrecen una elevada estabilidad electroquímica, especialmente frente al litio. En este artículo se presentan dos nuevas familias de líquidos iónicos, basados en cationes azepanio o 3-metilpiperidinio, cuyas ventanas de potencial superan los 6 V.

Palabras clave: Líquidos iónicos, baterías de litio, electrolitos, electroquímica, conductores iónicos.

Abstract: Ionic liquids are reasonable alternatives to electrolytes used in energy storage devices, such as lithium batteries, given the important safety advantages they provide. This is due to the favourable properties they often possess, mainly non-flammability and non-volatility. Candidates with aliphatic ammonium cations exhibit high electrochemical stabilities, especially towards lithium. Two new families of ionic liquids, based on azepanium or 3-methylpiperidinium cations and having potential windows above 6 V, are presented herein.

Keywords: Ionic liquids, lithium batteries, electrolytes, electrochemistry, ionic conducting materials.

Introducción

Durante los últimos veinte años, el avance en la tecnología de las baterías (o pilas) de litio ha revolucionado el sector de los dispositivos electrónicos portátiles.¹⁻³ En la actualidad, no es extraño que una gran parte de la población utilice a diario varios de estos aparatos, como por ejemplo ordenadores portátiles, teléfonos móviles, cámaras fotográficas, reproductores de audio (como los populares mp3) o herramientas eléctricas. Es por ello que el mercado de las pilas de litio está en pleno auge y se estima que su volumen de producción es del orden de miles de millones de unidades al año.³ Por tanto, la tecnología de estos dispositivos está en un estadio muy avanzado, al menos por lo que respecta a celdas relativamente pequeñas. En la Figura 1 se muestra una fotografía de la batería de litio de un ordenador portátil.

No obstante, la aplicación de las pilas de litio para automóviles eléctricos o para almacenamiento de grandes cantidades de energía todavía se encuentra en fase de intensa investigación. Ambas aplicaciones tienen una importancia estratégica



Figura 1. Fotografía de una batería de litio de ordenador portátil; en la ampliación se muestran su voltaje (10.8 V) y su capacidad de carga (5100 mA h). La masa de la batería es 0.32 kg, de lo cual se puede calcular una densidad de energía de 172 W h kg⁻¹.⁴



Alberto V. Puga

¹ The QUILL Research Centre, School of Chemistry and Chemical Engineering, Queen's University Belfast.

Stranmillis Road, Belfast, BT9 5AG, Reino Unido.

² Instituto de Tecnología Química (UPV-CSIC).

Av. de los Naranjos, s/n, 46022, Valencia, España.

C-e: quill@qub.ac.uk; a.puga@csic.es

Recibido: 01/06/2012. Aceptado: 07/09/2012.

enorme por lo que respecta a dos aspectos clave: en primer lugar, el control de la contaminación atmosférica, en especial en áreas urbanas y, en segundo lugar, la gestión de energías renovables que se obtienen de manera discontinua, mediante su almacenamiento en grandes baterías para su posterior dosificación según demanda. A pesar de que ya existen prototipos de baterías de litio para vehículos eléctricos, todavía hay aspectos que impiden su definitiva comercialización, principalmente la garantía de una total seguridad, dado que el litio y los materiales relacionados son altamente reactivos y pueden dar lugar a reacciones indeseadas. En ocasiones, un mal funcionamiento de la pila puede dar lugar a cortocircuitos que conllevan un aumento incontrolado de la temperatura, pudiendo incluso acarrear un elevado peligro de incendio debido a los disolventes inflamables que forman parte del electrolito. Dadas la magnitud y las exigentes condiciones de uso de las baterías para vehículos eléctricos o fuentes de energía renovable, no es extraño que las empresas fabricantes extremen precauciones antes de que las baterías de litio puedan ser comercializadas para tales aplicaciones. Para mejorar la seguridad, son necesari-

rios avances en los materiales esenciales de dichas pilas, sobre todo en aquellos que componen los electrodos o el electrolito.

En este artículo se detalla en primer lugar el funcionamiento de las baterías de litio. A continuación, se presenta el estudio de un nuevo grupo de electrolitos basados en líquidos iónicos, los cuales presentan un creciente interés práctico debido a su elevada estabilidad y sus propiedades ignífugas, que pueden suponer un importante avance en la seguridad de las baterías de litio u otros dispositivos de almacenamiento de energía. Finalmente, se reflexiona sobre el futuro de estas tecnologías en relación con las reservas de litio.

Baterías de litio

Las baterías son dispositivos compuestos por una o más celdas electroquímicas que almacenan energía eléctrica en forma de energía química. Cada celda electroquímica consiste en un electrodo negativo y un electrodo positivo conectados internamente por un electrolito que permite el transporte de iones entre ambos, mientras que la corriente eléctrica generada es transportada externamente mediante un material conductor. Durante su uso (descarga), en el electrodo negativo (ánodo) se da una reacción de oxidación que libera electrones, los cuales son asimismo consumidos en la reacción de reducción que tiene lugar en el electrodo positivo (cátodo) —en caso de que la batería sea recargable, estos procesos se invierten durante la carga por aplicación de un potencial eléctrico externo—. Cada una de estas reacciones de transferencia electrónica (oxidación y reducción) tiene un potencial electroquímico asociado (comúnmente conocido como potencial redox). En la práctica, los potenciales del polo negativo (E_-) y del positivo (E_+) tienen valores muy cercanos a los potenciales de ánodo (E_a) y cátodo (E_c), respectivamente. El voltaje de la batería (E) es, a su vez, igual a la diferencia entre los potenciales de ambos polos, definiéndose por convenio según la ecuación (1):⁵

$$E = E_+ - E_- \quad (1)$$

En la Tabla 1 se recogen valores de potencial de varios pares redox que suelen encontrarse en baterías comerciales. Claramente, los potenciales de los pares Li^+/Li y $\text{Li}^+/\text{Li}_x\text{C}_y$ son los más negativos, y de hecho están entre los más negativos conocidos. Por ello, las celdas de litio pueden proporcionar voltajes de hasta alrededor de 4 V, aproximadamente el doble que otros tipos de baterías comunes (en la Figura 1, el voltaje de 10.8 V equivale a tres celdas de 3.6 V conectadas en serie). En contrapartida, los altos voltajes son incompatibles con electrolitos acuosos, como los usados en baterías de plomo/ácido, pues el agua se descompone peligrosamente en contacto con litio generando hidrógeno gas.

Por otra parte, el bajo peso del litio, comparado con otros metales usados para electrodos, supone otra ventaja por lo que respecta a la densidad de energía (también llamada energía específica), como muestra la Tabla 1. Una mayor densidad de energía permite la construcción de baterías más ligeras, lo cual es una característica importante para vehículos eléctricos. Las baterías de litio pueden llegar a densidades de energía un orden de magnitud mayores que las de plomo/ácido (100–600 y 20–30 W h kg^{-1} , respectivamente). Por ejemplo, la batería de ordenador portátil mostrada en la Figura 1 posee

Tabla 1. Especificaciones aproximadas de diferentes tipos de baterías y de sus ánodos, detallándose tanto los potenciales estándar de reducción asociados a los pares redox de los ánodos (E_a°) como los voltajes de las correspondientes baterías (E).

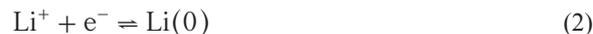
Tipo de batería	Par redox (ánodo)	$E_a^\circ/\text{V}^{[a]}$	$E/\text{V}^{[b]}$	Densidad de energía/ $\text{W h kg}^{-1}[b]$
Li-metal ^[c]	Li^+/Li	-3.0	1.5–4.0	100–600
Ión litio ^[d]	$\text{Li}^+/\text{Li}_x\text{C}_y$	-2.8–-2.9	1.5–4.0	100–160
Alcalina ^[c]	ZnO/Zn	-1.3	1.5	110–170
Pb/ácido ^[d]	PbSO_4/Pb	-0.4	2.1	20–30
Ni/Cd ^[d]	Cd^{2+}/Cd	-0.4	1.2	20–30

^[a] De la referencia 6. ^[b] De las referencias 7 y 8. ^[c] Baterías primarias, no recargables.

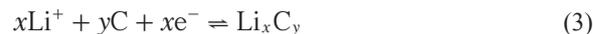
^[d] Baterías secundarias, recargables.

una densidad de energía de 172 W h kg^{-1} .⁴ Es por ello que la construcción de un vehículo eléctrico alimentado totalmente por baterías es inviable con el sistema plomo/ácido (ampliamente utilizado en vehículos con motores de explosión por su importante función para la puesta en marcha) debido a su elevado peso, pero posible con sistemas de ión litio.

Existen dos tipos de baterías de litio: las de litio-metal y las de ión litio. Las primeras, basadas en ánodos de litio-metal, son generalmente primarias (no-recargables), mientras que las segundas, basadas en ánodos en los que los iones litio se intercalan en un material matriz (generalmente grafito u otro material carbonoso), son secundarias o recargables. Las reacciones implicadas en cada caso son las siguientes: en baterías de litio-metal,



y en baterías de ión litio,



donde Li_xC_y es grafito con litio intercalado ($x \approx 0.5$, $y = 6$). En su forma reducida, el litio se halla intercalado en la estructura del material anfitrión, a potenciales muy cercanos al del litio metálico (véase la Tabla 1). Los cátodos, por su parte, pueden estar formados por una amplia diversidad de materiales basados en químicas muy diferentes. En la Figura 2 se puede observar el esquema de una batería de ión litio en proceso de descarga, durante el cual los iones litio se desprenden del ánodo (Li_xC_y) en el que estaban intercalados, difunden a través del electrolito y se intercalan en el cátodo ($\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$).

En ambos casos, el electrolito suele consistir en una disolución de una sal de litio (por ejemplo, LiPF_6 o LiClO_4) en un disolvente orgánico. Entre estos disolventes, los más populares, debido a su relativa estabilidad a potenciales negativos, son los carbonatos alquílicos cíclicos o acíclicos (Figura 3). Otro factor a favor de estos electrolitos es que ofrecen aceptables conductividades iónicas. No obstante, todavía existe margen para mejoras en el electrolito, pues estos carbonatos pueden sufrir cierta descomposición a lo largo de la vida de la batería. Además, son disolventes inflamables y volátiles, lo cual puede conducir a serios accidentes en caso de cortocircuito, sobrecarga o calentamiento. Por tanto, la tecnología de las baterías de litio está en cierta manera limitada por la poca estabilidad de los electrolitos usados.

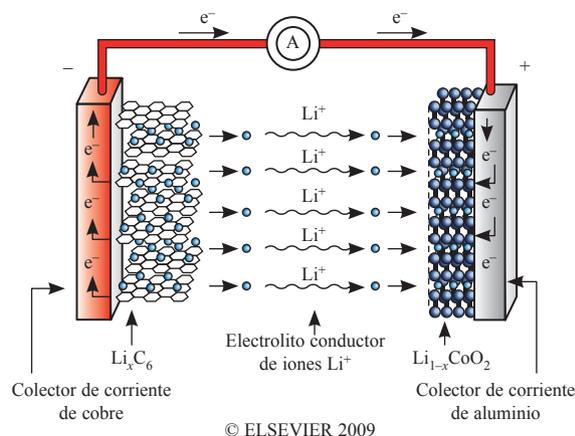


Figura 2. Esquema de una batería de ión litio, con ánodo de Li_xC_6 y cátodo basado en $\text{Li}_{1-x}\text{CoO}_2$. Las flechas indican los fenómenos de transporte de electrones e iones litio que ocurren durante la descarga. Adaptado de la referencia 3.

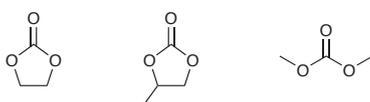


Figura 3. Estructuras de los disolventes más comunes en electrolitos para baterías de litio. De izquierda a derecha: carbonato de etileno, carbonato de propileno y carbonato de dimetilo.

El hecho de que las baterías de litio-metal no sean recargables no es debido a que el sistema Li^+/Li no sea reversible, sino a que el litio metálico puro es demasiado reactivo y, en ciclos de carga-descarga, puede desencadenar reacciones de descomposición del electrolito acompañadas de un aumento de la temperatura y peligro de explosión y/o incendio. Otro factor que dificulta la recarga es el crecimiento de dendritas, que pueden cortocircuitar la celda. Estas serias limitaciones en materia de seguridad impiden la comercialización de baterías de litio-metal recargables, pese a que sus valores de voltaje y densidad de energía son los más altos conocidos (Tabla 1).

Las baterías recargables de ión litio surgieron gracias al descubrimiento de los ánodos de intercalación de litio anteriormente mencionados, fruto de la búsqueda de sistemas más seguros. A pesar de que el electrolito se descompone en contacto con el electrodo, éste queda recubierto por una capa protectora formada por productos de dicha descomposición (a semejanza de la pasivación por óxidos de ciertas superficies metálicas, como la del hierro). Esta cubierta, llamada interfase sólido-electrolito, permite la carga y descarga de manera segura hasta en centenares de ciclos. No obstante, en caso de sobrecalentamiento o cortocircuito, también existe peligro de incendio, lo cual ha dado lugar a incidentes ocasionales. El caso que más repercusión tuvo fue el de varios incendios accidentales que obligaron a una conocida multinacional a retirar millones de baterías de ordenadores portátiles del mercado.⁹

La búsqueda de electrolitos más estables frente al litio continúa siendo objeto de intensa investigación. Entre las principales alternativas destacan los electrolitos basados en líquidos iónicos, pues son materiales ignífugos y no volátiles, lo cual representa claras ventajas para la seguridad de los dispositivos. En las siguientes secciones se describen brevemente los líquidos iónicos. Por último, se presentan resultados

sobre dos nuevas familias de líquidos iónicos con altas estabildades electroquímicas, principal característica que deben poseer para ser utilizados en baterías de litio.

Líquidos iónicos

Los líquidos iónicos son, como su nombre indica, compuestos en estado líquido formados totalmente por iones. En la actualidad, el término líquido iónico suele designar a un grupo de materiales más correctamente denominados líquidos iónicos a temperatura ambiente; por convenio, entran en esta definición aquéllos que están en forma líquida por debajo de $100\text{ }^\circ\text{C}$.¹⁰ Mientras muchas sales inorgánicas funden a temperaturas muy elevadas, ciertas sales con iones orgánicos se mantienen en su estado líquido incluso por debajo de $0\text{ }^\circ\text{C}$. La Tabla 2 muestra las temperaturas de fusión de diferentes sales. En la Figura 4 se muestran las estructuras de diversos cationes que forman líquidos iónicos.

Tabla 2. Puntos de fusión (T_f) para diferentes ejemplos de sales inorgánicas clásicas (columna izquierda) y de líquidos iónicos basados en cationes orgánicos (columna derecha).^[a,b]

Sal	$T_f/^\circ\text{C}$	Sal	$T_f/^\circ\text{C}$
NaCl	801	$[\text{N}_{4.4.4.4}]\text{Cl}$	74
LiCl	610	$[\text{C}_4\text{mim}]\text{Cl}$	67
NaNO_3	306	$[\text{P}_{6.6.6.14}]\text{Cl}$	-61 ^[c,d]
LiClO_4	236	$[\text{C}_4\text{mim}][\text{BF}_4]$	-85 ^[c]

^[a] Datos de la referencia 6 salvo donde se indique otra fuente. ^[b] Véase estructura y nombre de los cationes orgánicos para cada abreviatura en la Figura 4. ^[c] Temperatura de transición vítrea, es decir, de sólido vítreo a líquido. ^[d] De la referencia 11.

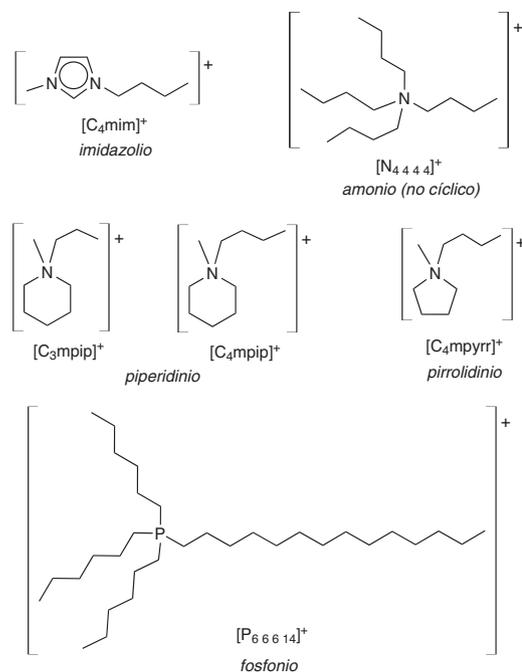


Figura 4. Estructuras de cationes pertenecientes a diferentes familias (indicadas en cursiva) que suelen formar parte de líquidos iónicos. $[\text{C}_4\text{mim}]^+$ = 1-butil-3-metilimidazolio; $[\text{N}_{4.4.4.4}]^+$ = tetrabutilamonio; $[\text{C}_3\text{mpip}]^+$ = 1-propil-1-metilpiperidinio; $[\text{C}_4\text{mpip}]^+$ = 1-butil-1-metilpiperidinio; $[\text{C}_4\text{mpyrr}]^+$ = 1-butil-1-metilpirrolidinio; $[\text{P}_{6.6.6.14}]^+$ = trihexil(tetradecil)fosfonio.

Los bajos puntos de fusión de los líquidos iónicos se deben a múltiples factores; la estimación del punto de fusión de una sal no es una tarea trivial. En general, los puntos de fusión dependen de la energía reticular (U_{ret}), que para compuestos iónicos viene dada por la ecuación de Kapustinskii:¹²

$$U_{\text{ret}} \propto \frac{n|z^+||z^-|}{r^+ + r^-} \quad (4)$$

donde n es el número de iones en la fórmula empírica de la sal, z^+ y z^- las cargas eléctricas de catión y anión, respectivamente, y r^+ y r^- , sus radios iónicos. La energía reticular, la cual tiene relación con la interacción electrostática entre partículas cargadas eléctricamente o ley de Coulomb, es directamente proporcional a las cargas de los iones e inversamente proporcional a la suma de sus radios. No es de extrañar pues, que al aumentar el tamaño de los iones, aumentando a su vez los radios iónicos, las fuerzas de atracción se atenúen. Esto queda ilustrado en los datos de la Tabla 2. Es el caso de los cloruros de sodio y de trihexil(tetradecil)fosfonio; la primera es una sal cristalina con un punto de fusión por encima de los 800 °C, mientras que la segunda, basada en el mismo anión pero con un catión mucho más grande, es líquida a temperatura ambiente y no cristaliza al enfriar, sino que forma un sólido vítreo por debajo de -61 °C.

Otros factores que pueden hacer disminuir los puntos de fusión son la deslocalización de carga entre más de un átomo o la asimetría de los iones. Los cationes dialquilimidazolio, entre los más habituales en líquidos iónicos, tienen la carga positiva deslocalizada sobre su anillo aromático. Por otro lado, la introducción de cadenas alquílicas de diferente longitud (como en los cationes $[\text{C}_4\text{mim}]^+$ o $[\text{P}_{6,6,6,14}]^+$, ver Figura 4) provoca asimetría; debido a esta asimetría, el empaquetamiento ordenado de iones que ocurriría durante la cristalización se ve obstaculizado y puede quedar incluso imposibilitado.

A pesar de que durante décadas ha existido interés en utilizar líquidos iónicos como electrolitos, sobretudo en baterías y electrodeposición, ha sido a partir de los noventa, con la proliferación de variedades líquidas y estables frente al oxígeno y a la humedad atmosféricas, cuando esta tecnología ha tomado relevancia en el campo de la electroquímica.¹³⁻¹⁵

Líquidos iónicos como electrolitos

Debido a su naturaleza iónica, los líquidos iónicos poseen propiedades de gran importancia práctica. De entre estas propiedades, destacan: (1) muy baja volatilidad (en muchas ocasiones no se evaporan), (2) elevada resistencia a la combustión, (3) inherente conductividad iónica, y (4) dependiendo de la naturaleza de los iones, alta estabilidad electroquímica. La combinación de estas propiedades ofrece ventajas en aplicaciones electroquímicas, por ejemplo en electrodeposición de metales,¹⁶⁻¹⁸ en pilas de combustible^{18,19} o en baterías^{1,3,17,18,20} y condensadores de alta energía.^{17,21}

La no-inflamabilidad y la no-volatilidad de la mayoría de líquidos iónicos son características clave, pues pueden eliminar o minimizar riesgos comunes en dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica. Por ello, no es de extrañar que, tanto en el ámbito académico como en la industria, en la actualidad se investigue activamente en la construcción de baterías de litio²⁰ usando líquidos iónicos como constituyentes principales del

electrolito. Recientemente, se han llegado a fabricar prototipos de baterías comerciales de ión litio con líquido iónico, los cuales presentan una excelente resistencia al fuego.²²

Los líquidos iónicos pueden llegar a ser suficientemente conductores como para formar parte de electrolitos con utilidad práctica. Por ejemplo, las disoluciones de sales de litio en ciertos líquidos iónicos tienen conductividades del orden de 1–10 mS cm⁻¹, similares a las de los electrolitos basados en carbonatos orgánicos usados en baterías de litio.¹⁷ No obstante, los líquidos iónicos suelen ser viscosos, lo que se traduce en bajas conductividades. Este hecho limita en gran medida el número de candidatos con posibilidades reales en baterías. Normalmente, las variedades basadas en aniones fluorados son las más utilizadas como electrolitos, debido a sus bajas viscosidades y, por consiguiente, elevadas conductividades. Es el caso del anión $[\text{NTf}_2]^-$ ($[\text{N}(\text{SO}_2\text{CF}_3)_2]^-$, bis{(trifluorometil)sulfonil}amiduro). La Tabla 3 muestra datos de viscosidad y conductividad de diferentes líquidos iónicos basados en $[\text{NTf}_2]^-$, quedando patente la relación inversa entre ambas magnitudes. La naturaleza del catión también influye: los sistemas basados en imidazolio suelen ser mejores conductores iónicos que los basados en pirrolidinio o piperidinio. Por ejemplo, el $[\text{C}_4\text{mim}][\text{NTf}_2]$ es casi la mitad de viscoso y el doble de conductor que el $[\text{C}_4\text{mpyr}][\text{NTf}_2]$ (50 cP/3.8 mS cm⁻¹ y 85 cP/2.2 mS cm⁻¹, respectivamente, a 25 °C). Cabe destacar asimismo la elevada estabilidad frente al agua de los líquidos iónicos constituidos por aniones $[\text{NTf}_2]^-$, $[\text{OTf}]^-$ o $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$.

Tabla 3. Viscosidades (η), conductividades (σ) y ventanas electroquímicas (ΔE), especificando los límites catódico (E_c) y anódico (E_a), de líquidos iónicos basados en el anión $[\text{NTf}_2]^-$.^[a]

Catión ^[b]	η/cP	$\sigma/\text{mS cm}^{-1}$	E_c/V	E_a/V	$\Delta E/\text{V}$
$[\text{C}_4\text{mim}]^+$	50	3.8	-2.7 ^[c]	2.3 ^[c]	5.0 ^[c]
$[\text{C}_4\text{mpyr}]^+$	85	2.2	-3.0 ^[d]	2.5 ^[d]	5.5 ^[d]
$[\text{C}_3\text{mpip}]^+$	151	1.4	-3.4 ^[c]	2.5 ^[e]	5.9 ^[c]
$[\text{C}_4\text{mpip}]^+$	182	1.1	-0.1 ^[e]	5.2 ^[e]	5.3 ^[e]

^[a] Datos medidos a 25 °C, adaptados de la referencia 23. ^[b] Véase estructura y nombre de los cationes orgánicos para cada abreviatura en la Figura 4. ^[c] Medidos frente al par redox ferroceno/ferroceno. ^[d] Medidos frente a un electrodo de referencia de hilo de plata. ^[e] Medidos frente a un electrodo de referencia de litio.

Por último, es característica necesaria para baterías de litio que los materiales que forman parte del electrolito exhiban elevadas estabildades electroquímicas, en especial a los potenciales altamente negativos a los que trabajan los ánodos de litio, y frente al litio en sí. Generalmente, la resistencia a la reducción a potenciales negativos de un líquido iónico está marcada por las características del catión. Los sistemas aromáticos (imidazolio en la Figura 4) son más propensos a la descomposición a potenciales negativos que los alifáticos (amonio, pirrolidinio, piperidinio y fosfonio en la Figura 4). Esto es debido a que los primeros contienen átomos de hidrógeno relativamente ácidos y orbitales π vacantes, ambos sensibles a sufrir reacciones de reducción.^{18,24} Como ejemplo, las reacciones de reducción de $[\text{C}_4\text{mim}][\text{NTf}_2]$ y $[\text{C}_3\text{mpip}][\text{NTf}_2]$ se inician a -2.7 y -3.4 V, respectivamente (Tabla 3). Debido a su elevada resistencia a la reducción (estabilidad catódica),

los líquidos iónicos basados en cationes amonio alifáticos poseen una alta estabilidad frente al Li(0). Se ha demostrado que pueden posibilitar la electrodeposición de Li(0) y su posterior re-oxidación de forma cíclica, abriendo nuevas posibilidades para el exigente objetivo de la construcción de baterías reversibles de litio metal estables y seguras.²⁵⁻²⁷

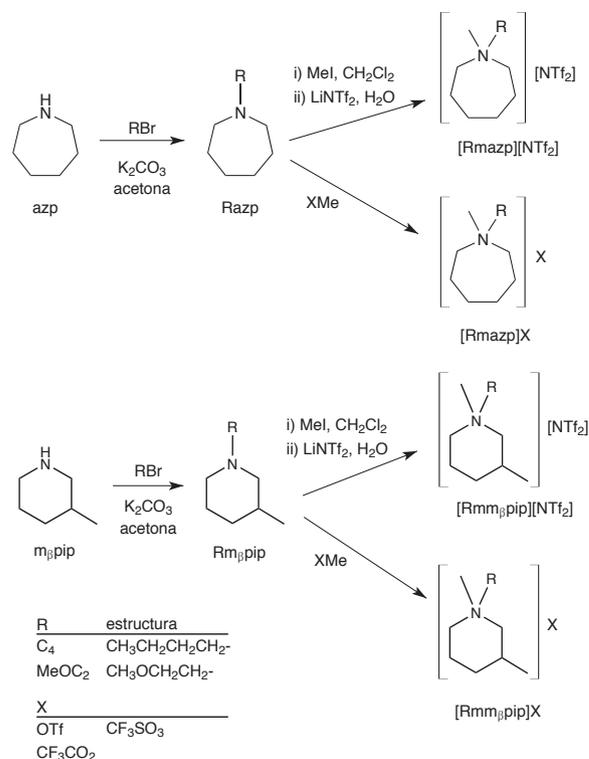
Considerando los datos de la Tabla 3 en su conjunto, queda claro que es difícil encontrar un balance adecuado de propiedades: los imidazolios son, en comparación con los pirrolidinos o los piperidinos, mejores conductores iónicos, mas su estabilidad electroquímica, en especial frente al litio, es sensiblemente menor. Dentro de la categoría de líquidos iónicos basados en cationes amonio alifáticos, la estabilidad catódica (E_c en la Tabla 3) parece ser mayor para los piperidinos, pero sus viscosidades son mayores y sus conductividades iónicas menores.

El trabajo presentado en las siguientes secciones trata de la síntesis de nuevos líquidos iónicos con cationes azepanio y 3-metilpiperidinio, así como de la comparación de sus propiedades físicas y electroquímicas con las de otros sistemas similares. Este estudio permite evaluar cómo afectan el tamaño de anillo y la simetría del catión a la aplicabilidad práctica de los líquidos iónicos en dispositivos electroquímicos. Por otra parte, se presentan estrategias de diseño de los cationes para la obtención de líquidos iónicos con viscosidades reducidas y, por tanto, mejores conductividades iónicas.

Líquidos iónicos basados en cationes azepanio o 3-metilpiperidinio

Las dos nuevas familias de líquidos iónicos aquí presentadas están basadas en cationes azepanio (amonio alifático cíclico de siete miembros) y 3-metilpiperidinio (Esquema 1).^{23,28-30} Estos cationes derivan de las aminas azepano³¹ y 3-metilpiperidina, respectivamente, las cuales se generan como sub-productos en la producción de diaminas. Este proceso se lleva a cabo en la industria de las poliamidas a escala extraordinariamente grande. Por tanto, enormes cantidades de azepanio y 3-metilpiperidina son incineradas anualmente como residuos en todo el mundo.²³ Sería evidentemente más sostenible utilizar dichos productos para la generación de materiales útiles, como por ejemplo, líquidos iónicos apropiados para dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía.

El Esquema 1 muestra la síntesis de los nuevos líquidos iónicos. En primer lugar, las aminas secundarias cíclicas de partida, azepanio (azp) y 3-metilpiperidina (m_{β} pip) son alquiladas en acetona en presencia de carbonato de potasio, dando lugar a las correspondientes aminas terciarias (Razp y Rm_{β} pip). Éstas son posteriormente sometidas a reacciones de metilación, generándose sales de amonio cuaternarias ([Rmazp]X o [Rmm $_{\beta}$ pip]X, $X^- = I^-$, $[CF_3CO_2]^-$ o $[OTf]^-$). Las sales de $[NTf_2]^-$ son a su vez sintetizadas a partir de los correspondientes yoduros mediante reacciones de metátesis con $LiNTf_2$. Para los nuevos líquidos iónicos presentados en este artículo, las cadenas laterales (R) son bien butilo o bien su análogo eterado 2-metoxietilo. Esta leve modificación en las estructuras da lugar a interesantes variaciones de propiedades físicas. Asimismo, estas sales son comparadas con sus análogas basadas en cationes piperidinio o pirrolidinio.



Esquema 1. Síntesis de líquidos iónicos a partir de azepanio (arriba) y 3-metilpiperidina (abajo).

En la Tabla 4 se muestran las temperaturas de transición de fase de las nuevas sales basadas en cationes azepanio o 3-metilpiperidinio. Todas las sales compuestas por aniones $[NTf_2]^-$ son líquidas a temperatura ambiente y se mantienen en estado líquido al enfriar hasta formar sólidos vítreos ($T_v < -69$ °C), sin apreciarse tendencia alguna a la cristalización. Las sales de $[CF_3CO_2]^-$ o $[OTf]^-$, en cambio, presentan comportamientos térmicos muy diferentes dependiendo del grupo R: son sólidos cristalinos de bajo punto de fusión cuando R es butilo, mientras que se presentan en forma líquida a temperatura ambiente cuando R es 2-metoxietilo. Por tanto, entre los derivados con alquilo y sus análogos que contienen grupos éter (simplemente reemplazando una unidad CH_2 por un átomo de oxígeno en la cadena R, ver Esquema 1) se observan importantes reducciones de los puntos de fusión de la sal. Es el caso de las sales $[C_4mm_{\beta}pip][OTf]$ y $[MeOC_2mm_{\beta}pip][OTf]$, que funden a 84 y -60 °C (una diferencia de 144 °C). Por tanto, la introducción de funciones éter en las cadenas laterales de los cationes es una estrategia útil para rebajar los puntos de fusión de este tipo de líquidos iónicos. Por último, la estructura de los diferentes cationes tiene poca influencia en los puntos de fusión. No obstante, las sales con cationes $[Rmm_{\beta}pip]^+$ (asimétricos) muestran menor tendencia a la cristalización que las análogas con cationes $[Rmazp]^+$ (simétricos); por ejemplo, el $[MeOC_2mazp][OTf]$ puede cristalizar por debajo de su punto de fusión de 16 °C, mientras que el $[MeOC_2mm_{\beta}pip][OTf]$ se presenta siempre en forma líquida por encima de -60 °C (Tabla 4).

La estabilidad térmica de los líquidos iónicos presentados fue estudiada mediante termogravimetría. Los datos de inicio

Tabla 4. Temperaturas de transición vítrea (T_v), de fusión (T_f) y de descomposición (T_d), viscosidades (η), conductividades (σ) y ventanas electroquímicas (ΔE), especificando los límites catódicos (E_c) y anódicos (E_a), de líquidos iónicos basados en diferentes aniones (X^-).^[a]

Catión ^[b]	$T_v/^\circ\text{C}$ ^[c]	$T_f/^\circ\text{C}$ ^[c]	$T_d/^\circ\text{C}$ ^[d]	η/cP ^[e]	$\sigma/\text{mS cm}^{-1}$ ^[e]	E_c/V ^[e,f]	E_a/V ^[e,f]	$\Delta E/\text{V}$ ^[e,f]
$X^- = [\text{NTf}_2]^-$								
$[\text{C}_4\text{mazp}]^+$	-69		350	315	0.56	-3.25	3.25	6.50
$[\text{MeOC}_2\text{mazp}]^+$	-79		340	160	1.12	-2.75	2.75	5.50
$[\text{C}_4\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$	-69		340	315	0.55	-3.00	3.25	6.25
$[\text{MeOC}_2\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$	-70		340	136	1.19	-3.00	3.00	6.00
$X^- = [\text{OTf}]^-$								
$[\text{C}_4\text{mazp}]^+$		55	310					
$[\text{MeOC}_2\text{mazp}]^+$	-67	16	310	798	0.33	-2.75	2.75	5.50
$[\text{C}_4\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$		84	320					
$[\text{MeOC}_2\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$	-60		330	654	0.34	-3.00	2.50	5.50
$X^- = [\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$								
$[\text{C}_4\text{mazp}]^+$		74	170					
$[\text{MeOC}_2\text{mazp}]^+$	-74	12	170	577	0.41	-3.00	2.00	5.00
$[\text{C}_4\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$		58	170					
$[\text{MeOC}_2\text{mm}_\beta\text{pip}]^+$	-61		150	453	0.37	-3.00	2.25	5.25

^[a] Datos tomados de las referencias 23 y 30. ^[b] Véase las estructuras de los cationes orgánicos para cada abreviatura en el Esquema 1. ^[c] Datos medidos por calorimetría diferencial de barrido a 5°C min^{-1} . ^[d] Los datos de T_d corresponden al inicio de la pérdida de peso en cada caso, medidos por análisis termogravimétrico a 5°C min^{-1} . ^[e] Datos medidos a 25°C . ^[f] Potenciales medidos frente a electrodos de referencia Ag^+/Ag .

de descomposición (véase la Tabla 4) indican que la estabilidad térmica depende principalmente del anión. Los líquidos más resistentes, relativamente estables a temperaturas por encima de los 300°C , son los que contienen $[\text{NTf}_2]^-$, seguidos de cerca por los de $[\text{OTf}]^-$. Las sales basadas en aniones $[\text{CF}_3\text{CO}_2]^-$ son mucho menos estables térmicamente. Cabe recordar que la mayoría de los líquidos iónicos (incluidos aquéllos de los que trata este artículo) no se evaporan en la práctica, aunque sí lo pueden llegar a hacer en condiciones muy extremas.^{32,33} Por tanto, es previsible que los líquidos iónicos de azepanio o 3-metilpiperidinio se mantengan estables en estado líquido a temperaturas de varios centenares de grados centígrados.

La síntesis de los nuevos líquidos iónicos $[\text{Rmazp}]\text{X}$ y $[\text{Rmm}_\beta\text{pip}]\text{X}$ ha permitido la comparación sistemática de sus propiedades físicas con las de sus análogos $[\text{Rmpip}]\text{X}$ y $[\text{Rmpyr}]\text{X}$, ampliamente estudiados para dispositivos electroquímicos. En la Tabla 4 se muestran datos de viscosidad y conductividad de estos nuevos materiales.

En la Figura 5 se compara gráficamente las viscosidades y conductividades (a 25°C) de sales formadas por $[\text{NTf}_2]^-$ y diferentes cationes. Este estudio confirma que la viscosidad y la conductividad siguen tendencias opuestas, es decir, a menor viscosidad, mayor conductividad (véase más arriba). Asimismo se observan dos pautas que relacionan la estructura del catión con estas propiedades:

- La fluidez y la conductividad aumentan al disminuir el tamaño de anillo del catión ($[\text{Rmm}_\beta\text{pip}]^+ \approx [\text{Rmazp}]^+ > [\text{Rmpip}]^+ > [\text{Rmpyr}]^+$, de izquierda a derecha en la Figura 5), probablemente debido a la mayor movilidad de los cationes más pequeños.

- La introducción de funciones éter provoca apreciables reducciones de la viscosidad y, por tanto, incrementos en la conductividad (líneas continuas en la Figura 5); este efecto es común para todos los tipos de cationes, aunque más pronunciado en los nuevos líquidos iónicos. Por ejemplo, la conductividad iónica aumenta más del doble al sustituir el grupo butilo del $[\text{C}_4\text{mm}_\beta\text{pip}][\text{NTf}_2]$ (0.55 mS cm^{-1}) por 2-metoxietilo en el $[\text{MeOC}_2\text{mm}_\beta\text{pip}][\text{NTf}_2]$ (1.19 mS cm^{-1}).

Los líquidos iónicos presentados fueron sometidos a estudios de voltametría cíclica. Los datos de potenciales de reducción y oxidación, así como las ventanas de potencial, se muestran en la Tabla 4. La estabilidad electroquímica de las nuevas sales es muy elevada, como sugieren sus amplias ventanas de potencial, de hasta 6.5 V ($[\text{C}_4\text{mazp}][\text{NTf}_2]$). Destacan los límites catódicos, todos ellos alrededor de -3.0 V respecto a Ag^+/Ag , a potenciales altamente negativos. Como muestra la Figura 6, la ventana de potencial de un líquido iónico de azepanio es sustancialmente más amplia que la de uno basado en un catión imidazolio. Estos resultados, entre los mejores en cuanto a estabilidad electroquímica de líquidos iónicos, hacen de $[\text{Rmazp}]\text{X}$ y $[\text{Rmm}_\beta\text{pip}]\text{X}$ candidatos prometedores para ampliar la gama de electrolitos estables para aplicaciones de alta exigencia, como las baterías de litio o los supercondensadores. No es de extrañar pues, que tras aparecer recientemente en la escena de la electroquímica, ya existan ejemplos documentados de su aplicabilidad práctica. Por ejemplo, se ha demostrado que el $[\text{C}_4\text{mazp}][\text{NTf}_2]$ puede actuar como electrolito para celdas de $\text{Li}(0)$ reversibles, dando lugar a baterías de alta capacidad de carga.³⁴ Por otra

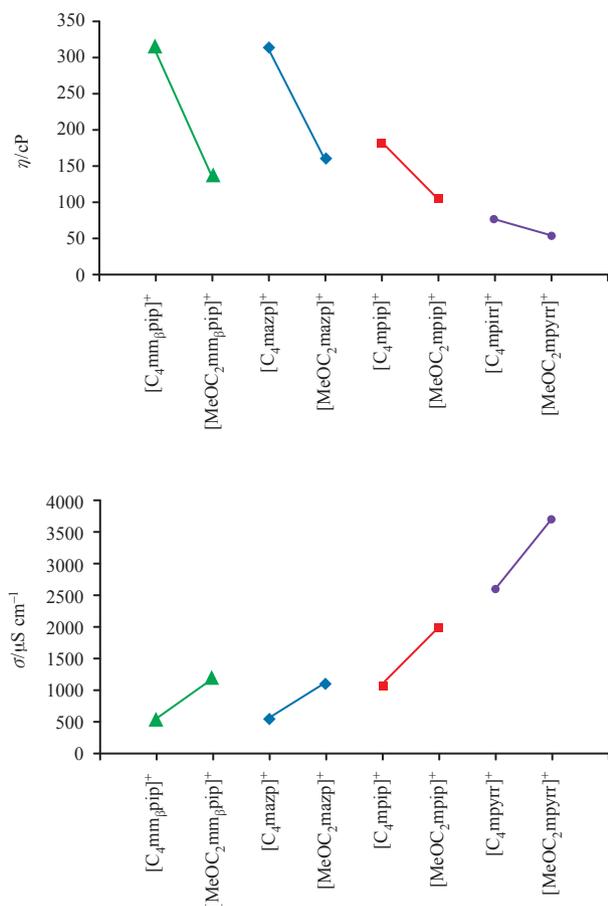


Figura 5. Viscosidades (arriba) y conductividades (abajo) de líquidos iónicos formados por [NTf₂]⁻ y por cationes 3-metilpiperidinio (triángulos), azepanio (rombos), piperidinio (cuadrados) y pirrolidinio (círculos). Véase las estructuras de los cationes orgánicos para cada abreviatura en el Esquema 1 y en la Figura 4.

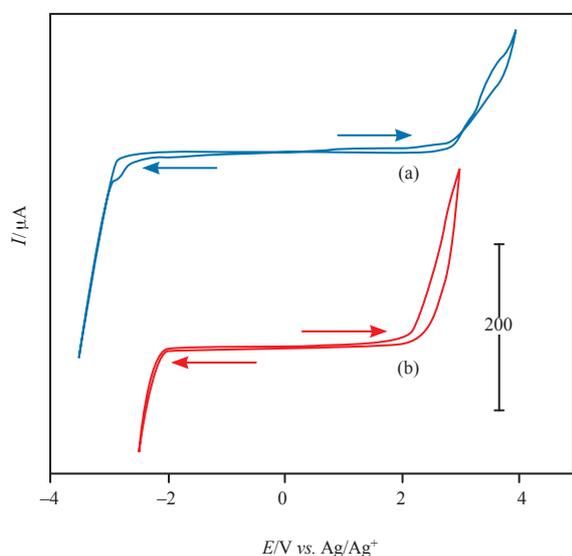


Figura 6. Voltamogramas cíclicos de [MeOC₂mazp][NTf₂] (a, azul), y [C₄mim][NTf₂] (b, rojo) medidos a 25 °C en electrodos de trabajo de carbono vítreo frente a Ag⁺/Ag a 100 mV s⁻¹.

parte, una patente aparecida recientemente describe el uso de líquidos iónicos basados en cationes 3-metilpiperidinio ([Rmm_βpip]⁺), que poseen una elevada estabilidad en celdas de ión litio en comparación con sus análogos de piperidinio ([Rmpip]⁺) no sustituidos, dando lugar a mejores capacidades tras múltiples ciclos de carga/descarga.³⁵

Conclusiones

La tecnología de las baterías de litio y de otros dispositivos de almacenamiento de energía (supercondensadores, etc.) se halla en un estadio ciertamente avanzado. En la actualidad se producen anualmente miles de millones de baterías de ión litio para aparatos electrónicos portátiles. No obstante, todavía existen riesgos asociados con estos dispositivos, como por ejemplo, peligro de incendio o explosión en casos de mal funcionamiento. Estos riesgos se deben a la naturaleza inflamable y volátil de los disolventes usados en los electrolitos. Con el fin de aumentar la seguridad de almacenadores de energía eléctrica para uso cotidiano, se continúa investigando en electrolitos más estables. Entre las alternativas, los líquidos iónicos ocupan un prometedor lugar, debido a que son, en su gran mayoría, no-inflamables y no-volátiles. Además, las estructuras de sus cationes y aniones pueden ser diseñadas en beneficio de su estabilidad electroquímica. En esta línea, los líquidos iónicos basados en cationes amonio alifáticos ofrecen resultados muy satisfactorios incluso en celdas de litio metálico, debido a su gran estabilidad a potenciales negativos. Entre ellos, se ha demostrado que no sólo los pirrolidinos o piperidinos, sino también las nuevas familias de azepanios o 3-metilpiperidinos tienen propiedades muy favorables para electrolitos en baterías de litio. Por otra parte, la presencia de grupos éter en las cadenas laterales de los cationes mejora las conductividades iónicas. La fabricación de baterías recargables de Li(0), las cuales ofrecerían capacidades mayores que las de ión litio comercializadas actualmente, constituye un objetivo exigente pero razonable con electrolitos de líquido iónico, siempre que la seguridad esté garantizada.

Perspectivas de futuro. ¿Cuánto litio queda?

La producción de sales de litio ha crecido considerablemente a escala global en los últimos años debido en gran parte al auge de las baterías de litio. En 2010 se extrajeron aproximadamente 28100 t de litio, mientras que en 2011, esta cifra se incrementó en más del 20% (34000 t).³⁶ Esta expansión en la extracción minera del litio sería tremendamente más rápida en las próximas décadas en caso de que la tecnología se implante en el sector del automóvil y/o para el almacenamiento de energía. Ante este panorama, la viabilidad de esta tecnología suscita controversia. Ciertas fuentes aseguran que los recursos son más que suficientes, del orden de cientos de miles de megatoneladas (10¹¹ t),³⁷ mas otras estiman unas reservas extraíbles de apenas varias decenas de megatoneladas (10⁷ t).³⁶ Un reciente estudio⁸ prevé dos escenarios para la implementación de baterías de litio en vehículos eléctricos: (1) a corto plazo (entre diez y quince años) se podría fabricar un millón de baterías de 40 kW h implicando una expansión modesta de la extracción minera; y (2) un objetivo más ambicioso a largo plazo (entre cuarenta y cincuenta años), de cien millones de

baterías de las mismas características, requeriría una expansión drástica de la producción de litio. Dado que la mayor parte del litio fácilmente extraíble se haya localizado en áreas muy concretas y restringidas, principalmente en los salares de algunos altiplanos andinos en Bolivia, Chile y Argentina, y en menor medida en el Tibet, el segundo escenario requeriría nuevas y mayores vías de suministro, presumiblemente con serias implicaciones políticas, sociales y ambientales. Por tanto, la transición del transporte con combustibles fósiles hacia uno basado en alimentación por baterías constituye un ambicioso objetivo por lo que respecta a las ingentes cantidades de recursos mineros y de energía necesarias.

Agradecimientos

A. V. P. agradece a INVISTA por la financiación de un proyecto de estrecha colaboración con *The QUILL Research Centre* (Belfast, Reino Unido), al Prof. Kenneth R. Seddon y al Prof. Keith Whiston por su supervisión, y a Julián García Revilla por sus valiosas sugerencias.

Bibliografía

- W. A. van Schalkwijk, B. Scrosati (eds.), *Advances in Lithium-Ion Batteries*, Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York, **2002**.
- K. Ozawa (ed.), *Lithium Ion Rechargeable Batteries*, Wiley-VCH, Weinheim, **2009**.
- B. Scrosati, J. Garche, *J. Power Sources* **2010**, *195*, 2419–2430.
- Energía de la batería = $5100 \text{ mA h} \times (1 \text{ A} / 10^3 \text{ mA}) \times (1 \text{ C} / 1 \text{ A s}) \times (1 \text{ J} / 1 \text{ C V}) \times (1 \text{ W s} / 1 \text{ J}) \times 10.8 \text{ V} = 55.1 \text{ W h}$. Densidad de energía = $(55.1 \text{ W h} / 0.32 \text{ kg}) = 172 \text{ W h kg}^{-1}$.
- I. N. Levine, *Fisicoquímica*, McGraw-Hill, Nueva York, **1991**, pp. 465–466.
- D. R. Lide (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 89ª Edic., CRC Press Boca Raton, Londres, **2008**.
- D. Linden, T. B. Reddy, *Handbook of Batteries*, McGraw-Hill, Nueva York, **2002**.
- C. Wadia, P. Albertus, V. Srinivasan, *J. Power Sources* **2011**, *196*, 1593–1598.
- Dell recalls 4m laptop batteries*, <http://news.bbc.co.uk/2/hi/4793143.stm>, **2006**, visitada el 12/11/2012.
- M. Freemantle, *An Introduction to Ionic Liquids*, Royal Society of Chemistry, Cambridge, **2009**.
- G. Adamová, *Phosphonium Ionic Liquids*, Tesis Doctoral, The Queen's University of Belfast, Belfast, **2011**.
- A. F. Kapustinskii, *Quart. Rev.* **1956**, *10*, 283–294.
- J. S. Wilkes, M. J. Zaworotko, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1992**, 965–967.
- P. Bonhôte, A. P. Dias, N. Papageorgiou, K. Kalyanasundaram, M. Grätzel, *Inorg. Chem.* **1996**, *35*, 1168–1178.
- J. S. Wilkes, *Green Chem.* **2002**, *4*, 73–80.
- F. Endres, A. P. Abbott, D. R. MacFarlane (eds.), *Electrodeposition from Ionic Liquids*, Wiley-VCH, Weinheim, **2008**.
- M. Galiński, A. Lewandowski, I. Stepniak, *Electrochim. Acta* **2006**, *51*, 5567–5580.
- M. Armand, F. Endres, D. R. MacFarlane, H. Ohno, B. Scrosati, *Nature Mater.* **2009**, *8*, 621–629.
- H. Nakamoto, M. Watanabe, *Chem. Commun.* **2007**, 2539–2541.
- A. Lewandowski, A. Świdarska-Mocek, *J. Power Sources* **2009**, *194*, 601–609.
- A. Lewandowski, A. Olejniczak, M. Galinski, I. Stepniak, *J. Power Sources* **2010**, *195*, 5814–5819.
- D. Teramoto, R. Yokoyama, H. Kagawa, T. Sada, N. Ogata, en *Molten Salts and Ionic Liquids: Never the Twain?*, M. Gaune-Escard, K. R. Seddon (eds.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, **2010**, pp. 367–388.
- T. Belhocine, S. A. Forsyth, H. Q. N. Gunaratne, M. Nieuwenhuyzen, P. Nockemann, A. V. Puga, K. R. Seddon, G. Srinivasan, K. Whiston, *Green Chem.* **2011**, *13*, 3137–3155.
- M. C. Buzzeo, R. G. Evans, R. G. Compton, *ChemPhysChem* **2004**, *5*, 1106–1120.
- P. C. Howlett, D. R. MacFarlane, A. F. Hollenkamp, *Electrochem. Solid State Lett.* **2004**, *7*, A97–A101.
- H. Matsumoto, H. Sakaebe, K. Tatsumi, *J. Power Sources* **2005**, *146*, 45–50.
- H. Sakaebe, H. Matsumoto, K. Tatsumi, *Electrochim. Acta* **2007**, *53*, 1048–1054.
- S. Forsyth, K. R. Seddon, K. Whiston, *Ionic Liquids as Electrolytes*, WO 150842 A1, **2008**.
- K. R. Seddon, T. Belhocine, A. V. Puga, K. Whiston, *Low Viscosity Ionic Liquids*, WO 100232 A1, **2011**.
- T. Belhocine, S. A. Forsyth, H. Q. N. Gunaratne, M. Nieuwenhuyzen, A. V. Puga, K. R. Seddon, G. Srinivasan, K. Whiston, *Green Chem.* **2011**, *13*, 59–63.
- El término “azepano” designa a una amina alifática cíclica de siete átomos; otros nombres para este compuesto: hexametilamina, hexahidro-1H-azepina, perhidroazepina o azacicloheptano.
- M. J. Earle, J. M. S. S. Esperança, M. A. Gilea, J. N. C. Lopes, L. P. N. Rebelo, J. W. Magee, K. R. Seddon, J. A. Widegren, *Nature* **2006**, *439*, 831–834.
- F. Heym, B. J. M. Etzold, C. Kern, A. Jess, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2010**, *12*, 12089–12100.
- N. Salem, L. Nicodemou, Y. Abu-Lebdeh, I. J. Davidson, *J. Electrochem. Soc.* **2012**, *159*, A172–A176.
- K. Ito, T. Itakura, *Power Storage Device, Lithium-Ion Secondary Battery, Electric Double Layer Capacitor and Lithium-Ion Capacitor*, US 0002349 A1, **2012**.
- U.S. Geological Survey, *Mineral Commodity Summaries 2012*, Reston, <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/>, **2012**, visitada el 12/11/2012.
- B. Scrosati, J. Hassoun, Y. K. Sun, *Energy Environ. Sci.* **2011**, *4*, 3287–3295.

Reacciones de cicloadición 1,3-dipolares a alquinos catalizadas por cobre

Andrés Suárez

Resumen: La cicloadición [3+2] de azidas a alquinos catalizada por cobre constituye una de las reacciones que más utilidad ha demostrado en distintos campos de la química en el último decenio. Sin embargo, esta reactividad no es exclusiva de las azidas ya que otros derivados 1,3-dipolares participan en este tipo de reacciones dando lugar a productos de considerable interés sintético y farmacológico. A pesar de las similitudes existentes con la cicloadición de azidas, estas reacciones han recibido una menor atención tanto respecto a sus aplicaciones en síntesis como al estudio de sus mecanismos.

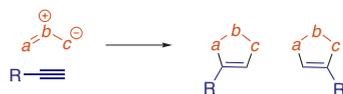
Palabras clave: 1,3-Dipolos, alquinos, catálisis, cicloadición, cobre.

Abstract: Copper-catalyzed [3+2] cycloaddition of azides to alkynes has evolved as one of the most useful reactions in different fields of chemistry during the last ten years. However, this reactivity is not exclusive of azides since other 1,3-dipoles may participate in such reactions providing products of considerable synthetic and pharmacological value. In spite of the similarities existing with the cycloaddition of azides, these reactions have received less attention regarding both their synthetic applications and mechanistic studies.

Keywords: 1,3-Dipoles, alkynes, catalysis, cycloaddition, copper.

Introducción

Las reacciones de cicloadición [3+2] de compuestos 1,3-dipolares (cicloadición de Huisgen) con sustratos que contienen enlaces C-C triples son procesos conocidos desde hace más de 100 años, si bien su estudio sistemático y aplicación en síntesis orgánica no se inició hasta la década de los sesenta del siglo pasado (Esquema 1).¹ Los productos obtenidos en estas reacciones pueden considerarse como resultantes de una cicloadición térmica según las reglas de Woodward-Hoffmann y la teoría de orbitales frontera de Fukui.² Desde un punto de vista sintético, estas reacciones permiten la preparación de heterociclos de cinco eslabones con una total economía atómica. Además, debido a que presentan una compatibilidad elevada con la presencia de una considerable variedad de grupos funcionales, su aplicación en procesos de síntesis convergente resulta particularmente adecuada.



Esquema 1. Cicloadición de compuestos 1,3-dipolares con alquinos.



A. Suárez

Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ).
(CSIC – Universidad de Sevilla).
Avda. Américo Vespucio, 49. 41092-Sevilla.
C-e: andres.suarez@iiq.csic.es

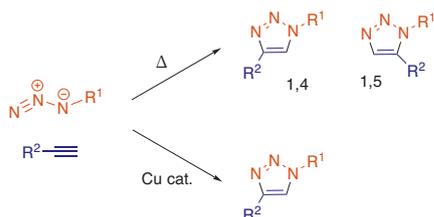
Recibido: 18/05/2012. Aceptado: 30/06/2012.

La formación de los heterociclos resultantes de estas cicloadiciones suele encontrarse muy favorecida termodinámicamente, sin embargo la elevada energía de activación de estos procesos hace que en muchas ocasiones tengan que llevarse a cabo mediante el empleo de calentamientos prolongados. Estas condiciones experimentales pueden dar lugar a rendimientos bajos si el derivado 1,3-dipolar no es muy estable. Por otra parte, debido a que las diferencias de energía entre los niveles HOMO y LUMO en los derivados 1,3-dipolares y en los alquinos son muy similares, la cicloadición puede estar controlada tanto por el HOMO como por el LUMO del dipolo, dando como resultado la formación de los dos regioisómeros posibles cuando se emplean alquinos no simétricos. Así, la utilización de un catalizador que permita llevar a cabo estas transformaciones en condiciones más suaves y de manera regioselectiva resulta de interés, habiéndose estudiado entre otros el empleo de compuestos de cobre.

Si bien la primera descripción de una cicloadición catalizada por cobre de un compuesto 1,3-dipolar (nitrona) y un alquino fue realizada en el año 1993 por el grupo de Miura,³ no ha sido sino más recientemente cuando se han efectuado estudios en profundidad sobre estas reacciones, y en particular sobre la cicloadición de azidas a alquinos. En concreto, esta última reacción constituye, sin lugar a dudas, uno de los procesos catalíticos que más ha impactado en la química en los últimos años, con numerosas aplicaciones en campos tan diversos como los de la preparación de nuevos materiales, síntesis de moléculas con propiedades farmacológicas y en reacciones de conjugación de biomoléculas.⁴ Además constituye el ejemplo más significativo de las transformaciones de tipo “click”.⁵ En claro contraste, a pesar del considerable número de derivados 1,3-dipolares conocidos, la reactividad de otras clases de dipolos ha sido considerablemente menos estudiada. El presente artículo pretende ofrecer una visión del estado actual de las reacciones de cicloadición [3+2] de compuestos 1,3-dipolares con alquinos catalizadas por cobre.

Cicloadición de azidas alquílicas y arílicas⁶

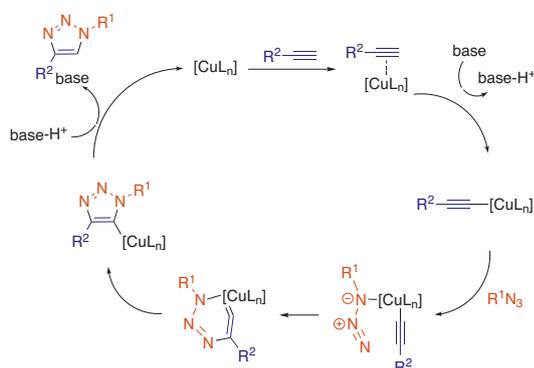
Las azidas son derivados 1,3-dipolares cuya descomposición se encuentra muy favorecida termodinámicamente, aunque debido a su elevada estabilidad cinética pueden ser aisladas. La reacción de azidas con alquinos es una cicloadición [3+2] térmica concertada que conduce, salvo en casos muy favorables, a la formación de 1,2,3-triazoles de modo no regioselectivo (Esquema 2).¹



Esquema 2. Cicloadición [3+2] térmica y catalizada por cobre de azidas y alquinos.

En 2002, los grupos de Meldal en Dinamarca, y Sharpless y Fokin en EE.UU. describieron de manera independiente que la adición de cantidades subestequiométricas de una sal de cobre produce un aumento significativo de la velocidad de reacción, que permite efectuar estas transformaciones a temperatura ambiente y en tiempos de reacción muy cortos.⁷ Además, en presencia de cobre se obtienen regioselectivamente los triazoles 1,4-disustituidos. Estas reacciones pueden llevarse a cabo en disolventes apróticos y próticos, e incluso en agua, en un rango amplio de valores de pH. Además, la reacción presenta una tolerancia elevada a la presencia de una amplia variedad de grupos funcionales.

El mecanismo de la cicloadición catalizada por cobre ha sido objeto de considerable atención.⁸ En relación a éste, cabe mencionar en primer lugar la participación de un intermedio de tipo acetiluro de cobre, por lo que la reacción se encuentra limitada a alquinos terminales (Esquema 3). La formación de esta especie puede explicarse por la presencia en el medio de reacción de una base que produzca la desprotonación del alquino, o bien en ausencia de ésta por la coordinación π del fragmento $C\equiv C$ al átomo de cobre, que la facilite. Posteriormente, se produce la coordinación de la azida, que



Esquema 3. Mecanismo de la cicloadición [3+2] de azidas y alquinos catalizada por cobre. $[CuL_n]$ hace referencia a una especie mono- o polinuclear de cobre.

se comporta como un ligando débil σ -donador, al átomo de cobre. La adición nucleófila del átomo de nitrógeno terminal de la azida al carbono sustituido del acetileno conduce a un metalacilo, que tras un proceso de contracción del anillo da lugar a un 3-triazolil complejo de cobre. Este intermedio ha podido ser aislado del medio de reacción mediante su estabilización estérica con ligandos auxiliares voluminosos.⁹ Finalmente, en una etapa de protonación se libera el triazol y se regenera el catalizador. En consideración a la regioselectividad observada, globalmente este proceso es equivalente a una cicloadición con demanda electrónica inversa, es decir, la reacción está controlada por la interacción entre el orbital LUMO del dipolo y el HOMO del dipolarófilo.¹⁰

La dilucidación de aspectos más concretos del mecanismo de la reacción ha resultado notablemente compleja por la elevada tendencia de los alquinos de cobre a formar agregados polinucleares, así como a dar fácilmente reacciones de intercambio de ligandos. Aunque las primeras propuestas mecanísticas para esta transformación consideraban la participación de especies mononucleares de cobre,^{7,11} estudios posteriores han mostrado un comportamiento cinético discontinuo conforme transcurre la reacción, siendo la cinética de orden dos respecto al cobre a bajas concentraciones de catalizador, lo que sugiere la participación de especies binucleares.¹² La función del segundo átomo de cobre no está clara, aunque se ha propuesto que podría participar en la activación de la azida o del acetiluro, en este caso reduciendo la densidad electrónica del triple enlace. Esta última posibilidad, por ejemplo, ha sido contemplada en cálculos de tipo DFT, que han mostrado una disminución de la energía de activación entre 3 y 6 kcal/mol si se considera la participación de especies dinucleares de cobre en los que el alquino complejo de cobre se coordina adicionalmente a un segundo átomo metálico.¹³

Desde los primeros estudios sobre la reacción ha resultado evidente que el catalizador se basa en una especie de cobre en estado de oxidación +1. De los tres estados de oxidación de este metal (0, +1 y +2), el ión cuproso es el menos estable, pudiendo fácilmente en presencia de aire oxidarse a Cu^{2+} o desproporcionarse a Cu^0 y Cu^{2+} . Sin embargo, la oxidación de Cu^0 a Cu^{1+} y la reducción de Cu^{2+} a Cu^{1+} pueden llevarse a cabo mediante procedimientos experimentales sencillos. Así, se han descrito distintos métodos para generar la especie catalítica. Los más usuales se basan en: (i) la utilización directa de un complejo de cobre(I) (CuI , $CuOTf \cdot C_6H_6$, $[Cu(NCMe)_4]^+$), (ii) la reducción *in situ* de una sal de cobre(II) ($CuSO_4 \times 5H_2O$) mediante el uso de ascorbato de sodio u otro agente reductor, y (iii) la oxidación de cobre metálico con un oxidante suave o comproporciónación del sistema Cu^0/Cu^{2+} .^{7,11,14}

Por otra parte, aunque la adición de un ligando no es imprescindible para que se dé la reacción catalítica, se ha observado que el empleo de ligandos apropiados puede aumentar de manera significativa la velocidad de la reacción.¹² Esta observación se ha atribuido a distintos factores. Por un lado, el ligando estabiliza el estado de oxidación +1 del cobre frente a la oxidación y la dismutación, aumentándose de este modo la cantidad disponible de especie catalíticamente activa. Además, la presencia de ligandos puede reducir significativamente la formación de agregados polinucleares de cobre que inhiben la catálisis impidiendo la coordinación de la azida. Entre los diferentes tipos de ligandos descritos, los derivados

N-donadores ocupan un lugar significativo en el desarrollo de sistemas catalíticos para la cicloadición de azidas (Figura 1).¹⁵ De estos han resultado particularmente efectivos los derivados polidentados basados en heterociclos nitrogenados que contienen además una amina terciaria central, así como distintos derivados de la biperidina y la fenantrolina. Paralelamente, se ha descrito la utilización con un elevado grado de eficiencia de diversos ligandos fosforados¹⁶ y carbenos N-heterocíclicos.¹⁷

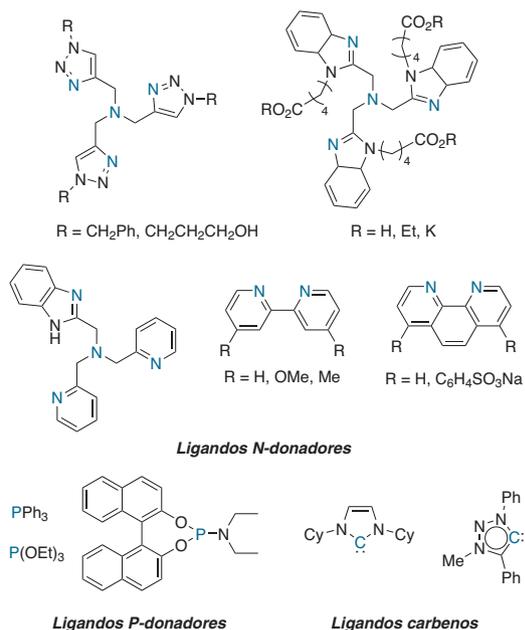
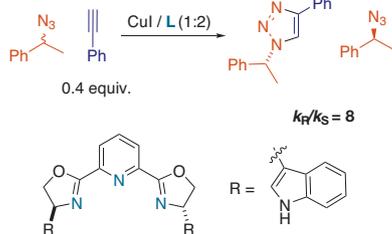


Figura 1. Ejemplos de ligandos utilizados en la cicloadición catalizada por cobre de azidas a alquinos.

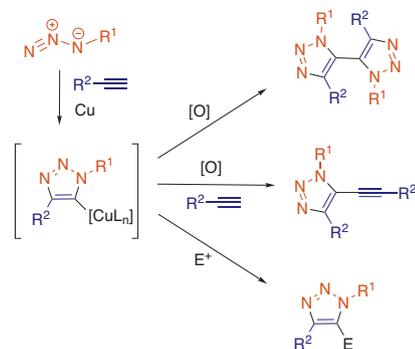
Debido a que la cicloadición de azidas con alquinos puede ser acelerada por la presencia de ligandos, resulta de interés desarrollar procesos enantioselectivos catalizados por complejos de cobre que incorporen ligandos quirales. Sin embargo, hasta la fecha los intentos para obtener enantioselectividad en estas cicloadiciones son escasos. Por ejemplo, Fokin, Finn y colaboradores han estudiado la resolución cinética de diversas azidas quirales y la desimetrización de diazidas geminales mediante el empleo de ligandos Pybox (Esquema 4).¹⁸ Los niveles de enantioselectividad obtenidos en estas reacciones, sin embargo, han sido modestos.



Esquema 4. Resolución cinética de una azida quiral.

La principal dificultad asociada a la reacción de azidas con alquinos es la oxidación del catalizador de Cu¹⁺ a especies de Cu²⁺, que son inactivas en la cicloadición y que además pue-

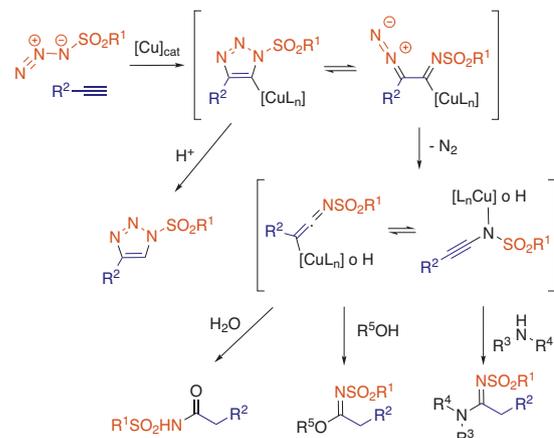
den mediar reacciones competitivas de acoplamiento oxidante como la formación de diinos (reacción de Glaser-Hay).⁶ Sin embargo, el empleo controlado de oxidantes suaves ofrece oportunidades interesantes para la preparación de derivados más elaborados mediante reacciones de acoplamiento oxidante del intermedio cobre-triazol. Así, por ejemplo, mediante esta estrategia se ha descrito la preparación de bis-triazoles y de 5-alquínil-triazoles por homoacoplamiento y acoplamiento con un acetiluro de cobre, respectivamente, del complejo de triazolilo (Esquema 5).¹⁹ Otro aspecto interesante de la reactividad del intermedio cobre-triazol consiste en la reacción con electrófilos, que permite la preparación de triazoles 1,4,5-trisustituidos.²⁰



Esquema 5. Reactividad del intermedio cobre-triazol.

Reactividad de azidas electrón-deficientes

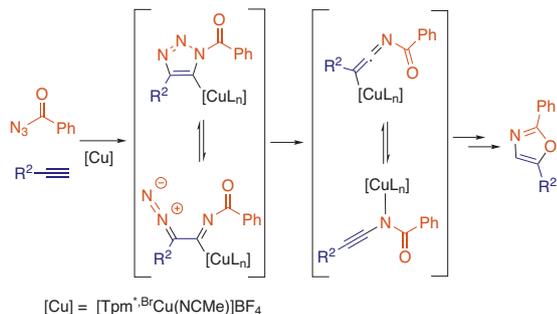
Las sulfonil-azidas participan en reacciones de cicloadición catalizada por cobre con un alquino para originar los sulfonil-triazoles correspondientes (Esquema 6).²¹ Sin embargo, en este proceso, cabe la posibilidad de que el intermedio Cu-triazol se transforme en el isómero de cadena abierta α -diazioimina (isomería de Dimroth), habiéndose comprobado la existencia de un equilibrio entre estas especies que depende de las condiciones de reacción (disolvente y temperatura) y la capacidad donadora de los ligandos empleados.²² El intermedio cobre-diazioimina evoluciona mediante la eliminación de una molécula de N₂ a un derivado cetenimina, que a su vez puede encontrarse en equilibrio con la inamida correspondien-



Esquema 6. Reactividad de sulfonil-azidas con alquinos en presencia de nucleófilos.

te, siendo ambas especies susceptibles al ataque de un nucleófilo. Este conjunto de transformaciones puede aprovecharse para el desarrollo de reacciones de tipo multicomponente de utilidad sintética. Así, mediante el empleo de nucleófilos como el agua, alcoholes y aminas, ha sido posible la preparación respectiva de *N*-acilsulfonamidas, imidoésteres y amidinas, productos de considerable importancia química y biológica.²³ Cabe destacar que esta reactividad se ha extendido con notable aprovechamiento a procesos de síntesis en cascada.²⁴

La apertura del intermedio cobre-triazol ha sido también propuesta en el caso de otras azidas sustituidas con grupos electrón-atractores como las acil-azidas. Así, Pérez, Nicasio y colaboradores han descrito recientemente la síntesis de oxazoles 2,5-disustituídos mediante la reacción de acil-azidas y alquinos terminales catalizada por un complejo de cobre que incorpora un ligando trispirazolilmetano, [Tpm^{*,Br}Cu(NCMe)] BF₄ (Tpm^{*,Br} = tris(3,5-dimetil-4-bromopirazolil)metano).²⁵ La formación de los heterociclos se ha propuesto que tiene lugar mediante la ciclación promovida por ácido del intermedio cobre-cetenimida (Esquema 7).

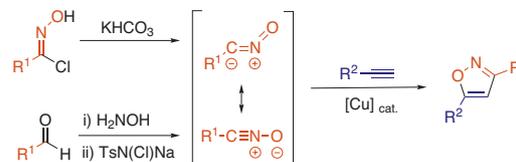


Esquema 7. Síntesis de oxazoles mediante reacción de acil-azidas con alquinos catalizada por un complejo de cobre.

Cicloadición de óxidos de nitrilo

La cicloadición de óxidos de nitrilo a alquinos tiene lugar más fácilmente que las de las azidas, y transcurre a velocidades apreciables aún en ausencia de un catalizador.¹ Los óxidos de nitrilo son derivados difíciles de aislar por lo que en las reacciones de cicloadición suelen prepararse *in situ* en presencia del dipolarófilo.

El grupo de Sharpless y Fokin ha descrito la cicloadición catalizada por cobre de óxidos de nitrilo a alquinos.^{11,26} La considerable tolerancia de estas reacciones a la presencia de distintos grupos funcionales permite generar *in situ* el dipolo mediante el tratamiento de un cloruro de imidoilo con una base, o de manera más conveniente, por reacción de un aldehído con hidroxilamina y posterior tratamiento de la oxima obtenida con cloramina-T (Esquema 8). El proceso catalizado por cobre presenta ventajas indudables. Por un lado, en las reacciones catalíticas se obtienen los aductos 3,5-disustituídos de manera exclusiva. Por otra parte, el aumento de la velocidad de reacción permite efectuar estas transformaciones en unas horas a temperatura ambiente, evitándose el calentamiento prolongado. Estas condiciones de reacción más suaves favorecen la obtención de productos con mejores rendimientos y mayor pureza al evitarse reacciones competitivas del dipolo. El mecanismo propuesto para la cicloadición de óxidos de nitrilo con alquinos es análogo al de las azidas.¹¹

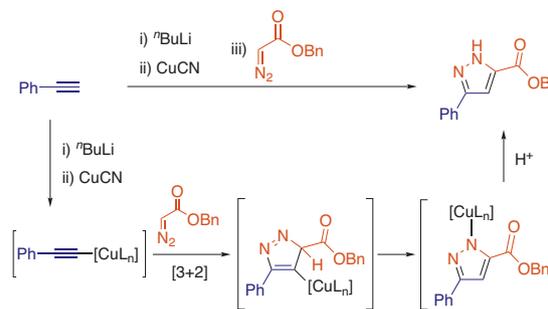


Esquema 8. Cicloadición 1,3-dipolar de óxidos de nitrilo a alquinos.

Reactividad de diazocompuestos

Los diazocompuestos son derivados 1,3-dipolares, que aunque pueden requerir una manipulación difícil debido a que son altamente explosivos, cuando se encuentran sustituidos con grupos atractores de electrones son estables incluso a temperaturas elevadas. La cicloadición de estos derivados con alquinos conduce inicialmente a los 3*H*-pirazoles correspondientes, que habitualmente no pueden aislarse debido a que la migración 1,5-(C→N) para dar el 1*H*-pirazol se encuentra muy favorecida.¹ Cuando el dipolo es un derivado diazocarbonílico, estas reacciones están controladas por la interacción HOMO(dipolo)-LUMO(dipolarófilo) y requieren el empleo de un catalizador ácido de Lewis para que transcurran de manera apreciable. Debido al considerable interés farmacológico que poseen los pirazoles, no es de extrañar que varios grupos hayan estudiado la reactividad de diazocompuestos frente a alquinos en presencia de cobre. Sin embargo, el desarrollo de un proceso catalítico ha resultado infructuoso hasta la fecha. A pesar de ello, resulta de interés mencionar algunos procesos relacionados.

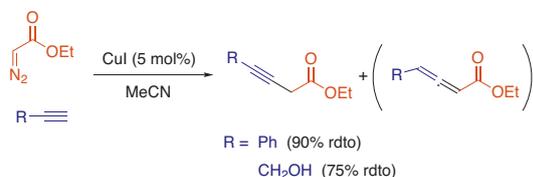
En primer lugar, puede considerarse la cicloadición de acetiluros de cobre a diazoésteres en medio básico, que ha sido descrita por Ready y colaboradores (Esquema 9).²⁷ La generación del alquino de cobre se realiza mediante reacción del alquino con BuⁿLi seguido de un tratamiento con una cantidad estequiométrica de CuCN. En el acetiluro formado, el cobre dona densidad electrónica al triple enlace, elevando la energía de su orbital HOMO y favoreciendo así su interacción con el LUMO del dipolo para dar lugar a un único regioisómero, en un proceso concertado de demanda electrónica inversa.



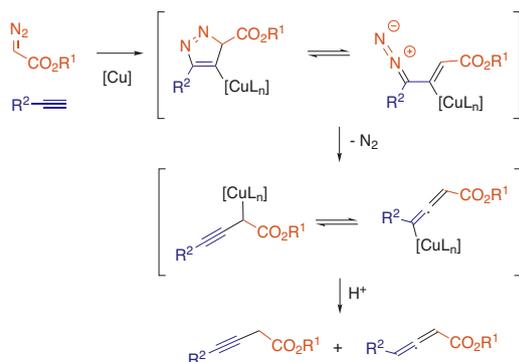
Esquema 9. Cicloadición [3+2] de diazocompuestos con acetiluros de cobre.

Por otra parte, el grupo de Fu ha estudiado la reacción en condiciones neutras de diazoésteres con alquinos terminales en presencia de cantidades catalíticas de CuI (Esquema 10).²⁸ En estas reacciones se observa la formación de derivados de tipo 3-alquinoato, acompañados de cantidades minoritarias del alenoato correspondiente. Aunque estos autores no han

propuesto un mecanismo para esta transformación, si se considera la notable similitud de esta reacción con las de las sulfonil-azidas, cabe esperar una secuencia de etapas con notables semejanzas (Esquema 11).²⁹ Recientemente, esta reacción se ha extendido a diazoésteres α -sustituídos.³⁰



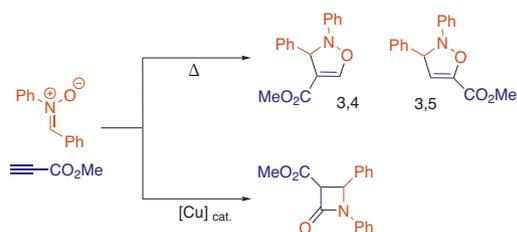
Esquema 10. Reacción de diazoésteres con alquinos terminales catalizada por CuI.



Esquema 11. Propuesta mecanística para la reacción de diazoésteres con alquinos catalizada por Cu.

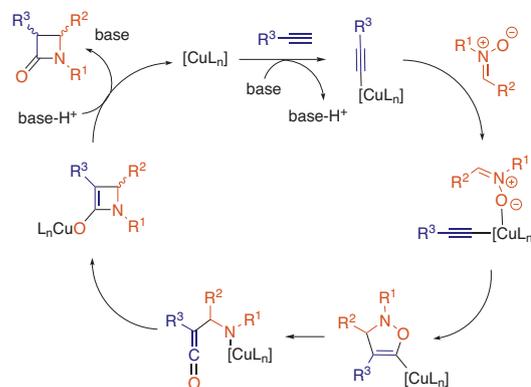
Cicloaddición de nitronas

La reacción de cicloaddición de alquinos a nitronas es un proceso térmico que conduce a los correspondientes 2,3-dihidroisoxazoles con baja regioselectividad (Esquema 12).¹ Sin embargo, en presencia de cobre, esta cicloaddición proporciona derivados de la β -lactama en lugar de los dihidroisoxazoles esperados. El primer ejemplo de este tipo de transformaciones se debe al grupo de Kinugasa, que en 1972 describió la formación de 1,4-diaril-3-fenil- β -lactamas mediante reacción entre el fenilacetiluro de cobre con las C,N-diaril nitronas correspondientes.³¹ Posteriormente, como se ha comentado anteriormente, Miura y colaboradores observaron que estas reacciones pueden llevarse a cabo con cantidades catalíticas de cobre.³ El interés práctico de estas reacciones es evidente si se considera que las β -lactamas poseen una importancia notable en síntesis orgánica y presentan propiedades antibióticas e inhibidoras de la proteasa.



Esquema 12. Reacciones de cicloaddición [3+2] térmica y catalizada por cobre de nitronas y alquinos.

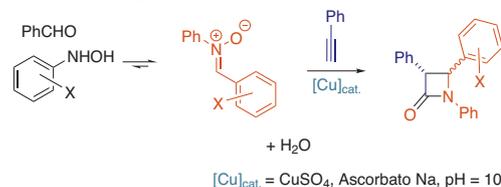
Para la formación de los derivados de β -lactama se ha propuesto un mecanismo basado en la cicloaddición [3+2] de la nitrona a un acetiluro de cobre (Esquema 13).³² Esta reacción da lugar a la formación inicial de un complejo Cu-isoxazolina, que tras un proceso de reagrupamiento conduce a un enolato, a través de una cetena intermedia. Finalmente la protonación del enolato proporciona la 2-azetidiona y regenera el catalizador. Si bien este mecanismo considera la participación de un derivado de cobre mononuclear; recientemente, en consideración a observaciones experimentales, se ha propuesto la participación de especies dinucleares.³³



Esquema 13. Mecanismo de la cicloaddición [3+2] de nitronas y alquinos catalizada por cobre. [Cu_n] hace referencia a una especie mononuclear o polinuclear de cobre.

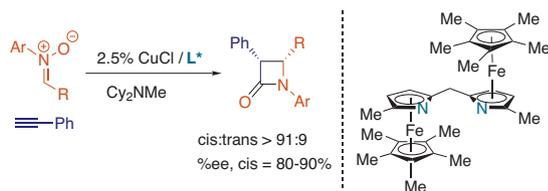
Un aspecto difícil de estas reacciones reside en el control adecuado de la diastereoselectividad. Así, se ha observado que en condiciones apropiadas el isómero mayoritario que se forma es el *cis*. Sin embargo, el isómero *cis* puede transformarse en medio básico en el derivado más estable *trans*, por lo que la proporción entre ambos isómeros depende de manera acusada de las condiciones de reacción, así como de la naturaleza del sustituyente y, en particular, de su influencia en la epimerización del carbono en la posición 3 del anillo.

Basándose en la elevada tolerancia a diferentes condiciones de reacción de las cicloaddiciones catalizadas por cobre, diversos grupos han estudiado el empleo de medios de reacción más seguros y económicos. Por ejemplo, el grupo de Basak ha desarrollado condiciones en las que se emplean agua o mezclas agua-disolvente orgánico. En este caso la especie catalítica se genera *in situ* a partir de la mezcla CuSO₄/ascorbato.³⁴ Por otra parte, Peczeki y colaboradores han desarrollado una reacción de tipo “one pot” en la que inicialmente la micela SDS cataliza la formación de la nitrona a partir de benzaldehído y una *N*-arilhidroxiamina (Esquema 14). En una etapa de reacción posterior el derivado 1,3-dipolar reacciona con el alquino en un proceso catalizado por cobre.³⁵



Esquema 14. Síntesis de β -lactamas catalizada por la micela SDS y cobre.

Debido a que en las β -lactamas obtenidas en estas cicloadiciones se forman dos nuevos centros estereogénicos, la versión enantioselectiva de esta reacción posee un interés elevado. El primer ejemplo de reacción enantioselectiva en el que se hizo uso de un ligando quiral se remonta a los estudios del grupo de Miura, en los que mediante el empleo de un ligando bisoxazolina se obtuvo un exceso enantiomérico del 57% ee (cis/trans: 2:1) en la reacción del fenilacetileno con la *N*, α -difenilnitrona.³ Posteriormente, Fu y colaboradores han descrito la utilización en la reacción de Kinugasa de un catalizador basado en un ligando bis(azaferroceno) quiral (Esquema 15). Mediante el empleo de este sistema catalítico estos investigadores han obtenido excelentes niveles de enantioselectividad y diastereoselectividad.³⁶



Esquema 15. Cicloadición [3+2] enantioselectiva de nitronas y alquinos.

A raíz de estos trabajos, se han descrito otros sistemas catalíticos formados *in situ* a partir de una sal de cobre (I) o (II) y un ligando quiral nitrogenado o N,P-donador, como los que se muestran en la Figura 2.³⁷

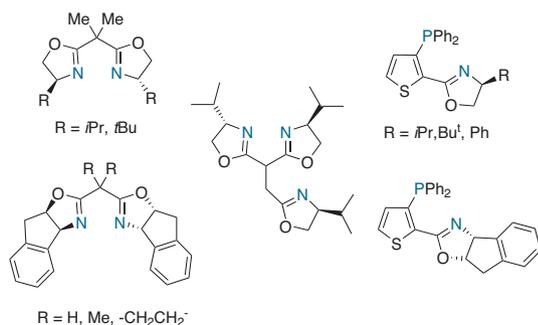
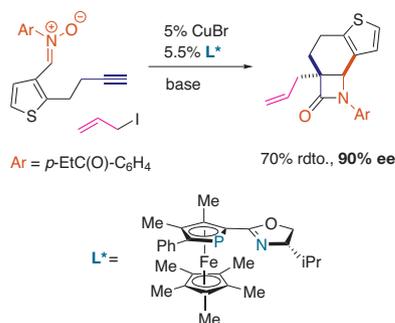


Figura 2. Ligandos quirales empleados en la cicloadición [3+2] de nitronas.

Por otra parte, la preparación de β -lactamas policíclicas resulta de notable interés. En este contexto, Fu y colaboradores han desarrollado una versión intramolecular enantioselectiva



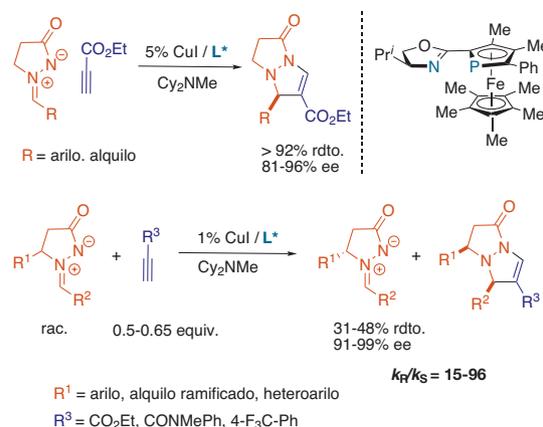
Esquema 16. Ejemplo de cicloadición [3+2] intramolecular de nitronas en presencia de un electrófilo.

de la reacción de Kinugasa catalizada por una sal de Cu(I) y un ligando fosfaferroceno-oxazolina quiral (Esquema 16).³⁸ En un intento por incrementar la complejidad estructural de los derivados obtenidos en estas reacciones, estos investigadores han estudiado la posibilidad de interceptar el enolato intermedio de la reacción mediante el empleo de un electrófilo. Así, la adición de yoduro de alilo a la mezcla de reacción conduce a la formación de un centro estereogénico cuaternario con una elevada enantioselectividad.

Cicloadición de iminas de azometino

Las iminas de azometino son especies difíciles de manipular debido a su elevada inestabilidad.¹ Sin embargo, las obtenidas mediante la condensación de una pirazolidin-3-ona con un aldehído, debido a la capacidad del grupo carbonilo para estabilizar la carga negativa del átomo de nitrógeno, son estables de manera indefinida y pueden aislarse sin mayores dificultades.³⁹ En 1968, Dorn y Otto describieron por vez primera la cicloadición de estos dipolos con alquinos sustituidos con grupos electrón-atractores. Las pirazolidinonas bicíclicas resultantes poseen propiedades antibióticas análogas a las de las penicilinas y cefalosporinas.⁴⁰

En presencia de una sal de cobre, estas reacciones pueden llevarse a cabo en condiciones suaves y de manera regioselectiva. Por ejemplo, el grupo de Fu ha descrito la utilización de un catalizador basado en CuI y un ligando fosfaferroceno-oxazolina quiral en la cicloadición de una serie de iminas de azometino y alquinos con sustituyentes electrón-deficientes (Esquema 17).⁴¹ Los productos resultantes se obtienen con valores elevados de exceso enantiomérico.



Esquema 17. Cicloadición enantioselectiva catalizada por cobre de iminas de azometino.

Este mismo grupo ha descrito también el primer ejemplo de resolución cinética basada en una reacción de cicloadición 1,3-dipolar.⁴² En las condiciones descritas anteriormente, se ha llevado a cabo la resolución cinética de mezclas racémicas de iminas de azometino con razones enantioméricas (k_R/k_S) muy altas. Sin embargo, la obtención de valores elevados de enantioselectividad se limita únicamente a dipolos sustituidos en el carbono de la posición 5 con sustituyentes alquilos ramificados o arilos.

Recientemente, varios grupos han descrito el empleo de catalizadores heterogéneos en los que una sal de cobre se encuentra dispersa en un soporte sólido.⁴³ Ejemplos significativos de estos catalizadores son las zeolitas USY modificadas con cobre, y el hidróxido de cobre soportado en alúmina ($\text{Cu}(\text{OH})_x/\text{Al}_2\text{O}_3$). Debido a su naturaleza heterogénea, estos catalizadores pueden separarse fácilmente de la mezcla de reacción y volver a utilizarse.

Conclusiones

Las reacciones de cicloadición [3+2] de derivados 1,3-dipolares y alquinos catalizadas por cobre constituyen una herramienta de enorme potencial para la construcción de compuestos, particularmente heterocíclicos, de utilidad sintética y farmacológica. La extraordinaria tolerancia de estas transformaciones a la presencia de grupos funcionales de distinta naturaleza y a diversos medios de reacción ofrece una considerable versatilidad a estos procesos y facilita el desarrollo de reacciones multicomponentes para la síntesis de moléculas con un grado elevado de complejidad estructural.

Aunque las cicloadiciones de las azidas han alcanzado en muy poco tiempo un grado de madurez importante, las reacciones de otros dipolos han sido considerablemente menos estudiadas. Por el interés de estas transformaciones cabe esperar en el futuro un incremento significativo de estudios relacionados con el desarrollo de nuevos catalizadores y procedimientos de reacción, así como con la elucidación del mecanismo de estas transformaciones.

Agradecimientos

El autor agradece al Ministerio de Economía y Competitividad (Consolider-Ingenio 2010, CSD2007-00006; CTQ2009-11867), a la Junta de Andalucía (2009/FQM-4832, 2008/FQM-3830) y al CSIC (Proyecto Intramural Especial) por la financiación recibida (fondos FEDER). Asimismo, el autor agradece al Prof. Gregory C. Fu el estímulo para escribir este artículo, y al Dr. Antonio Pizzano la lectura previa del manuscrito.

Bibliografía

1. a) *1,3-Dipolar Cycloaddition Chemistry*, Vols. 1 y 2 (Ed.: A. Padwa), Wiley Interscience, New York, **1984**. b) *The Chemistry of Heterocyclic Compounds, Volumen 59: Synthetic Applications of 1,3-Dipolar Cycloaddition Chemistry Toward Heterocycles and Natural Products*, (Eds.: A. Padwa, W. H. Pearson), John Wiley & Sons, Nueva York, **2002**.
2. a) R. B. Woodward, R. Hoffmann, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* **1969**, *8*, 781–853. b) S. Inagaki, H. Fujimoto, K. Fukui, *J. Am. Chem. Soc.* **1976**, *98*, 4693–4701.
3. M. Miura, M. Enna, K. Okuro, M. J. Nomura, *J. Org. Chem.* **1995**, *60*, 4999–5004.
4. Para ejemplos: a) J.-F. Lutz, Z. Zarafshani, *Adv. Drug Delivery Rev.* **2008**, *60*, 958–970. b) J. M. Holub, K. Kirshenbaum, *Chem. Soc. Rev.* **2010**, *39*, 1325–1337. c) A. H. El-Sagheer, T. Brown, *Chem. Soc. Rev.* **2010**, *39*, 1388–1405. d) V. Aragao-Leoneti, V. L. Campo, A. S. Gomes, R. A. Field, I. Carvalho, *Tetrahedron* **2010**, *66*, 9475–9492.
5. H. C. Kolb, M. G. Finn, K. B. Sharpless, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2001**, *40*, 2004–2021.
6. Una excelente revisión sobre la cicloadición de azidas a alquinos catalizada por cobre ha sido publicada anteriormente en esta revista: a) D. D. Díaz, M. G. Finn, K. B. Sharpless, V. V. Fokin, C. J. Hawker, *An. Quím.* **2008**, *104*, 173–180. Para otras revisiones: b) M. Meldal, C. W. Tornøe, *Chem. Rev.* **2008**, *108*, 2952–3015. c) J. E. Hein, V. V. Fokin, *Chem. Soc. Rev.* **2010**, *39*, 1302–1315.
7. a) C. W. Tornøe, C. Christensen, M. Meldal, *J. Org. Chem.* **2002**, *67*, 3057–3064. b) V. V. Rostovtsev, L. G. Green, V. V. Fokin, K. B. Sharpless, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2002**, *41*, 2596–2599.
8. V. D. Bock, H. Hiemstra, J. H. van Maarseveen, *Eur. J. Org. Chem.* **2006**, 51–68.
9. C. Nolte, P. Mayer, B. F. Straub, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 2101–2103.
10. Alternativamente, las cicloadiciones dominadas por la interacción HOMO(dipolo)-LUMO(dipolarófilo) se denominan de demanda electrónica normal: R. Sustmann, *Pure Appl. Chem.* **1974**, *40*, 560–593.
11. F. Himo, T. Lovell, R. Hilgraf, V. V. Rostovtsev, L. Noodleman, K. B. Sharpless, V. V. Fokin, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 210–216.
12. V. O. Rodionov, S. I. Presolski, D. D. Díaz, V. V. Fokin, M. G. Finn, *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 12705–12712.
13. a) M. Ahlquist, V. V. Fokin, *Organometallics* **2007**, *26*, 4389–4391. b) B. F. Straub, *Chem. Commun.* **2007**, 3868–3870.
14. Para ejemplos recientes de precursores catalíticos de Cu(0): a) K. Yamaguchi, T. Oishi, T. Katayama, N. Mizuno, *Chem. Eur. J.* **2009**, *15*, 10464–10472. b) F. Alonso, Y. Moglie, G. Radivoy, M. Yus, *Adv. Synth. Catal.* **2010**, *352*, 3208–3214. c) B. J. Borah, D. Dutta, P. P. Saikia, N. C. Barua, D. K. Dutta, *Green Chem.* **2011**, *13*, 3453–3460.
15. Para ejemplos: a) W. G. Lewis, F. G. Magallon, V. V. Fokin, M. G. Finn, *J. Am. Chem. Soc.* **2004**, *126*, 9152–9153. b) V. O. Rodionov, S. I. Presolski, S. Gardinier, Y.-H. Lim, M. G. Finn, *J. Am. Chem. Soc.* **2007**, *129*, 12696–12704. c) N. Candelon, D. Lastécouères, A. K. Diallo, J. R. Aranzas, D. Astruc, J.-M. Vincent, *Chem. Commun.* **2008**, 741–743. d) S. I. Presolski, V. Hong, S.-H. Cho, M. G. Finn, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 14570–14576.
16. Para ejemplos: a) F. Pérez-Balderas, M. Ortega-Muñoz, J. Morales-Sanfrutos, F. Hernández-Mateo, F. G. Calvo-Flores, J. A. Calvo-Asín, J. Isac-García, F. Santoyo-González, *Org. Lett.* **2003**, *5*, 1951–1954. b) L. S. Campbell-Verduyn, L. Mirfeizi, R. A. Dierckx, P. H. Elsinga, B. L. Feringa, *Chem. Comm.* **2009**, 2139–2141.
17. Para ejemplos: a) S. Díez-González, S. P. Nolan, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, *47*, 8881–8884. b) T. Nakamura, T. Terashima, K. Ogata, S. Fukuzawa, *Org. Lett.* **2011**, *13*, 620–623.
18. J. Meng, V. V. Fokin, M. G. Finn, *Tetrahedron Lett.* **2005**, *46*, 4543–4546.
19. a) B. Gerard, J. Ryan, A. B. Beeler, J. A. Porco, Jr., *Tetrahedron* **2006**, *62*, 6405–6411. b) Y. Angell, K. Burgess, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 3649–3651.
20. C. Spiteri, J. E. Moses, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 31–33.
21. E. J. Yoo, M. Ahlquist, S. H. Kim, I. Bae, V. V. Fokin, K. B. Sharpless, S. Chang, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 1730–1733.
22. E. S. H. El Ashry, Y. El Kilany, N. Rashed, H. Assafir, *Adv. Heterocycl. Chem.* **1999**, *75*, 79–165.
23. a) I. Bae, H. Han, S. Chang, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 2038–2039. b) S. H. Cho, E. J. Yoo, I. Bae, S. Chang, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 16046–16047. c) M. P. Cassidy, J. Raushel, V. V. Fokin, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2006**, *45*, 3154–3157. d) E. J. Yoo, M. Ahlquist, I. Bae, K. B. Sharpless, V. V. Fokin, S. Chang, *J. Org. Chem.* **2008**, *73*, 5520–5528.

24. P. Lu, Y. Wang, *Synlett* **2010**, 165–173.
25. I. Cano, E. Álvarez, M. C. Nicasio, P. J. Pérez, *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 191–193.
26. T. V. Hansen, P. Wu, V. V. Fokin, *J. Org. Chem.* **2005**, *70*, 7761–7764.
27. X. Qi, J. M. Ready, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, *46*, 3242–3244.
28. A. Suárez, G. C. Fu, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2004**, *43*, 3580–3582.
29. Un mecanismo alternativo basado en la formación de especies carbénicas de cobre parece poco probable debido a la considerable tolerancia de esta reacción a la presencia de diversos grupos funcionales como olefinas, heteroátomos y grupos hidroxilos: F. Zaragoza-Dörwald, *Metal Carbenes in Organic Synthesis*, Wiley-VCH, Weinheim, **1999**.
30. M. Hassink, X. Liu, J. M. Fox, *Org. Lett.* **2011**, *13*, 2388–2391.
31. M. Kinugasa, S. Hashimoto, *J. Chem. Soc., Chem. Comm.* **1972**, 466–467.
32. R. Pal, S. C. Ghosh, K. Chandra, A. Basak, *Synlett* **2007**, 2321–2330.
33. A. Mames, S. Stecko, P. Mikozejczyk, M. Soluch, B. Furman, M. Chmielewski, *J. Org. Chem.* **2010**, *75*, 7580–7587.
34. A. Basak, K. Chandra, R. Pal, S. C. Ghosh, *Synlett* **2007**, 1585–1588.
35. S. C. McKay, D. C. Kennedy, J. P. Pezacki, *Tetrahedron Lett.* **2009**, *50*, 1893–1896.
36. M. M.–C. Lo, G. C. Fu, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 4572–4573.
37. a) M.–C. Ye, J. Zhou, Z.–Z. Huang, Y. Tang, *Chem. Comm.* **2003**, 2554–2555. b) M.–C. Ye, J. Zhou, Y. Tang, *J. Org. Chem.* **2006**, *71*, 3576–3582. c) A. G. Coyne, H. Mueller-Bunz, P. J. Guiry, *Tetrahedron: Asymmetry*. **2007**, *18*, 199–207. d) T. Saito, T. Kikuchi, H. Tanabe, J. Yahiro, T. Otani, *Tetrahedron Lett.* **2009**, *50*, 4969–4972.
38. R. Shintani, G. C. Fu, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2003**, *42*, 4082–4085.
39. a) H. Dorn, A. Otto, *Angew. Chem., Int. Ed. Engl.* **1968**, *7*, 214–215. b) R. M. Claramunt, J. Elguero, *Org. Prep. Proced. Int.* **1991**, *23*, 273–320.
40. L. N. Jungheim, R. J. Ternansky, R. E. Holmes, *Drugs Future* **1990**, *15*, 149–157.
41. R. Shintani, G. C. Fu, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 10778–10779.
42. A. Suárez, C. W. Downey, G. C. Fu, *J. Am. Chem. Soc.* **2005**, *127*, 11244–11245.
43. a) M. Keller, A. S. S. Sido, P. Pale, J. Sommer, *Chem. Eur. J.* **2009**, *15*, 2810–2817. b) K. Yoshimura, T. Oishi, K. Yamaguchi, N. Mizuno, *Chem. Eur. J.* **2011**, *17*, 3827–3831.

EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment



Scientific Programme

ICCE 2013 provides a unique communication and discussion platform for environmental scientists with emphasis on chemistry.

The main targets of ICCE 2013 are:

- To link pioneering research with existing and upcoming environmental issues.
- To discuss fundamental and applicable aspects related to the fate of chemicals in the environment.
- To generate awareness for emerging contaminants.

The following sessions are planned:

- Atmospheric chemistry and aerosols
- Modelling, Management and Risk Assessment
- Soil and sediment pollution
- Transformation and fate of pollutants
- Water pollution and treatment
- Green and Sustainable Industrial Chemistry
- (Eco-)Toxicology: Pollutants exposure and effects on biota and ecosystems
- Emerging pollutants

Organizing Committee

Eric Jover, Spain, co-Chair
Santiago Luis, Spain, co-Chair
Carlos Barata, Spain
Åke Bergman, Sweden (2009 ICCE Chairman)
Joaquim Comas, Spain
Santiago Espugas, Spain
Vicente Esteve, Spain
Walter Giger, Switzerland (2011 ICCE Chairman)
Joaquim Jaumot, Spain
Silvia Lacorte, Spain
Victor Matamoros, Spain
Guillermo Monrós, Spain
Benjamin Piña, Spain
Xavier Querol, Spain
Sara Rodríguez-Mozaz, Spain
Miquel Sánchez Marré, Spain
Romà Tauler, Spain

Satellite events on Tuesday 25th

Alternative Flame Retardants: Analysis, Occurrence and Exposure

Convener: Dr. Ethel Eljarrat, IDAEA-CSIC, Barcelona, Spain.

Mining and environment: old problems and new solutions

Convener: Dr. Carlos Ayora, IDAEA-CSIC, Spain.

Illicit Drugs in Wastewaters. Organized in collaboration with the American Chemical Society

Co-conveners: Dr. Jennifer Field, Oregon State University, USA; Dr. Félix Hernández, Instituto Universitario de Plaguicidas y Aguas, Universitat Jaume I, Spain.

Cyanobacterial Toxins. Organized in collaboration with the American Chemical Society

Co-conveners: Dr. Dionysios Dionysiou, University of Cincinnati, USA; Dr. Antonio Quesada, Universidad Autónoma de Madrid, Spain.

Scientific Committee

Boguslav Buszewski, Poland
Carmen Camara, Spain
Victor Cerda, Spain
Sergio Facchetti, Italy
José Ignacio García, Spain
Antonia Garrido, Spain
Philippe Garrigues, France
Félix Hernández, Spain
Gerhard Lammel, Czech Republic
Willem de Lange, The Netherlands
Antonio Marcomini, Italy
Costas Michael, Cyprus
Raluca Mocanu, Romania
Valery S. Petrosyan, Russia
José Benito Quintana, Spain
Aleksandar Sabljic, Croatia
Herve Sirpa, Finland
Panayotis Siskos, Greece
Uri Zoller, Israel
Antonio Quesada del Corral, Spain

Organizers



Location

Barcelona World Trade Center June 25–28, 2013

Important dates

Deadline for submissions: February 15th, 2013

Early bird registration: April 15th, 2013

Information

Web page: www.icce2013.org

Eric Jover, ICCE 2013 co-chair
(email: ejoverand@gmail.com)

Santiago Luis, ICCE 2013 co-chair
(email: luis@uji.es)

El icono de los químicos: la tabla periódica de los elementos¹

Eduardo J. Fernández y Julio Fernández

Resumen: El artículo recorre la historia de la Tabla Periódica de los Elementos desde sus antecedentes a la actualidad, con 118 elementos descubiertos. Se destacan las figuras de Mendeléiev y Moseley como sus co-creadores. Se propone un “icono” como figuración de la Tabla y se reivindica nombrar un elemento como “moseleyio”.

Palabras clave: Historia de la química, tabla periódica, Mendeléiev, Moseley, icono de los químicos.

Abstract: The article goes over the history of the Periodic Table of the Elements from its earliest history to the present, with 118 elements discovered. Mendeleev and Moseley as its co-creators are emphasized. An “icon” as a representation of the Table is proposed and the name “Moseleyium” for one chemical element is requested.

Keywords: History of chemistry, periodic table, Mendeléiev, Moseley, icon of Chemists.

Introducción

La tabla periódica de los elementos (TP) es, efectivamente, un icono tan poderoso que cuatro brochazos bastan para que a cualquier químico le resulten nítidamente evocadores (Figura 1).

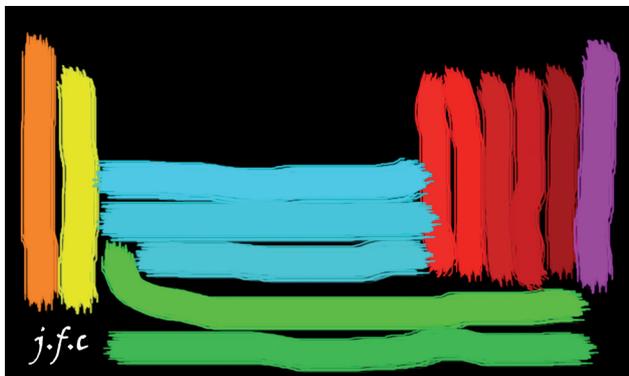


Figura 1. Dibujo realizado por Julio Fernández que evoca el “icono” de los químicos.



Eduardo J. Fernández Julio Fernández

Universidad de La Rioja (Departamento de Química).
Centro de Investigación en Síntesis Química
C/ Madre de Dios 51
26006-Logroño
C-e: eduardo.fernandez@unirioja.es, juliofernandez50@gmail.com

Recibido: 03/07/2012. Aceptado: 06/09/2012.

El libro *La Historia del Sistema Periódico* de la Prof. Soledad Esteban² recoge una historia completa de este “icono”; este artículo solo pretende repasar, a través de “instantáneas”, los principales hitos que lo han originado y le han dado esa forma tan característica.

Empezaremos por los antecedentes de la TP, aludiendo a algunos ejemplos no tan conocidos. Imposible es no acudir al Congreso de Karlsruhe, llegando así a la ley periódica de Mendeléiev y sus éxitos predictivos.

Para terminar, repasaremos la evolución de la Tabla después de Mendeléiev y la participación de los físicos en su concepción, haciendo hincapié en la decisiva contribución de Moseley.

Antecedentes de la tabla periódica

En la Historia existen bastantes contribuciones anteriores a la TP. Por ejemplo, el químico estadounidense Josiah Parsons Cooke, Jr. (1827-1894), que, tras dedicar muchos esfuerzos a la determinación de pesos atómicos (P. At.), publicó sus resultados³ estableciendo relaciones entre los pesos atómicos de los elementos y anticipando la clasificación periódica de los elementos si bien es cierto que de una forma vaga e imperfecta, no es menos cierto que era de lo mejor que se podía esperar en la temprana fecha de 1854.

O el inglés William Odling que, tras algunas aproximaciones en 1857, publicó en 1864 una tabla parecida a la primera de Mendeléiev.⁴ De hecho, fue la primera que alteraba el orden Te-I y en la que aparecían huecos para elementos sin descubrir.

Además de estas y otras contribuciones basadas en los pesos atómicos, otros autores menos conocidos, como el menorquín Mateo Orfila (*Éléments de chimie*, París, 1851) o el francés Auguste Cahours (*Leçons de chimie générale élémentaire*, París, 1855), publicaron tablas con los elementos agrupados por sus similitudes de comportamiento químico. Algunos, como el germano (danés) americano Gustavus Detlef Hinrichs se perdieron en propuestas no fundamentadas basadas en fórmulas trigonométricas (en 1867 propuso un diseño espiral para su “tabla periódica”).

Los autores más claramente identificados como precedentes de Mendeléiev y a los que dedicaremos algunas líneas más son: Döbereiner, con su *ley de las tríadas*; Chancourtois,

con su *caracol telúrico*; Newlands y su *ley de las octavas* y Meyer, que es, para algunos, co-descubridor de la ley periódica junto con Mendeléiev.

El primero de ellos, Johann Wolfgang Döbereiner, fue un químico alemán nacido en Bug, en 1780, y fallecido en Jena, en 1849. Fue el primero en reconocer la existencia de una relación entre los pesos atómicos y el comportamiento químico. En concreto, encontró conjuntos de tres elementos con propiedades químicas similares y que mostraban una variación regular. Por ejemplo, observó que dentro de estas triadas, el peso atómico del elemento central es prácticamente la media de los de los extremos. Expresó sus ideas en una fecha tan temprana como 1817 y fueron finalmente publicadas en 1829.⁵

A pesar de que su trabajo recoge varias triadas, Li-Na-K, Ca-Sr-Ba, S-Se-Te y otras, en las que se encuentra la mencionada proporcionalidad de los pesos atómicos, antepone las propiedades químicas y, así, afirma del conjunto, C, N, O que *“el hecho de que el peso atómico de N (14,138) sea media del de C (12,256) y O (16,026) no puede considerarse aquí porque no hay analogías entre las tres sustancias”*.

La idea de las triadas resultó muy atractiva y un buen número de científicos, como Jean Baptiste Dumas, Leopold Gmelin, Ernst Lenssen, Max von Pettenkofer, Josiah P. Cooke, entre otros, se dedicaron a encontrar otras. Así, en 1858 ya había más de veinte descritas pero, desafortunadamente, el asunto se desvirtuó de su origen –las analogías químicas– deslizándose hacia la pura numerología, con propuestas como la de Lenssen, en 1857, de una triada: Si-B-F. Hubo también intentos arriesgados –más o menos correctos– como el de Odling de incluir más de tres elementos por grupo o el de Peter Kremers quien apuntó que, quizá, hubiera elementos que pertenecieran a dos triadas perpendiculares (como un crucigrama con horizontales y verticales) donde ya se empieza a atisbar la futura tabla periódica. En realidad, si no se avanzó más en esta época fue, probablemente, por la inexactitud en los datos de pesos atómicos de los elementos conocidos.

La segunda aproximación a la TP de cierta importancia se debe a un geólogo francés: Alexandre Émile Béguyer de Chancourtois 1820-1886. Chancourtois trabajó como *Inspecteur général de première classe* en l'École des Mines de París. Entre sus trabajos cabe citar una clasificación de las rocas, o el mapa geológico de Haute-Marne, en el que sistematiza la información contenida.

Quizás fruto de este afán clasificatorio y sistematizador proviene su principal contribución a la química: el *“Vis Tellurique”*, publicado en 1862.⁶ En el tornillo telúrico, el telurio ocupa una posición central –de ahí su nombre– y los elementos se ordenan sobre una curva helicoidal en el espacio de acuerdo a sus pesos atómicos, de manera que los puntos que se disponen verticalmente sobre las sucesivas vueltas de la hélice corresponden a elementos análogos. Esto sugiere ya una repetición periódica de las propiedades.

Sin embargo, Chancourtois tampoco dispuso de una lista fiable de pesos atómicos. Además, por un desafortunado descuido, su artículo original, publicado en una revista de la Academia de Ciencias Francesa: *Comptes Rendus (de l'Académie des sciences)*, no incluía su diagrama y sí un buen número de términos geológicos. Estos dos factores hicieron que su trabajo fuera difícil de entender y, aunque el diagrama

apareció posteriormente, lo hizo en una publicación propia de geólogos, y no tuvo difusión entre los químicos.

Con todo, Chancourtois fue el primero que utilizó los pesos atómicos para establecer una clasificación periódica y, por tanto, la suya podría ser considerada como la primera TP de la historia. Al no conocerse por los químicos este caracol de Chancourtois hay que admitir, no obstante, que la primera “tabla” que la comunidad química tuvo en consideración (aunque fuera para hacer escarnio de ella) fue la debida a John Alexander Reina Newlands.

Newlands fue un químico londinense nacido el 26 de noviembre de 1837 y formado en el *Royal College of Chemistry* de Londres. Su padre era británico, pero su tercer nombre “Reina” proviene del apellido familiar de su madre italiana. De hecho, a la edad de 22 años, participó como voluntario en las milicias de Giuseppe Garibaldi durante la toma de Nápoles, hito clave para la unificación de Italia bajo el reinado de Victor Manuel II en 1861.

A su vuelta a Inglaterra, trabajó como químico analítico en 1864 y en 1868 llegó a químico jefe de la refinería de azúcar *James Duncan & Co* de Londres, introduciendo numerosas mejoras en el proceso de refinado para, posteriormente, establecerse definitivamente como analista.

Como muchos de sus coetáneos, Newlands le dio vueltas al orden de los elementos basándose en los pesos atómicos, aunque sin distinguir entre los términos “peso equivalente” y “peso atómico”. En 1863 aparece su primera publicación con relaciones entre los p. eq. de los elementos.⁷ En 1864 publica dos trabajos, en julio y agosto, insistiendo en ello. En el segundo de estos trabajos ya anticipa que hay siete elementos entre uno y el siguiente semejante⁸ y ahí hace un alto, como para pensárselo, como si le diera miedo lo atrevido de su propuesta.

Finalmente, un año después, en agosto de 1865, publica su *ley de las octavas*⁹ (probablemente influido por su formación musical) en un artículo donde concluye:

Puede verse también que los números de elementos análogos generalmente difieren en 7 o múltiplos de 7; en otras palabras, miembros del mismo grupo muestran entre sí la misma relación que los extremos de una o más octavas en música. Para esta peculiar relación, propongo provisionalmente el término de “ley de las octavas”.

En el número de marzo del año siguiente aparecen las *Actas de la RSC*¹⁰ en las que se lee:

El Sr. John A. R. Newlands leyó un artículo titulado “La ley de las octavas y las causas de las relaciones numéricas de los pesos atómicos”. El autor pretende haber descubierto una ley según la cual los elementos de propiedades análogas presentan características peculiares, semejantes a las que existen en música entre una nota y su octava. Tomando como partida los pesos atómicos de Cannizzaro, el autor ordena los elementos conocidos en forma de sucesión, empezando con el de peso atómico más pequeño: H y terminando con el Th (231,5); sin embargo, coloca Ni y Co, Pt e Ir, Ce y La, etc., en posiciones de igualdad absoluta, esto es, en la misma línea. Los 56 elementos dispuestos de esta forma se dice que forman un

conjunto armónico de 8 octavas, y el autor encuentra que así, el Cl, Br, I y F se hallan en la misma línea, ocupando los lugares correspondientes de su escala. El N y el P; el O y el S, etc., se considera que forman también verdaderas octavas.

Y en la misma reseña puede leerse:

El Dr. Gladstone se opuso a que se admitiera que ya no quedaban elementos por descubrir. Durante los últimos cinco años habían surgido Tl, In, Cs y Rb, y, a partir de ahora, el hallazgo de uno nuevo desecharía todo el sistema. El orador opinaba que existía la misma analogía entre los metales colocados en la última columna vertical que entre cualquiera de los elementos de la misma línea horizontal.

El profesor G. C. Foster preguntó humorísticamente al Sr. Newlands si se le había ocurrido examinar los elementos según el orden de sus iniciales, pues creía que cualquier ordenación presentaría coincidencias accidentales, aunque condenaba a ésta, que colocaba tan apartados al Mn y al Cr, o al Fe del Ni y del Co.

El Sr. Newlands dijo que había ensayado otros muchos esquemas antes de llegar a éste que proponía ahora. Uno basado en la gravedad específica de los elementos había fracasado totalmente, y no se podía establecer ninguna relación sobre los pesos atómicos de otros sistemas distintos al de Cannizzaro.

La hostilidad con que se recibieron sus ideas, descorazonó a Newlands. Hasta que, en 1869, Mendeléiev publicó su tabla. A partir de ahí siguió buscando nuevas relaciones entre los pesos atómicos, reivindicando su prioridad en una serie de cartas escritas a *Chemical News*. Tras la concesión de la Medalla Davy a Mendeléiev y Meyer en 1882, se volvió más insistente hasta conseguir que se la dieran a él en 1887, “por su descubrimiento de la ley periódica de los elementos”. En la casa donde nació en Londres, una placa colocada por la *Royal Society of Chemistry* recuerda que “J. A. R. Newlands, químico y descubridor de la ley periódica de los elementos químicos nació y creció aquí”.

En este punto hay que retroceder un poco y hablar de uno de los antecedentes más decisivos de la “ley periódica”.

El Congreso de Karlsruhe¹¹

A mediados del siglo XIX la confusión reinaba entre los químicos. Había discordancias sobre el significado de conceptos como peso atómico, peso molecular y peso equivalente, lo que provocaba agria controversia entre atomistas y equivalentistas. En esas condiciones, una misma fórmula podía designar a varios compuestos y al revés, un mismo compuesto podía tener varias fórmulas. Por ejemplo, Kekulé refirió diecinueve fórmulas distintas del ácido acético.

Este motivo impulsó a Kekulé, que en ese tiempo trabajaba en la Universidad de Gante, a celebrar un congreso que pusiera orden sobre nomenclatura química, formulación y pesos atómicos. En marzo de 1860 lo comentó con Weltzien, de Heidelberg, y con Wurtz, de París, y escribieron a los cuarenta y cinco químicos más influyentes de Europa. Las cartas, fechadas a 10 de julio, se enviaron escritas en francés, inglés

y alemán. En ellas se establecían nítidamente los objetivos del congreso: “La definición de importantes conceptos químicos tales como los expresados por los términos átomo, molécula, equivalente, atomicidad, basicidad, etc.; discusión de los equivalentes verdaderos de los cuerpos y sus fórmulas; la institución de una notación uniforme y una nomenclatura racional”.

La ciudad elegida fue Karlsruhe debido, parece ser, a que en 1858 se había celebrado allí, con éxito, el Congreso de Científicos Naturales y Médicos de Alemania.¹²

Asistieron 20 de los invitados inicialmente y otros hasta un total de 127 químicos, entre ellos un español: Ramón Torres Muñoz de Luna.

Las conclusiones del congreso no fueron, en ese momento, demasiado definitivas, pero sus consecuencias tuvieron una trascendencia capital. A ello contribuyó, sin duda, Angelo Pavesi, químico italiano de la Universidad de Pavia, pionero de la química agrícola y amigo personal de Cannizzaro. En el congreso, Cannizzaro hizo, basándose en la hipótesis de Avogadro, una apasionada defensa del concepto de peso atómico frente al de equivalente y estableció la importancia de distinguir entre átomos y moléculas. Empero, fue Pavesi, tras el congreso, quién repartió algunos ejemplares del folleto que contenía el “*Sunto di un corso di filosofia chimica*” de Cannizzaro.¹³

Con la suerte de que este folleto llegó a manos de dos jóvenes químicos, Meyer y Mendeléiev, que con su lectura empezaron a imaginar un orden dentro de los elementos, lo que daría como resultado la primera tabla periódica de los elementos en 1869. Sobre los efectos que tuvo la lectura del texto de Cannizzaro el mejor elogio son los términos con que a éste se refirieron los dos co-creadores de la tabla periódica y protagonistas del próximo apartado:

Meyer dice: “*Lo leí repetidas veces en el viaje de regreso y también en casa y me sorprendió la claridad del pequeño folleto y lo acertado de la solución que en él se daba a la mayor parte de las cuestiones discutidas. Sentí como si las escamas cayeran de mis ojos y las dudas desaparecieran y fueran reemplazadas por una sensación de pacífica seguridad.*”

Y Mendeléiev escribe: “*Muchos de ellos [de los asistentes al congreso] probablemente recuerden cuánto terreno se ganó en el congreso por los seguidores de la teoría tan brillantemente representada por Cannizzaro. Yo recuerdo nítidamente la impresión producida por sus intervenciones.....las cuales estaban en aquella época lejos de ser reconocidas de forma generalizada.*”

La tabla periódica: Meyer y Mendeléiev¹⁴

En 1860 el por entonces joven químico alemán Julius Lothar Meyer acudía al Congreso de Karlsruhe con apenas 30 años y solo dos después de doctorarse. Allí, recibió un ejemplar del folleto de Cannizzaro que, como acabamos de citar, le provocó una profunda impresión.

Con la idea de organizar los elementos de cara a sus clases, ya en 1864 publicó “*Las modernas teorías de química*” (*Die modernen Theorien der Chemie, Breslau, 1864*), libro que contenía una primera versión de su tabla periódica. En ella, clasificaba, de acuerdo a su valencia, 28 elementos en 6 familias, dejando ya un hueco entre el Si y el Sn, correspondiente al Ge.

Tras dos años en la Escuela de Estudios Forestales de Eberswalde decide trasladarse a la Escuela Politécnica de Karlsruhe en 1868. En este mismo año preparó una segun-

da edición de su libro con una nueva tabla periódica, ya con 55 elementos, que dejó, para su uso y evaluación, a Adolf Remelé, su sustituto en Eberswalde. Aunque dicha segunda edición no apareció hasta 1872, en 1869 escribió un artículo para *Annalen* con su tabla.

Este artículo incluye una representación de volúmenes atómicos. vs. pesos atómicos, que ya esbozaba la periodicidad de las propiedades y, además, situaba a los elementos parecidos en posiciones semejantes. Pero su publicación se retrasó hasta 1870 y, para su desgracia, es posterior al artículo de Mendeléiev en *Zeitschrift für Chemie*.

Meyer reconoció el trabajo de Mendeléiev, pero no dejó de reivindicar su propia autoría. Contribución que le fue reconocida en 1882 con la Medalla Davy, concedida a ambos, Mendeléiev y Meyer, en reconocimiento de sus trabajos en la ley periódica.

Sin embargo, el considerado como principal autor de la tabla periódica es Dimitri Ivánovich Mendeléiev (Figura 2).

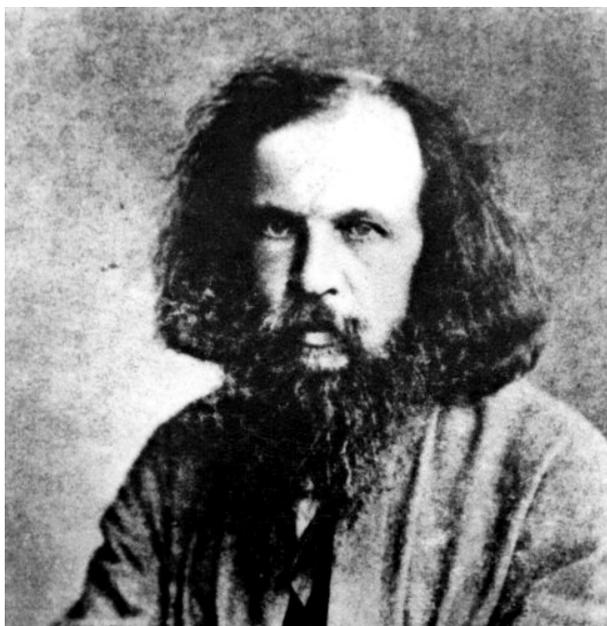


Figura 2. Dimitri Ivánovich Mendeléiev (1834-1907).

Parece que Mendeléiev llevaba tiempo preocupado por poner orden en los elementos químicos y, para ello, jugaba un interminable solitario ordenando, de múltiples maneras, naipes de los elementos que previamente había confeccionado.

Finalmente, el 17 de febrero de 1869¹⁵ da con la solución y comunica a la Sociedad Química Rusa de San Petersburgo su tabla periódica. Esta comunicación fue leída por Nikolai Aleksandrovich Menshutkin el 6 de marzo y publicada a continuación.¹⁶

Además del artículo en ruso, publicó una traducción al alemán en la revista *Zeitschrift für Chemie*,¹⁷ que contiene su primera tabla y su “ley periódica” expresada en 8 puntos que se pueden resumir en: “Cuando los elementos se estudian en orden creciente de sus pesos atómicos, la similitud de las propiedades ocurre periódicamente, es decir, las propiedades de los elementos son función periódica de sus pesos atómicos.”

A diferencia de sus antecedentes, la de Mendeléiev es la primera tabla basada, de forma conjunta, en los pesos atómicos de Cannizzaro y en las propiedades químicas de los elementos.

En realidad, su mayor contribución a la ciencia, su ley periódica, no procede de su actividad investigadora, sino de la docente y, como Meyer en 1868, estaba escribiendo la que iba a ser, según sus propias palabras, “mi obra más querida”, que serviría de libro de texto y guía para sus estudiantes. Para ello, trataba de presentar la química conocida y por conocer, de una forma ordenada y es de ahí de donde surgen los solitarios con sus peculiares cartas y el orden de los elementos que expresó y publicó como su tabla periódica.

Finalmente su libro “*Osnovy Khimii*” (“Principios de Química”) se publicó en dos volúmenes, el primero en 1869 y el segundo en 1871 siendo el primer libro que utiliza la ley periódica como principio organizativo.

De este libro se hicieron ocho ediciones en ruso (1869-71, 1872-73, 1877, 1881-82, 1889, 1895, 1903 y 1906), en las que se adaptaba y revisaba su tabla periódica con los nuevos conocimientos adquiridos. La “obra más querida” de Mendeléiev se siguió publicando hasta cuarenta años después de su muerte en 1907.

Poder predictivo de la ley periódica: Ga, Sc y Ge¹⁸

La primera tabla de Mendeléiev contenía los 63 elementos conocidos e incluía 4 más, a los que asignó pesos atómicos de 45, 68, 70 y 180, pronosticando el descubrimiento de Sc, Ga, Ge y Tc, respectivamente. Mendeléiev también corrigió algunos pesos atómicos y tuvo el arrojo de alterar el orden de tres parejas de elementos: Te(128)-I(127), Hg(200)-Au(197) y Bi(210)-Tl(204), porque el orden creciente de pesos atómicos no encajaba con la semejanza de propiedades químicas, dejando claro la importancia de este aspecto.

Mendeléiev sostuvo con arrogancia sus atrevidas propuestas, que, para algunos, pudieron parecer incluso las ensoñaciones de un lunático. Pero pronto tanto su atrevimiento, como sus propuestas, iban a recibir un impulso definitivo con la contribución del químico francés, especialista en espectroscopía, Paul Émile (François) Lecoq de Boisbaudran.

A partir del estudio espectroscópico de 35 elementos, Lecoq publicó, en 1874, un volumen titulado “*Spectres Lumineux*” en el que se relacionan las características espectrales de elementos de la misma familia, estableciendo su variación respecto al pesos atómicos. Básicamente, esto sienta las bases del análisis espectroscópico.

En febrero de ese mismo año empezó a estudiar, mediante técnicas espectroscópicas, una muestra de 52 kg de mineral de blenda de las minas de Pierrefitte (departamento de Hautes Pyrénées), de la que aisló, finalmente, varios miligramos de un nuevo metal al que llamó galio (en honor a su patria, la Galia).¹⁹ Alguien dijo entonces que, en realidad, era un monumento a su propio nombre Lecoq, el gallo, en latín *gallus* (que, en efecto, era el escudo heráldico de la familia). Sin embargo él lo negó en un artículo publicado en 1877.

Lecoq describía para el Ga una densidad de 4,7 g·cm⁻³, pero Mendeléiev había predicho un valor de 5,9 g·cm⁻³. Cuando Mendeléiev se enteró, con su natural aplomo, publicó en la misma revista de la Academia de Ciencias Francesa una nota afirmando que el Ga era su eka-aluminio y que

el valor de la densidad no era correcto. Incluso sugería a Lecoq que repitiera la medida. Hay que tener mucho valor y confianza ciega en tus ideas para enmendar la plana a un colega basándose en una predicción teórica; pero al repetir la medida, Lecoq demostró que Mendeléiev tenía razón. Lecoq tal vez pudo haberse sentido ofendido pero, sin embargo, escribió “*Creo que no es necesario insistir en la enorme importancia de la confirmación de las conclusiones teóricas de Mendeléiev*”.

En 1879 se le concedió la medalla Davy, antes que al propio Mendeléiev que tuvo que esperar a 1882 para compartirla con Meyer.

Poco después se encontraron los otros dos elementos “eka” de Mendeléiev. El primero fue descubierto por el químico sueco Lars Fredrik Nilson quién, fruto de su trabajo sobre muestras de euxenita y gadolinita, publicó, en 1879, el hallazgo de un nuevo elemento al que dio el nombre de escandio.²⁰ Fue otro sueco, Per Teodor Cleve, quién advierte que el escandio de Nilson era el eka-boro predicho por Mendeléiev.²¹

Finalmente, fue el alemán Clemens Winkler quien, durante la determinación de la composición de la argyrodita, mineral recién descubierto por Weisbach, encontró y bautizó al germanio.²²

Por casualidad, los tres elementos “eka” recibieron nombres “nacionalistas”. Curioso y paradójico ya que, en todo caso, son los elementos que demostraron, incontestablemente, la validez de la “ley periódica” de Mendeléiev. Una ley que va más allá de la tabla, más allá de algo formal, más allá de países, se trata, en definitiva, de una ley natural y universal.

La ley periódica de Mendeléiev: Una ley natural

Existen, como hemos visto, muchos antecedentes del descubrimiento de la TP. La situación estaba madura para que alguien la pusiera sobre la mesa. Se podría decir que, si Mendeleiev fue el padre de la tabla, hubo algunos (muchos) “tíos y primos”. Quizá, de todos ellos, Döbereiner fue el primero en relacionar orden (propiedades) y pesos atómicos, lo que le convierte en su indiscutible “abuelo”.

Ahora bien, ¿fue Mendeléiev tan solo uno más, sin más distinción que la de ser el último?. No, Mendeléiev no propuso una clasificación de los elementos, sino una “*Ley Natural*”.²³ Dejemos que él mismo se defienda:

“Ninguna ley de la naturaleza, por general que sea, se ha establecido de una sola vez. Su reconocimiento ha sido precedido por muchos presentimientos. El establecimiento de una ley, sin embargo, no tiene lugar cuando se forma la primera idea, o incluso cuando es reconocida, sino sólo cuando ha sido confirmada por los resultados de la experimentación. El hombre de ciencia puede considerar estos resultados como la única prueba de la corrección de sus conjeturas y opiniones”.

Desde luego, el protagonismo de Mendeléiev está fuera de toda duda y, por ejemplo, es muy poco probable que sin ella Meyer y Newlands hubieran logrado sus medallas Davy. No obstante, aunque su genio fue reconocido de múltiples maneras, nunca ganó el Premio Nobel. Como consecuencia de la concesión del Nobel de 1904 a Ramsay por el descubrimien-

to de los gases nobles, se consideró la candidatura del padre del ordenamiento de los elementos. En 1905 fue nominado por primera vez, pero lo ganó Bayer. En 1906 perdió por un voto (se dice que el de Arrhenius) frente a Henri Moissan y en enero de 1907 lo volvieron a nominar, ¡demasiado tarde! porque murió el 2 de febrero. En su entierro, los estudiantes protagonizaron un impresionante duelo en el que portaban tablas periódicas. El Prof. Konovalov pronunció el panegírico: “*Querido e inolvidable maestro: te traigo el último adiós de los químicos rusos... Que la tierra natal te sea leve*”.

En su lápida únicamente se lee, en caracteres cirílicos “Dimitri Ivánovich Mendeléiev”. Parece ser que el día que los canteros estaban grabando la tumba interrumpieron su trabajo debido al intenso frío. Al celebrarse el homenaje al año siguiente, alguien comentó: “que bien que en su tumba sólo ponga su nombre” y a su viuda, Ana, le pareció bien dejarlo así.

Mendeléiev es, sin duda, una de las personas más fascinantes de la historia de la ciencia y el presente trabajo obvia muchos aspectos de su compleja biografía. Sin embargo se han publicado excelentes trabajos al respecto, como, por ejemplo, el de Bavaev de 2009.²⁴

Además, para, no sólo saber de él, sino para encuadrar su figura tanto en el panorama científico de la segunda mitad del siglo XIX como en el momento social de la Rusia de la época, hay que recomendar el libro de referencia, en español, escrito por Pascual Román.²⁵

La tabla periódica después de Mendeléiev

La tabla periódica, tal como la conocemos hoy, no es la que propuso Mendeléiev en 1869. De hecho, como se ha comentado, él mismo se pasó toda su vida modificándola y actualizándola en las sucesivas ediciones de sus “Principios de Química”. Esto fue asentando y probando la validez de su ley periódica, ya que cada “problema” que surgía se fue encajando en la tabla con modificaciones que no refutaban su vigencia.

El primero de esos problemas lo ocasionaron los nuevos elementos que se fueron encontrando en los minerales descubiertos por Gadolin: los elementos de tierras raras, de los que en ese momento, afortunadamente, sólo se conocían 6.

Estos elementos parecían no obedecer la ley periódica: tenían pesos atómicos muy parecidos y sus propiedades no variaban con el peso atómico. Para sortear este inconveniente, el químico checo Bohuslav Brauner, de la Universidad de Praga, gran seguidor y amigo de Mendeléiev, sugirió que podían constituir una serie de *transición interna* separada. Su figura fue, de hecho, destacada por éste en la 5ª edición de los “Principios de Química”, “por su contribución al reforzamiento de la Ley Periódica”.

Otro problema fue el descubrimiento de los gases nobles, cuya historia merece mucho más espacio pero intentaremos resumir aquí. Rayleigh, físico inglés que determinaba con exactitud pesos atómicos para refutar la hipótesis de Prout, tenía un problema con el nitrógeno y escribió una nota en *Nature* pidiendo ayuda. Fue un químico de Glasgow, Sir William Ramsay, quién se ofreció a ocuparse del problema. Para ello, supuso que en el nitrógeno atmosférico había una impureza más densa que el nitrógeno. Una vez aislada y estudiada espectroscópicamente descubrió que tal impureza

era, de hecho, un nuevo elemento al que llamó argón (de *argos* \equiv perezoso).

Al principio, argón no encajaba muy bien en la TP y el propio Mendeléiev sugirió que podría tratarse de una especie de “nitrozono” N_3 . Pero poco después, Ramsay y Travers aislaron los otros cuatro gases nobles: en 1895 el helio, He, aunque dieron el crédito del descubrimiento previo a Janssen y Lockyer y se mantuvo el nombre helio; en 1898 descubrieron, en mayo, el neón, (de *neos* \equiv nuevo), en junio, el kriptón, (de *kriptos* \equiv oculto), y en julio, el xenón, (de *xenos* \equiv extraño, extranjero). Además, Ramsay sugirió en 1902 que podían ser un nuevo grupo, colocado entre los halógenos y los alcalinos.

Y al respecto de esta afirmación, Mendeléiev responde:²⁶ “*Esto es extremadamente importante para él (para Ramsay) como una afirmación de la posición de los elementos recién descubiertos, y para mí como una gloriosa confirmación de la aplicabilidad general de la ley periódica*”.

De hecho, ambos, Ramsay y Rayleigh, recibieron sendos Premios Nobel en 1904, de Química y de Física, respectivamente por el descubrimiento de los gases nobles. La nominación del Premio Nobel de Física a Rayleigh también menciona su contribución en la determinación de densidades de gases.

Al fin, la TP propuesta por Mendeléiev se iba aproximando a la que conocemos en la actualidad, aunque no en su forma de presentación. Esta se debe a Werner y Paneth.

Alfred Werner es conocido fundamentalmente por su teoría de la coordinación, que explicó la naturaleza de los compuestos “complejos”. Esta teoría es por la que recibió el Premio Nobel de Química en 1913, pero en 1905 había propuesto (y por ello figura en esta historia) una forma larga de la TP, que separaba los subgrupos A de los B. En ella los elementos de tierras raras estaban colocados a continuación del lantano, por lo que la tabla resultaba demasiado “engorrosa”.

Fue el químico austriaco Friedrich Adolf Paneth, quien lo solucionó, simplemente sacándolos de la tabla y colocándolos debajo, tal y como figuran en la gran mayoría de las tablas y que tan familiar nos resulta actualmente. Es decir, hizo lo mismo que Brauner sólo que no por motivos conceptuales, como aquel, sino solo por motivos gráficos.

¿Química o física?

La contribución de Antonius Johannes van den Broek al descubrimiento del número atómico suele ser olvidada. Pese a su formación (Doctor en Leyes) su afición por la física le había permitido publicar un buen número de artículos científicos. Con la idea de recuperar la propuesta de Newlands de establecer un número de serie para los elementos una vez ordenados, publicó, en 1913,²⁷ un artículo en el que apuntaba que “*El número de serie de cada elemento en la secuencia que los ordena por incremento de su pesos atómicos es igual a la mitad de su peso atómico y, por tanto, su carga intra-atómica*”.

Pero su principal contribución se produce ese mismo año en artículo de tan sólo dos páginas en *Nature*,²⁸ en el que va un paso más allá. Abandona la idea de que la carga es la mitad del peso atómico y, explícitamente, indica que la carga es el número de serie.

El concepto “número atómico” fue pronto acuñado por Ernest Rutherford quién, también en *Nature*,²⁹ publicó un artículo en el que se lee: “*La original sugerencia hecha por van den Broek, de que la carga del núcleo es igual al número atómico y no a la mitad del peso atómico, me parece ser muy prometedora*”.

Irónicamente, Rutherford, que afirmó: “*la ciencia, o es física, o es filatelia*”, recibió el Premio Nobel de química en 1908 “por sus experimentos en la desintegración de los elementos y la química de los materiales radiactivos”.

Henry Moseley

Pese a que está plenamente establecido que Mendeléiev es el padre de la tabla, este artículo pretende conceder el máximo crédito, quizá no tanto al pionero de la idea (justa y prolíficamente homenajeado) sino a la persona que completó la tarea. Hay que reconocer que, si el padre de la tabla fue Mendeléiev; fue, no obstante, un “padre empírico” de la misma. Quien realmente se puede considerar como autor intelectual del concepto “tabla periódica” mediante la aplicación del número atómico es, sin duda, Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (Figura 3).

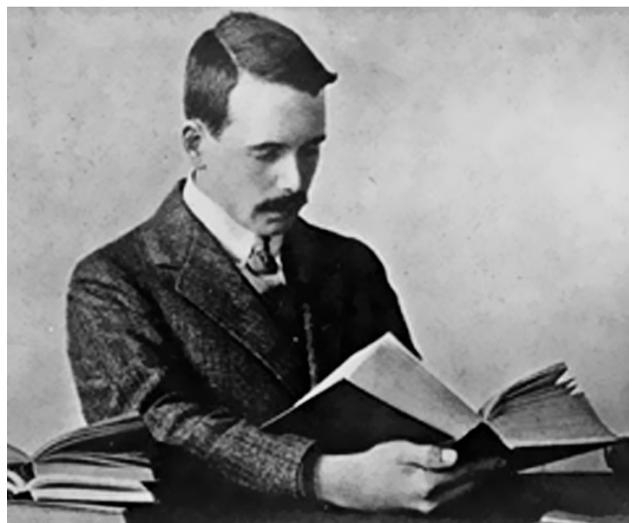


Figura 3. Henry Gwyn-Jeffreys Moseley (1887-1915).

Moseley nació en Weymouth, Dorset (Inglaterra), en el seno de una familia con profundo arraigo científico. Por ejemplo, su padre, Henry Nottidge Moseley, fue un reputado biólogo que participó en la conocida expedición científica *Challenger*. Pronto, el intelecto del joven Henry empezó a brillar y, tras graduarse en Oxford, empezó a trabajar, supervisado por Rutherford, en el estudio de los rayos X emitidos por los metales cuando son bombardeados por electrones.

Para este estudio, ideó un ingenioso dispositivo que podía girar para exponer, sucesivamente, varias muestras de cristales metálicos al haz de electrones. Empezó con 14 elementos, de los que 9 (del Ti al Zn) eran consecutivos en la TP. Y

observó que cada metal presenta una frecuencia de emisión de la línea K_{α} característica.

En esos estudios, encontró que esta frecuencia de emisión era proporcional al cuadrado de un entero que representaba la posición de cada elemento en la tabla. Esta es la conocida como ley de Moseley: $\sqrt{f} = k_1 (Z - k_2)$, donde f es la frecuencia de los rayos X, k_1 y k_2 son constantes y Z es el número atómico de van den Broek y Rutherford.³⁰

De su escrito en *Nature*,³¹ se deduce que Moseley sabía muy bien la trascendencia de su descubrimiento y su relación con la tabla periódica: “Tenemos aquí una prueba de que en el átomo hay una cantidad que se incrementa regularmente al pasar de un elemento al siguiente. Esta cantidad sólo puede ser la carga positiva del núcleo central, de cuya existencia tenemos ya una prueba definitiva”.

Moseley continuó sus trabajos con otros 30 elementos, aunque no pasó del Au. La razón fue la primera Guerra Mundial. Moseley se alistó en la división de *Royal Engineers* y sirvió como oficial tecnológico en la batalla de Gallípoli. Cayó en combate el 10 de agosto de 1915, a los 27 años de edad, alcanzado por un francotirador turco mientras transcribía una orden telefónica. A partir de la muerte de Moseley, y todavía actualmente, el Reino Unido no permite a los científicos alistarse en tiempos de guerra.

La TP es el logro más importante de la química de los elementos y, como reza el título de este artículo, “el icono de los químicos”. No deja de ser lamentable que ninguna de las dos personas²³ que más contribuyeron a su concepción ganara el Premio Nobel. Muchos creemos que los dos lo merecieron sobradamente, pero ambos murieron sin obtenerlo.

El Prof. Román sugiere en su libro²⁵ que la comunidad científica debiera considerar la idea de dar a un nuevo elemento el nombre de moseleyio. Desde aquí apoyamos la propuesta, que sería un acto de justicia. Creemos que ese es el nombre que debiera haber tenido el elemento 102, junto al 101 mendelevio. No deja de ser, en cierto modo, una paradoja cruel que, tras el mendelevio (homenaje a alguien que pugnó por el Nobel en tres ocasiones, sin conseguirlo), se haya colocado de vecino al nobelio. ¿No hubiera sido mejor que estuvieran juntos ambos autores de la ley periódica?

A partir de la contribución de Moseley, se asignó un ordinal a cada elemento y se pudo saber, de forma inequívoca, qué huecos faltaban por rellenar (en esos momentos eran: 43, 61, 72, 75, 85, 87 y 91) estableciendo además, de forma inequívoca, el número exacto de lantánidos.

El descubrimiento de los elementos que corresponden a esos huecos se llevó a cabo en los años siguientes, lo que no alteró la TP. No obstante, sí sufrió un último cambio de aspecto a partir 1940, cuando Seaborg descubrió 9 elementos que ubicó como “actínidos” y el transactínido 106, al que, finalmente, se dio el nombre de seaborgio.

Seaborg compartió con McMillan, el descubridor del neptunio, el Premio Nobel de química en 1951 “por sus descubrimientos en la química de los elementos transuránicos”. Después de recibir el Premio Nobel todavía descubrió otros cinco elementos.

Con el establecimiento de los actínidos la tabla alcanzó su aspecto actual. A partir de ahí comenzó el paulatino descubrimiento de elementos del séptimo periodo; los transactínidos.

Yuri Tsolakovich Oganessian,³² que ha participado también en el descubrimiento de otros transactínidos, y otros treinta y dos autores, han publicado el descubrimiento del elemento 117, lo que completa el 7º periodo. No obstante, el propio Seaborg publicó en 1969³³ un artículo en el que habla de una expansión de la tabla periódica hasta el elemento número 168, el que sería el eka-118, lo que incluiría la serie de los llamados “superactínidos” (122-153). En 1996, publicó un último artículo sobre la TP.³⁴

Conclusión

El artículo se titula, “El icono de los químicos” pero esta idea no es original de los autores. En el prefacio del libro de Scerri³⁵ puede leerse: “La tabla periódica de los elementos es uno de los más poderosos iconos de la ciencia: un documento simple que captura toda la esencia de la química en un elegante diseño”.

Y en el libro de Rainer-Canhan,³⁶ que muchos hemos usado para nuestras clases, se dice: “Del mismo modo que un mapa geográfico es indispensable para un piloto aéreo o naval, así la tabla periódica proporciona un mapa químico al químico inorgánico”.

Pues bien, éstos son nuestros iconos particulares: la evocación de la Tabla (Figura 1) y los que, compartiendo la opinión de Gorin,²³ son los autores del sistema periódico: Mendeléiev (Figura 2) y Moseley (Figura 3).

Bibliografía

1. Adaptación de la conferencia impartida por E. J. F. en la “III Escuela de Verano sobre Historia de la Química. Sobre Átomos y Moléculas: 150 años después del Congreso de Karlsruhe”, Universidad de La Rioja, 14-16 de julio de 2010.
2. Soledad Esteban Santos, *La Historia del Sistema Periódico*, Ed. UNED, Madrid, 2009.
3. J. P. Cooke, Jr., *Mem. Am. Acad. new series*, v; *Am. J. Sci.*, **1854**, 17, 387.
4. W. Odling, *Quarterly J. Science* **1864**, 1, 642–648.
5. J. W. Döbereiner, *Ann. Physik Chemie* **1829**, 15, 301–307.
6. A. E. Béguyer de Chancourtois, *Compt. Rend.* **1862**, 54, 757, 840, 967.
7. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1863**, 7, Feb. 7, 70–72.
8. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1864**, 10, July 30, 59–60. **1864**, 10, August 20, 94–95.
9. J. A. R. Newlands, *Chemical News* **1865**, 12, Aug. 18, 83.
10. Report on the Law of Octaves *Chemical News* **1866**, 13, March 9, 113.
11. (a) P. Román Polo, *An. Quím.* **2010**, 106, 231–239. (b) P. Román Polo, *An. Quím.* **2000**, 45. (c) A. J. Ihde, *J. Chem. Ed.* **1961**, 38, 83–86. (d) C. de Milt, *J. Chem. Ed.* **1951**, 28, 421.
12. R. Cid Manzano, *Rev. Eureka Enseñ. Divul. Cien.* **2009**, 6, 396–407.
13. E. Cannizzaro, *Compendio de un curso de filosofía química* (edición traducida y comentada de P. Román), Prensas Universitarias de Zaragoza, Zaragoza, 2009.
14. Un artículo describiendo el conflicto de prioridad entre Mendeleev y Meyer es: J. W. van Spronsen, *J. Chem. Ed.* **1969**, 46, 136.
15. I. S. Dmitrev, P. D. Sarkisov, I. I. Moiseev, *Rev. Univ. St. Petersburg* **2009**, 10, 69–79. (escrita en ruso excepto el artículo citado que está en inglés).

16. D. I. Mendeléiev, *J. Russ. Chem. Soc.* **1869**, *1*, 60–77.
17. D. I. Mendeléiev, *Zeitsch. Chemie* **1869**, *12*, 405–406.
18. M. E. Weeks, *J. Chem. Ed.* **1932**, *9*, 1605–1619.
19. P. E. Lecoq de Boisbaudran, *Compt. Rend.* **1875**, *81*, 493–495.
20. (a) L. F. Nilson, *Compt. Rend.* **1879**, *88*, 645–648. (b) L. F. Nilson, *Chem. Ber.* **1879**, *12*, 554–557.
21. (a) P. T. Cleve, *Compt. Rend.* **1879**, *89*, 419–22. (b) P. T. Cleve, *Chem. News* **1879**, *40*, 159–160.
22. C. Winkler, *Chem. Ber.* **1886**, *19*, 210–211.
23. Un artículo sobre el papel de Menleev y Moseley en el descubrimiento de la ley periódica, es: G. Gorin, *J. Chem. Ed.* **1996**, *73*, 490–493.
24. E. V. Babaev, *Dmitry Mendeleev: A Short CV, and A Story of Life*, <http://bit.ly/VHjHgE>, visitada el 25/10/2012. Versión resumida en *Mendeleev Commun.* **2009**, *19*, 1–3.
25. P. Román Polo, *Mendeléiev: El profeta del orden químico*, 2ª edición, Nivola, Tres Cantos (Madrid), **2008**.
26. Según cita J. R. Smith, *Persistence and Periodicity*, tesis no publicada, University of London, **1975**.
27. A. J. van den Broek, *Phisikalische Zeitschrift* **1913**, *14*, 32–41.
28. A. J. van den Broek, *Nature* **1913**, *92*, 372–373.
29. (a) E. Rutherford, *Nature*, **1913**, *92*, 423. (b) E. Rutherford, *Phil. Mag.* **1914**, *27*, 488 – 498.
30. H. G. J. Moseley, *Phil. Mag.* **1913**, *26*, 1024.
31. H. G. J. Moseley, *Nature* **1913**, *92*, 554.
32. Y. T. Oganessian, *et al.* (y 32 autorés más), *Phys. Rev. Lett.* **2010**, *104*, 142502.
33. G. T. Seaborg, *J. Chem Ed.* **1969**, *46*, 626–634.
34. G. T. Seaborg, “Evolution of the modern periodic table”, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, **1996**, 3899.
35. E. R. Scerri, *The Periodic Table. Its Story and its Significance*, Oxford University Press, New York, **2007**.
36. G. Rayner-Canham, *Química Inorgánica Descriptiva*, 2ª edición, Pearson Educación, México, **2000**.

III Curso de divulgación



Los Avances de la Química y su impacto en la Sociedad



Real
Sociedad Española de
Química



Sección Territorial Madrid



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Más información:
b.herradon@csic.es
<http://www.losavancesdelaquimica.com/>

Aportaciones de Alan Turing al ámbito de la química: Teoría de la morfogénesis e interpretación de algunas reacciones químicas

Manuela Martín-Sánchez, María Teresa Martín-Sánchez, Gabriel Pinto

Resumen: En 2012 se conmemora el centenario del nacimiento de Alan Turing. En este artículo queremos destacar la relación que algunas de sus ideas tienen con la química. El matemático Alan Turing, conocido como uno de los padres de la informática moderna y de la computación, escribió, en 1952, una única publicación relacionada con la química, que ha sido fundamental para explicar la morfogénesis (proceso biológico que lleva a que un organismo desarrolle su forma) a través de una reacción química y un proceso de difusión. Muchos más procesos de la naturaleza responden a los conocidos como patrones o estructuras de Turing (*Turing's Patterns*), así como las espectaculares reacciones químicas oscilantes.

Palabra clave: Estructuras de Turing, morfogénesis, caos, proceso activador-inhibidor, reacciones químicas oscilantes.

Abstract: We celebrate the centenary of the birth of Alan Turing in 2012. In this article, we want to highlight the relationship between some Turing's ideas and chemistry. The mathematician Alan Turing, known as one of the fathers of computer science wrote only a paper related to chemistry (in 1952), but it has been fundamental to explain the morphogenesis (the biological process that causes an organism to develop its shape) through a chemical reaction and a diffusion process. Many more processes of nature give rise to those known as Turing's Patterns, as well as spectacular chemical reactions such as the oscillating reactions.

Keyword: Turing's Patterns, morphogenesis, chaos, activator-inhibitor processes, oscillating chemical reactions.

Introducción

Con motivo del centenario del nacimiento de Alan Turing, conocido como uno de los padres de la informática moderna y de la computación, Ball reivindica el impacto y la importancia de las "ideas químicas" sobre la comprensión de los conocidos como patrones o estructuras de Turing (*Turing's Patterns*).^{1,2} Estas estructuras permiten explicar, de alguna manera, fenómenos como la distribución de las manchas de un leopardo o de las franjas de una cebra, la disposición de las hojas y ramas de una planta, o las "ondas" o frentes de colores que se producen en reacciones químicas oscilantes. Todo ello, mediante la consideración de una reacción química con un doble componente activador-inhibidor y el análisis del problema de difusión en un medio que no siempre es homogéneo.

En este artículo, después de una breve reseña biográfica de Turing, hacemos una relación de las ideas fundamentales de la publicación que escribió sobre reacciones químicas

y, a continuación, incluimos un apartado sobre las reacciones que se pueden explicar mediante sus ideas y que, en mayor o menor medida, y en determinadas condiciones, llegan a producir los ya citados patrones de Turing.

Reseña biográfica de Alan Turing^{3,4}



Figura 1. Fotografía de Alan M. Turing.

Alan Mathison Turing (Figura 1) (Londres, 1912- Wilmslow, Reino Unido, 1954) fue un matemático genial, fundador de la informática teórica y creador del primer ordenador basado en la electrónica digital, que trabajó también en otros campos como la teoría biológica de la morfogénesis o la inteligencia artificial, consiguiendo grandes logros, a pesar de su corta vida.

Su padre era un funcionario británico destinado en la India, que tenía mucho interés porque Alan naciera en Inglaterra. Por eso, la madre se trasladó allí para su nacimiento. Durante los primeros años los padres tuvieron que seguir viajando a la India y dejaron a sus dos hijos con unos amigos ingleses.

Turing, desde muy pequeño, dio muestras de una gran inteligencia, fuerza de voluntad y tesón por aprender, hasta el punto de que parece que aprendió a leer por sí solo en tres



M. Martín Sánchez M. T. Martín Sánchez G. Pinto

E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, José Gutiérrez Abascal 2, 28006 Madrid.
Sección de Didáctica e Historia de la Física y la Química,
Reales Sociedades Españolas de Química y de Física.
C-e: gabriel.pinto@upm.es, mmartins@edu.ucm.es

Recibido: 06/09/2012. Aceptado 06/12/2012.

semanas. Con catorce años, el primer día que tenía que ir a la escuela, como había una huelga de autobuses, se levantó muy pronto y se desplazó varios kilómetros en bicicleta, pernoctando incluso en una posada, para poder asistir. Ingresó en el internado de Sherborne en Dorset, donde los profesores no apreciaron la capacidad de Turing para las matemáticas porque era un centro dedicado esencialmente a estudios clásicos; sin embargo, resolvía problemas muy avanzados sin haber estudiado el cálculo elemental. Con dieciséis años ya había leído trabajos de Einstein y se había dado cuenta del avance que suponían respecto de las leyes clásicas de Newton.

Influyó mucho en él un amigo mayor, Christopher Morcom, que murió de forma repentina en 1930 por una tuberculosis bovina causada por leche de vaca infectada. Esta circunstancia supuso un duro revés para Turing; parece que influyó mucho en su abandono de las ideas religiosas y, preguntándose sobre qué había pasado con la mente de Christopher tras su muerte, se obsesionó por entender los procesos mentales del ser humano.

Desde 1931 estudió en el *King's College* de Cambridge porque no pudo ingresar en el *Trinity College* por sus malas calificaciones en los estudios clásicos. A la edad de 22 años ya fue elegido "fellow" del *King's College* con una importante disertación matemática sobre el teorema central del límite.

En su estudio "*On computable numbers, with an application to the Entscheidungsproblem*" (1936), reformuló los resultados obtenidos por Kurt Gödel (1906-1978) en 1931 sobre los límites de la computación, sustituyendo al lenguaje formal de Gödel por lo que hoy se conoce como *Máquina de Turing*: un modelo computacional que realiza una lectura/escritura de manera automática sobre una entrada llamada cinta, generando una salida en esta misma. Nació así, de alguna manera, la descripción de la forma de funcionamiento del ordenador moderno y los principios de la programación.

En los años 1937 y 1938 estuvo en la Universidad de Princeton estudiando bajo la dirección de Alonzo Church (1903-1995). Allí presentó la tesis doctoral introduciendo el concepto de hipercomputación.

En 1939 comenzó la II Guerra Mundial y durante seis años trabajó para el gobierno británico para descifrar los códigos que utilizaban los alemanes para comunicarse. En 1940 Francia había sido derrotada con lo cual Inglaterra se había quedado prácticamente sola. Los alemanes tenían planes para hundir los barcos ingleses mediante submarinos. Aunque los ingleses captaban las comunicaciones de los alemanes, no sabían interpretarlas, porque éstos habían desarrollado la máquina *Enigma*, que cambiaba constantemente sus códigos, por lo que era prácticamente imposible descifrarlos. Turing, con sus conocimientos matemáticos, fue capaz de interpretar estos códigos Enigma, por lo que recibiría años más tarde el Orden del Imperio Británico.

En 1943 contribuyó a la construcción del primer ordenador del mundo basado en la electrónica digital: *Colossus*. Se incorporó al *National Physics Laboratory* con el fin de construir un gran ordenador y, entre 1945 y 1948, desarrolló el ACE (*Automatic Computing Engine*), con el que consiguió una aproximación al funcionamiento del cerebro humano.

En 1948 se incorporó a la Universidad de Manchester donde se dedicó a construir una nueva computadora y comenzó a trabajar en el campo de la inteligencia artificial.

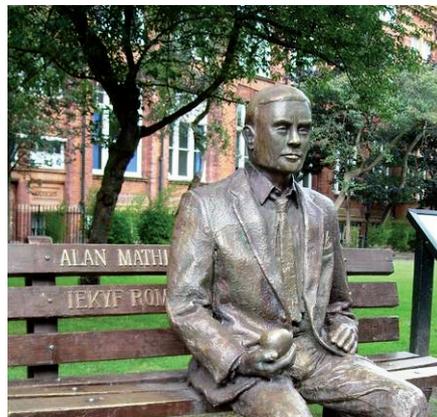


Figura 2. Fotografía de la estatua de Alan M. Turing en la Universidad de Manchester, inaugurada en 2001.

En la Figura 2 se recoge una fotografía de la estatua que se erigió en su honor en esta Universidad. En 1950 volvió a trabajar en matemáticas y en sus teorías relacionadas con aspectos de biología. Dentro de estos trabajos está su contribución a la química, con un artículo cuya primera parte, titulada "*The chemical basis of morphogenesis*", se publicó en 1952 (una segunda parte se publicó después de su muerte).⁵

Durante las investigaciones policiales sobre un robo en su casa, en el que estaba implicado su amante, reconoció su homosexualidad, por lo que se le imputaron los cargos de "indecencia grave y perversión sexual" (los mismos que pesaron, varias décadas antes, sobre Oscar Wilde). Fue condenado a elegir entre un tratamiento hormonal o un internamiento en prisión. Optó por el primero, pero dicho tratamiento le ocasionó importantes cambios fisiológicos y psíquicos que no fue capaz de asumir y le llevó a suicidarse. Aunque su muerte sigue rodeada de cierto misterio, parece que se envenenó mordiendo una manzana que él mismo roció con cianuro. Poco después de su muerte, en 1959, su madre, Sara Turing, escribió una biografía, de la que se ha publicado recientemente una nueva edición ampliada conmemorativa del centenario,⁶ en la que aparece un capítulo de su hermano, donde relata toda la tragedia desde que es acusado por homosexualidad hasta el suicidio.

En 2009, el primer ministro Gordon Brown pidió disculpas, en nombre del gobierno británico, por el trato que recibió Turing en sus últimos años de vida, aunque el Parlamento británico (en 2012) rechazó que su condena fuera revisada, aduciendo que la homosexualidad era delito en su época.

Teoría química de la morfogénesis⁵

El interés de Turing por la química, según la biografía que escribió su madre, comenzó desde que era muy pequeño: coleccionaba productos químicos y como regalo de Navidad, en alguna ocasión, pedía utensilios de laboratorio.⁶ Entre otras cosas, recogía algas y obtenía yodo por sublimación, ante la expectación de sus compañeros. No obstante, solo publicó el artículo antes mencionado que se refiere al estudio de ciertas reacciones químicas para explicar la morfogénesis.⁵

La morfogénesis, que literalmente significa "el origen de la forma" (del griego *μορφή*, *morphé*, forma, y *γένεσις*, *genesis*, creación), es el proceso biológico que lleva a que un

organismo desarrolle su forma. Controla la distribución espacial organizada de las células durante el desarrollo embrionario de un organismo y constituye, junto con el control del crecimiento celular y la diferenciación celular, uno de los aspectos fundamentales del desarrollo biológico.

Turing estableció una pionera combinación de matemáticas y biología para estudiar la creación de formas (los patrones de Turing), que hoy día se han confirmado experimentalmente con patrones biológicos, como la distribución de las rayas de los tigres, de las manchas de los leopardos o de las figuras de las escamas de los peces.

En su artículo indica que sus propuestas no son teorías nuevas, sino que pretenden dar una explicación de cómo un cigoto evoluciona para producir las diferentes partes del nuevo ser. Para ello, desarrolló un modelo con una parte de tipo mecánica y otra de carácter química. Para poder entender su razonamiento, precisó que se necesitaba saber bastante de matemáticas, algo de biología y algo de química.

La parte mecánica describe la posición, velocidad, masa y propiedades elásticas de las células así como las fuerzas entre ellas. La parte química depende de la composición de las células y la difusibilidad de las sustancias entre ellas.

De acuerdo con Turing, para poder encontrar la explicación se tendrán que tener en cuenta:

- Los cambios de posición y velocidad que vendrán dados por las leyes de Newton.
- La tensión como consecuencia de la elasticidad y el movimiento, teniendo en cuenta la presión osmótica, que dependerá de los datos químicos.
- Las reacciones químicas implicadas.
- La difusión de las sustancias químicas, que dependerá de los datos mecánicos.

Prescinde de algunos fenómenos, como las propiedades eléctricas y la estructura interna de la célula, con objeto de disminuir la complejidad del problema y supone que hay unas sustancias químicas, que llama *morphogens* (morfógenos o morfogenes), que se difunden a través del tejido dando una forma geométrica al reaccionar entre sí. Las leyes que las rigen serán las mismas que las de la difusión, por lo que se desplazarán de lugares de alta concentración hacia los de baja concentración, con una velocidad proporcional al gradiente de la concentración. Los poros de la pared celular imponen limitaciones porque, según el tamaño, no todas las moléculas pueden atravesarlos.

Se supone que cualquier reacción química obedece la ley de acción de masas y pone como ejemplo la precipitación del cloruro de plata a partir de la reacción entre el nitrato de plata y el cloruro de sodio disueltos en agua. Pero no siempre sucede así: puede haber reacciones intermedias porque exista un proceso de catálisis. De esta forma, la reacción $A \rightarrow B$ puede ser la suma de $A + G \rightarrow C$ y $C \rightarrow B + G$, que es lo más probable que suceda en el caso de los morfógenos. Estas reacciones pueden tener velocidades diferentes y en este caso se producen variaciones en las concentraciones de las sustancias. Es necesario tener en cuenta todas las reacciones del grupo, sobre todo cuando las velocidades de las reacciones son muy diferentes, como puede suceder si la velocidad de la reacción $A + G \rightarrow C$ es muy diferente a la de $C \rightarrow B + G$. En este caso, esa segunda reacción será independiente de la concentración de A mientras A no se haya consumido. La

velocidad del grupo completo de reacciones depende sólo de la concentración de los reactivos, aunque normalmente no se puede aplicar la ley de acción de masas a la reacción total (es necesario tener en cuenta todas las reacciones intermedias).

En el caso de las células, si hay N células con M morfógenos, el estado del sistema dependería de $M \cdot N$ pero los valores numéricos cambian debido a la difusión. Está claro que la concentración en varias células es solo una aproximación y que el sistema está en continua agitación aunque supone que es una buena aproximación y esta teoría se podrían extender a células que están inmersas en un fluido.

Otro problema que aborda Turing en su trabajo es la causa de que, en la morfogénesis, se rompa la simetría y la homogeneidad. Supone que algunas desviaciones del sistema pueden llegar a un estado de inestabilidad y en estas irregularidades hay ciertos componentes que tienden a crecer, se produce un nuevo equilibrio y, por otra parte, se rompe la simetría. Es una situación similar a la que ocurre con las conexiones de los osciladores eléctricos: se produce una oscilación con una frecuencia determinada de las muchas que alcanzan el oscilador. Es fácil de entender por qué sigue oscilando pero difícil de entender por qué comienza a oscilar: hay muchas perturbaciones que alcanzan al circuito pero solo comienza a oscilar cuando su frecuencia coincide con la de oscilación, aunque después la forma (amplitud) de la onda dependerá de cómo es el circuito.

Lo que sucede en las reacciones químicas y en la difusión es ligeramente diferente: el sistema es homogéneo y no tiene ninguna simetría geométrica, pero la presencia de fluctuaciones debido al número de moléculas que proceden de diferentes reacciones rompe la inestabilidad y desaparece la homogeneidad.

Interpretación de las reacciones químicas oscilantes con las ideas de Turing

Aunque él no tuvo conocimiento de ello, muy relacionado también con la formación de los patrones de Turing, es el descubrimiento, en 1950, de la famosa reacción oscilante de Belousov-Zhabotinsky, como resalta Ball.^{1,2} Se analizará en cierto detalle, para mostrar cómo las teorías de Turing se aplicarían, años después, para la interpretación de esta curiosa reacción y otras similares.

Boris Pavlovich Belousov (1893–1970), estudiando el ciclo de Krebs, se encontró por azar una reacción que oscilaba entre dos estados y que parecía violar las leyes de la termodinámica, se trataba de una mezcla de bromato de potasio, sulfato de Ce (IV) y ácido cítrico. La concentración de los iones Ce (IV) y Ce (III) oscilaba, notándose esto mediante un cambio de color que variaba también de amarillo a incoloro. El cambio se debe a que los iones de Ce (IV) son reducidos por el ácido cítrico a Ce (III), y éstos son oxidados de nuevo a Ce (IV) por los iones bromato. Curiosamente ninguna revista quiso publicar aquel hallazgo, a pesar de que se trataba de un trabajo muy detallado que incluía el efecto de la temperatura y de la acidez en el período de oscilación. Estaba ilustrado con fotografías e indicaba la posibilidad de utilizar la ferroína (fenantrolina de hierro) como indicador por su color, como le había sugerido el profesor Safronov. A pesar de que las críticas de revisores y editores eran bastante mordaces, Belousov

siguió trabajando en el tema y, seis años más tarde, decidió enviar a otra revista un nuevo artículo con más información, pero también fue rechazado.⁷ Por eso abandonó sus trabajos, a pesar de la insistencia del bioquímico E. S. Schnoll.

Según Anatoly Markovich Zhabotinsky (1938–2008),⁸ en 1961, al graduarse en el Departamento de Biofísica de la Universidad Estatal de Moscú estudió la reacción de Belousov, por indicación del Profesor E. S. Schnoll pero sustituyendo el ácido cítrico por ácido malónico, porque así no se interferiría en el cambio de color.

Al estudiarlo, se dio cuenta de que el cambio de color se debía a los iones cerio y no al bromo como opinaba Belousov. Se comunicó con este último, que le facilitó copia de los manuscritos que había enviado a las revistas, sin ningún éxito, y se sintió muy satisfecho de que siguiera estudiando la reacción.

Zhabotinsky siguió buscando qué sustancia era el catalizador y llegó a la conclusión que la reacción consistía en dos partes: la oxidación autocatalítica de los iones Ce (III) a Ce (IV) por bromato y la reducción, en sentido inverso, por el ácido malónico. Durante toda la reacción se estaban produciendo derivados bromados del ácido malónico. La reducción de los iones Ce (IV) iba acompañada de la producción de iones bromuro a partir de los bromoderivados. Los iones bromuro son inhibidores potentes de la oxidación autocatalítica, posiblemente porque hay una reacción rápida del ácido bromoso o de algún derivado de bromo con el autocatalizador.

Este tipo de reacciones oscilantes se conocerían como reacciones Belousov–Zhabotinsky (BZ). El hallazgo no se conoció ampliamente hasta 1967 que se publicó el primer artículo sobre este tema fuera de la Unión Soviética.

En la bibliografía se puede encontrar una reacción oscilante anterior a la BZ, como la que describió Bray⁹ en 1921. En esta reacción el agua oxigenada actúa como oxidante y como reductor: puede oxidar el yodo a yodato pero a la vez puede reducir el yodato a yodo. Bray se dio cuenta de esta posibilidad haciendo cálculos con los datos de energía libre de Lewis y Randall. La primera es autocatalítica y rápida en las disoluciones que contienen yodato y la segunda es lenta.

Las oscilaciones que se producen en este tipo de reacciones son otra consecuencia del balance entre la velocidad de difusión y la velocidad de un proceso autocatalítico. La reacción oscila entre dos ramas que tienen varios procesos intermedios (a veces varias decenas). Pero si la reacción se lleva a cabo en una disolución sin agitación, el cambio de color no sucede en todas partes a la vez y se propaga como una serie regular de “ondas químicas”, creando formas llamativas como se ve en la Figura 3.¹⁰ Aunque estas

ondas químicas son diferentes de los patrones que explica Turing, el fundamento es análogo. A nivel didáctico, se sugiere la consulta de la página web del IES Jorge Manrique de Palencia que ilustra ampliamente la formación de esas “ondas químicas”.¹⁰

Las conexiones entre estos sistemas oscilantes, así como otros tan dispares como las explicaciones del biólogo Meinhardt sobre la propagación de una infección o la propagación de fuego en un bosque, tienen un soporte termodinámico conocido desde los años 1960s, cuando Prigogine y Lefever publicaron su modelo de sistema no lineal oscilante.¹¹ El modelo recibió el nombre de *Brusselator*, por la ciudad en donde se descubrió, y daba una descripción bastante razonable de la reacción de BZ, al establecer que tiene que haber un proceso positivo (autocatalisis) y uno negativo (inhibidor) que incluyen especies químicas con coeficientes de difusión diferentes que operan alejados de un equilibrio termodinámico.

Estas ideas sirven también para fundamentar otros fenómenos de óptica no lineal, catálisis superficial, electroquímica, llamas de baja presión, expansión de la vegetación, etc. Por ello, el número de investigaciones sobre temas relacionados con este tipo de comportamientos ha crecido en las últimas décadas de forma impresionante.

Las reacciones químicas oscilantes pueden dar lugar de forma espontánea a modulaciones espaciales de concentración de las especies involucradas. Esta auto-organización es el resultado de la asociación entre la reacción química y la difusión molecular de las especies. De esta forma, como ya hemos indicado, se originan las conocidas como “ondas viajeras de la actividad química” que pueden dar lugar a diversos tipos de patrones ya sea en bandas paralelas o en celosías hexagonales originando, en determinadas condiciones, los patrones de Turing solo con variar la estructura física del medio, para que la difusión sea distinta.

Los primeros que consiguieron los patrones de Turing mediante reacciones químicas fueron Patrick de Kepper y sus colaboradores,¹² de la Universidad de Burdeos, al estudiar, desde principios de los años 1970s, una reacción alternativa de la BZ conocida como CIMA (*chlorite-iodide-malonic acid*). Después de varios intentos en los que conseguían que aparecieran las estructuras pero que desaparecían rápidamente, consiguieron unas estructuras estables en diciembre de 1989, en una cápsula petri con un gel, que dificultaba el movimiento. La reacción está controlada por los iones yoduro (activador) y clorito (inhibidor), que tienen inicialmente una velocidad de difusión similar. Al utilizar almidón, como detector de la presencia del yodo; yodo y almidón forman un complejo que por su tamaño se difunde con dificultad a través del gel. Esa difusión lenta es lo que convierte a esta reacción en el ejemplo ideal de las estructuras que explicaba Turing.

Actualmente son muy numerosos los trabajos e investigaciones que se refieren a este tema y entre ellos citaríamos como más interesantes los de este mismo grupo de la Universidad de Burdeos.^{13–15}

Vanag y Epstein¹⁶ hacen un interesante resumen de este tema y de las diferentes reacciones y situaciones que permiten llegar a las estructuras de Turing. Entre las reacciones citan la conocida como FIS (ferrocianuro, yodato y sulfito), en la



Figura 3. Fotografía de “ondas químicas” en una reacción oscilante¹⁰ (derecha) y simulación computacional de una reacción análoga.

que el ferrocianuro actúa como control del yodo, la CDIMA (*chlorine dioxide, iodide, malonic acid*), y las conocidas como reacciones Landolt (yodato y bisulfito con almidón, yodato y arsenito, etc.). Todas ellas se encuentran en el texto de Shakhshiri,¹⁷ como ejemplo de reacciones químicas para vistosas demostraciones.

Una de las que se considera más espectacular es la de Briggs-Rauscher,¹⁸ que en realidad es la unión de las reacciones de Bray⁹ y de BZ,⁸ y que emplea yodato de potasio, peróxido de hidrógeno, ácido perclórico (se puede sustituir por sulfúrico), ácido malónico, sulfato de manganeso(II) y almidón. Se puede ver en un video realizado en la Universidad de Huelva.¹⁹

Field²⁰ propone un experimento de cátedra con la reacción BZ que consiste en utilizar un cilindro sin graduar en el que inicialmente se colocan tres de los reactivos y se agita mecánicamente, hasta que se mezclen bien. Posteriormente, cuando ya está en reposo, se le añade, cuidadosamente con una pipeta, el cuarto reactivo. De esta forma aparecen una serie de bandas a lo largo del cilindro. Cuando se mezcla todo se produce la reacción de oscilación, pero como la mezcla no es perfecta, se pueden ver unas bandas como si fuera amebas que se desplazan a lo largo de la disolución.

Epstein,²¹ en un interesante artículo en el que explica detalladamente en qué consisten las “ondas químicas” y que acompaña del cálculo matemático, propone la realización de una de las reacciones Landolt: arsenito-yodato en medio tampón de hidrogenosulfato y sulfato. El experimento se realiza en un tubo de ensayo, para comprobar cómo se desplaza la onda formando anillos a lo largo del tubo.

Se pueden formar los patrones de Turing en reacciones oscilantes mediante el control de la temperatura, la velocidad de agitación, o el medio en el que se desarrolla, el cual puede obstaculizar la difusión (como puede ser una microemulsión o medios microheterogéneos). Se pueden variar las formas introduciendo un agente complejante que varíe la velocidad de difusión. Si alguna de las sustancias es fotosensitiva se pueden variar por iluminación, incluso poniendo una pantalla con diferentes figuras que dejen pasar la luz en determinadas posiciones.

El estudio de este tipo de reacciones químicas, por ser más sencillo y más fácil de controlar, ha sido fundamental para poder entender los fenómenos biológicos y la teoría de los morfógenos.

Conclusiones

Al conmemorarse el centenario del nacimiento de Alan Turing, padre de la informática y de la inteligencia artificial, hemos resumido algunos aspectos en los que la contribución de sus ideas matemáticas permitieron aclarar, con el paso de los años, algunos aspectos de biología y de química, destacando la teoría química de la morfogénesis, las reacciones oscilantes y la formación de los patrones de Turing.

A nivel docente, el tratamiento de estos temas puede ser buena ocasión para introducir a los alumnos de los distintos niveles educativos en la importancia de la interdisciplinariedad en el avance de la ciencia, así como el interés que supone el conocimiento matemático para la química, entre otros temas.

En particular, es llamativa para los alumnos la consideración de los patrones de Turing para la justificación de formas naturales, como se recogen, a modo de ejemplo, en la Figura 4.



Figura 4. Formas geométricas naturales que se explican por los patrones de Turing.

Ball explica la formación de patrones de Turing de algunas reacciones oscilantes, de una forma muy didáctica, comparándolo con lo que sucede con la arena del desierto (Figura 5) cuando la lleva el viento y se forman montículos y hondonadas al depositarse los granos de arena: a medida que la cresta se hace más grande impide que se depositen granos de arena en las hondonadas, se trata de un sistema activador-inhibidor que activa la cresta e inhibe la hondonada.



Figura 5. Arena del desierto, donde se aprecia una estructura ondulada que responde a los patrones de Turing.

Agradecimiento

Se agradece la ayuda recibida por la Universidad Politécnica de Madrid, a través del proyecto de innovación educativa “Agentes activos y catalizadores: nuevos recursos educativos para la química”.

Bibliografía

1. P. Ball, *Chemistry World*. **2012**, 9(6), 46–50.
2. P. Ball, *Nature's patterns: a tapestry in three parts*. Oxford University Press, **2011**.
3. M. H. A. Newman, Alan Mathison Turing. 1912–1954, *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*. Vol. 1/1955, pp 253–263. Disponible en: <http://tinyurl.com/c6s7tdu>, visitada el 2/12/2012.
4. Alan Turing from Wikipedia: <http://tinyurl.com/47kug>, visitada el 2/12/2012.
5. A. M. Turing, *Phil. Trans. Royal Soc. London, Series B, Biological Sci.* **1952**, 237, 37–72.
6. S. Turing, J. F. Turing, L. Irvine, M. Davis, *Alan M. Turing: Centenary Edition*, Cambridge University Press, **2012**.
7. A. T. Winfree, *J. Chem. Ed.* **1984**, 61, 661–663.
8. A. M. Zhabotinsky, *Chaos* **1991**, 1, 379–386.
9. W. C. Bray, *J. Am. Chem. Soc.* **1921**, 43, 1262–1267.
10. Aulas virtuales del IES Jorge Manrique de Palencia: <http://tinyurl.com/c7s5pmq>, visitada el 2/12/2012.
11. I. Prigogine, R. Lefever, *J. Chem. Phys.* **1968**, 48, 1695–1700.
12. V. Castets, E. Dulos, J. Boissonade, P. de Kepper, *Phys. Rev. Lett.* **1990**, 64, 2953–2956.
13. J. Horváth, I. Szalai, P. de Kepper, *Science*, **2009**, 324, 772–775.
14. I. Szalai, D. Cuiñas, N. Takács, J. Horváth, P. de Kepper, *Interface Focus* **2012**, 2, 417–432.
15. Structures et dynamiques non-linéaires (équipe scientifique du Centre National de Recherche Paul Pascal): <http://tinyurl.com/cbzojtc>, visitada el 2/12/2012.
16. V. K. Vanag, I. R. Epstein, *Chaos* **2008**, 18, 026107.
17. B. Z. Shakhshiri, *Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry*, Vol. 2, University of Wisconsin Press, **1985**.
18. T. S. Briggs, W. C. Rauscher *J. Chem. Educ.* **1973**, 50, 496.
19. Universidad de Huelva, La reacción oscilante de Briggs-Rauscher: <http://tinyurl.com/bnheejr>, visitada el 2/12/2012.
20. R. J. Field, *J. Chem. Educ.* **1972**, 49, 308–3011.
21. I. R. Epstein, *J. Chem. Educ.* **1983**, 60, 494–496.

EMBO Workshop
The programme for this event was reviewed and approved by the EMBO Course Committee.

Glycoproteins from Structure to Disease

24–26 April 2013 | Balearic Islands, Spain

ORGANIZERS
Annalisa Pastore
National Institute for Medical Research, UK
Josefa Donoso
University of Balearic Islands, Spain
Pierandrea Temussi
National Institute for Medical Research, UK
Gabriel Martorell
University of Balearic Islands, Spain
Miquel Adrover
University of Balearic Islands, Spain

CO-ORGANIZERS
Francisco Muñoz
University of Balearic Islands, Spain
Bartomeu Vilanova
University of Balearic Islands, Spain
Juan Frau
University of Balearic Islands, Spain
Joaquín Ortega
University of Balearic Islands, Spain
Sebastian Alberti
University of Balearic Islands, Spain

REGISTRATION
 before
15 February 2013
 Students* 250 EUR
 Academics 350 EUR
 Industry 400 EUR
 before 15 March 2013
 Students* 300 EUR
 Academics 400 EUR
 Industry 450 EUR
 *proof of student status required

Includes:

- access to oral and poster presentations
- conference bag and a CD-ROM with the abstracts
- coffee breaks and the certificate of attendance

SPEAKERS

Frédéric Allain
Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland

R. Leo Brady
University of Bristol, UK

Andrea Carfi
Novartis Pharmaceuticals Corporation, USA

Jesús Jiménez-Barbero
Spanish National Research Council (CSIC), Spain

Xavier Fernandez-Busquets
Barcelona Centre for International Health Research (CRESB), Spain

Ana Maria Ponces-Freire
University of Lisbon, Portugal

Koby Levy
Weizmann Institute, Israel

Cameron Neylon
RAL, Didcot, UK

Kerensa Broersen
University of Twente, Netherlands

Human Rezaei
Institut Scientifique de Recherche Agronomique (INRA), France

Louise Serpell
University of Sussex, UK

Ignacio Tuñón
University of Valencia, Spain

Paul J Thornalley
University of Coventry, UK

Christine M. Szymanski
University of Alberta, USA

Mario Schubert
Swiss Federal Institute of Technology (ETH), Switzerland

Kelley Moremen
University of Georgia, USA

CONTACT
Margalida Homar
UIBCongrés, Technical Secretariat
 Tel +3497117200
 Fax +34971172020
 info@uibcongres.org

EMBO
excellence in life sciences

<http://events.embo.org/13-glycoproteins>



“La Química a escena” en el Museo de la Ciencia de Valladolid, una tabla periódica interactiva 3D y mucho más

Manuel Bardají, Inés Rodríguez

Resumen: El Museo de la Ciencia de Valladolid, en colaboración con profesores de la Universidad de Valladolid, miembros de la RSEQ, celebró el Año Internacional de la Química 2011 creando el nuevo espacio expositivo permanente “La Química a escena”. La protagonista de esta sala es una gran tabla periódica tridimensional, completada con un panel homenaje a Mendeléiev, un mostrador con objetos representativos de elementos químicos, y una aplicación informática, manejable desde una pantalla táctil, para interactuar con el mostrador y la tabla periódica. Otros contenidos son el panel “Química a pedales”, la exposición del CSIC “Entre moléculas”, y un módulo interactivo sobre fotoluminiscencia.

Palabras clave: Química, tabla periódica, educación, divulgación, moléculas.

Abstract: The Science Museum of Valladolid, in collaboration with academic staff of the University of Valladolid, members of the RSEQ, joined the celebration of the International Year of Chemistry 2011 by creating the new permanent exhibition hall “Chemistry on stage”. The star is a large, three-dimensional periodic table, completed with a panel honouring Mendeleev, a desk with objects representative of chemical elements, and a computer application, manageable through a tactile screen, to interact with the desk and the periodic table. Other contents are the panel “Chemistry pedal-powered”, the exhibition of the CSIC “Among molecules”, and a hands-on exhibit on photoluminescence.

Keywords: Chemistry, periodic table, education, public outreach, molecules.

Introducción

La propuesta de la tabla periódica realizada por Dimitri Mendeléiev en 1869 para ordenar los más de 60 elementos químicos conocidos en ese momento ha sido uno de los mayores hitos en la historia de la química. Esa primera tabla periódica presentaba diferencias importantes con la actual, tales como utilizar el peso atómico en lugar del número atómico, o invertir grupos y períodos.¹ En la tabla quedaban huecos donde el químico ruso predijo que debían colocarse elementos por descubrir que, de hecho, fueron encontrados más tarde, el escandio, galio, germanio y tecnecio. Su éxito ha sido inconmensurable y Mendeléiev ha sido acertadamente definido como “el profeta del orden químico”.²

La tabla periódica ocupa un lugar prominente en la química y en particular en sus estudios básicos en la enseñanza secundaria y el bachillerato. La presencia de una tabla periódica

es habitual en muchas aulas de todos los niveles educativos. Estos argumentos condujeron en el año 2009 al presidente de la sección local de Valladolid y Palencia de la RSEQ (Juan Casares)³ y a la directora del Museo de la Ciencia de Valladolid (Inés Rodríguez),⁴ a impulsar el diseño y la construcción de una gran tabla periódica tridimensional conteniendo objetos relacionados con los elementos correspondientes. La proximidad del Año Internacional de la Química hizo que se ampliara el proyecto para crear el espacio expositivo permanente la “Química a escena” (156 m² de superficie), renovando parte de los contenidos permanentes del museo. Este espacio fue inaugurado oficialmente el 11 de noviembre de 2011, durante la presentación de la Semana de la Ciencia en Castilla y León, por el consejero de Educación de la Junta de Castilla y León (Juan José Mateos) y el alcalde de Valladolid (J. León de la Riva). Desde entonces ha recibido más de 17.000 visitas.



M. Bardají¹

I. Rodríguez²

¹ Química Inorgánica, Facultad de Ciencias, Campus Miguel Delibes de la Universidad de Valladolid, 47011-Valladolid.
C-e: bardaji@qi.uva.es

² Museo de la Ciencia de Valladolid, Avenida de Salamanca 59, 47014-Valladolid.
C-e: irh@museocienciavalladolid.es

Recibido: 30/07/2012. Aceptado: 15/10/2012.

Tabla periódica de los elementos 3D

La tabla periódica es la estrella orientadora para la exploración en el campo de la química, la física, la mineralogía y la técnica.

(Niels Böhr)

La tabla periódica tridimensional es en realidad un gran módulo de 7,20 m de longitud x 2,80 m de altura, subdividido en 90 casillas individuales (frente a los 118 elementos, al tener los lantanoides y actinoides agrupados), y que representa a los 7 períodos y a los 18 grupos (Figura 1). Se observa por lo tanto, la tabla periódica con los bloques de elementos *s*, *p*, *d*. En el hueco central correspondiente a los períodos 1 y 2, se muestra un ejemplo de la información de cada elemento y una pantalla de 60 pulgadas cuya utilidad veremos en breve. Cada casilla es un cubo de 40 cm de lado, cerrada por



Figura 1. Visión general de la tabla periódica de los elementos interactiva.

una puerta de metacrilato transparente. Lógicamente, cada casilla corresponde a un elemento químico y lleva grabado en la puerta el símbolo del elemento destacado, su nombre y su número atómico. Esta tabla permite un hecho diferencial con las tablas clásicas: introducir objetos para cada elemento. Así, cada casilla contiene uno o varios objetos relacionados con ese elemento (o sus compuestos), generalmente de uso cotidiano; en algunos casos se muestran minerales (por ejemplo, fluorita, vanadinita, hematitas, antracita, molibdenita...) o incluso el elemento químico en un capilar de vidrio cerrado (potasio, calcio, mercurio, cadmio, bromo...).

Se han utilizado ejemplos bien conocidos como el calcio de la leche, el potasio de los plátanos, el molibdeno de herramientas de acero inoxidable, el selenio del champú anticaspa, un lingote de oro o un faro de xenón (Figura 2). En otros casos se trata de usos muy recientes, incluso sorprendentes, como el escandio en palos de golf, el niobio en piercings o cartuchos de caza de bismuto. Los objetos han sido mayoritariamente cedidos por particulares, instituciones o empresas, mientras que otros se han conseguido en vertederos o desguaces. Los elementos radiactivos a partir del bismuto llevan grabada alguna imagen representativa del elemento, de su descubridor o su nombre en la puerta de metacrilato, traslúcida en este caso. Las casillas 57 y 89, correspondientes a lantanoides y actinoides, son cajones que contienen sendos cuadernos de anillas con información sobre dichos elementos.

A la derecha de esta tabla periódica interactiva se encuentra un gran panel homenaje a Mendeléiev, con una imagen de gran formato del científico, un breve texto explicativo de su búsqueda del orden químico, y otra tabla periódica en formato tradicional (Figura 1).

Justo delante de la tabla periódica interactiva hay una gran mesa curva (unos 4 m de largo) que contiene 20 objetos cotidianos correspondientes a 20 elementos químicos destacados por sus aplicaciones o relevancia (Figura 3). Algunos ejemplos son



Figura 2. Detalle de casillas correspondientes a los elementos sodio, magnesio, niobio, molibdeno, potasio, calcio, plomo y bismuto.

un salero, un sol de cerámica (en representación del helio), un grifo cromado, un trozo de cable de cobre o una prótesis de titanio. Junto a cada objeto se encuentra un sensor que es activado al tacto por los visitantes y que hace arrancar la proyección de un breve vídeo en la pantalla central de la tabla periódica, con explicaciones sobre ese elemento químico y los usos más habituales del mismo o de sus compuestos. Al mismo tiempo, se ilumina la casilla de ese elemento en la tabla periódica interactiva. Estos vídeos tienen la particularidad, atractiva para el gran público, de estar protagonizados por personajes conocidos que han colaborado desinteresadamente, como por ejemplo el cantante Jesús Cifuentes (disco “de platino” del grupo Celtas Cortos), el actor Juan Antonio Quintana (criba con pepitas “de oro”, incluye actuación de “El avaro”), el periodista deportivo Manu Carreño (silicio en semiconductores, que han revolucionado el mundo del periodismo y las comunicaciones), el ciclista Perico Delgado (horquilla de bicicleta, de fibra de carbono) o el naturalista Joaquín Araujo (tronco de árbol, en representación del oxígeno). El texto explicativo narrado por estos personajes ha sido elaborado por químicos de la RSEQ.



Figura 3. Mesa interactiva con objetos y ordenador táctil.

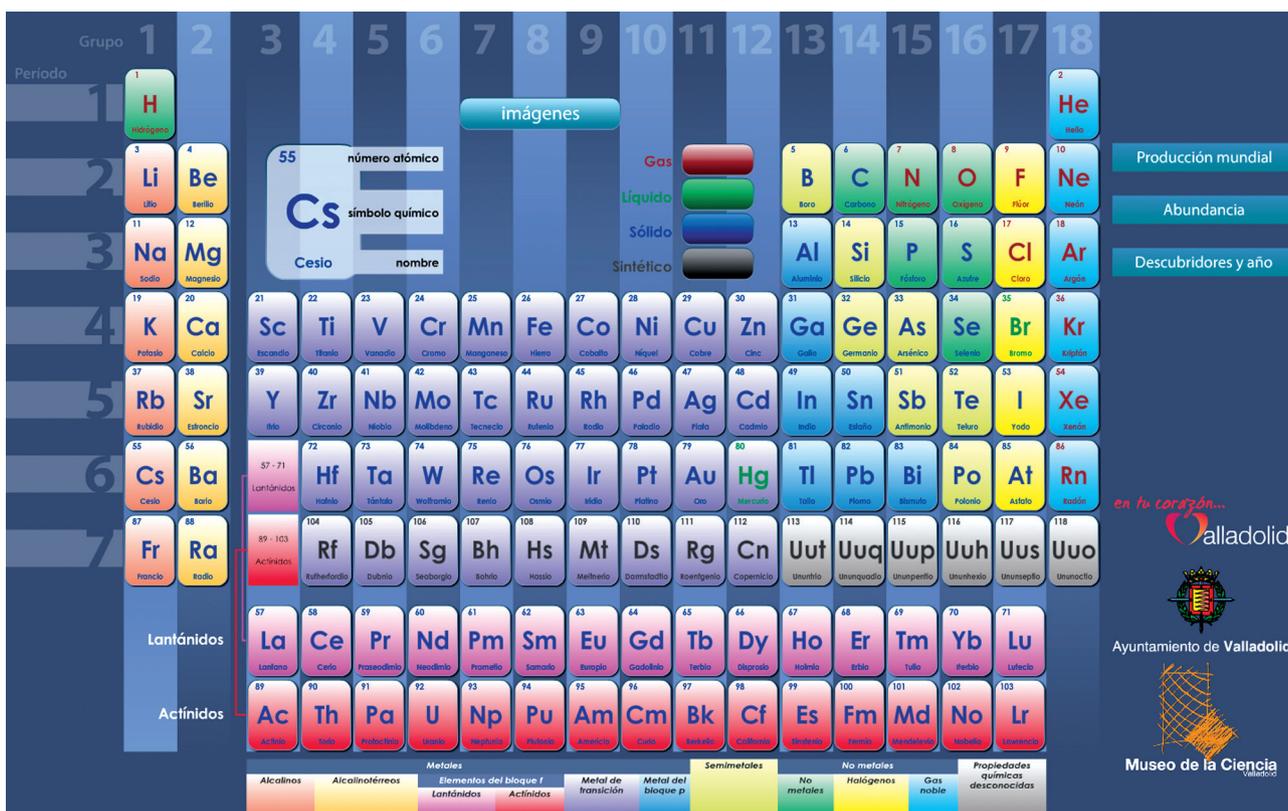


Figura 4. Pantalla de bienvenida, aplicación *flash*.

En el centro de este gran mostrador de objetos hay una pantalla táctil en la que se ejecuta una aplicación *flash*.⁵ Se trata de una tabla periódica interactiva del tipo que podemos encontrar en la web⁶ o para *smartphones* y *tablets*. Los contenidos de la aplicación fueron preparados por un grupo de profesores de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Valladolid, socios de la RSEQ, y el equipo del museo aportó su experiencia para hacerlos más accesibles al público no especializado. Un visitante interactúa tocando cada elemento en la pantalla, y el resultado se muestra simultáneamente en el gran monitor de la parte superior de la tabla interactiva, de modo que puede verlo el resto del público presente en la sala. Esta doble visualización resulta muy importante para

la realización de visitas guiadas de grupos concertados, ya que permite al guía mostrar lo que quiera sobre la tabla periódica o cualquiera de sus elementos. En consecuencia, esta aplicación va a ser muy relevante en la función educativa del museo. La pasada primavera, desde el museo se convocó a los profesores de química y asignaturas afines de educación secundaria y bachillerato a una visita guiada a esta sala (que realizaron unos cuarenta), para que conocieran de primera mano este innovador recurso educativo y pudieran utilizarlo con sus alumnos en el futuro.

En la pantalla de bienvenida aparece la tabla periódica completa (bloques *s*, *p*, *d*, *f*), en su forma habitual con el bloque *f* debajo (Figura 4). Cada casilla contiene el número

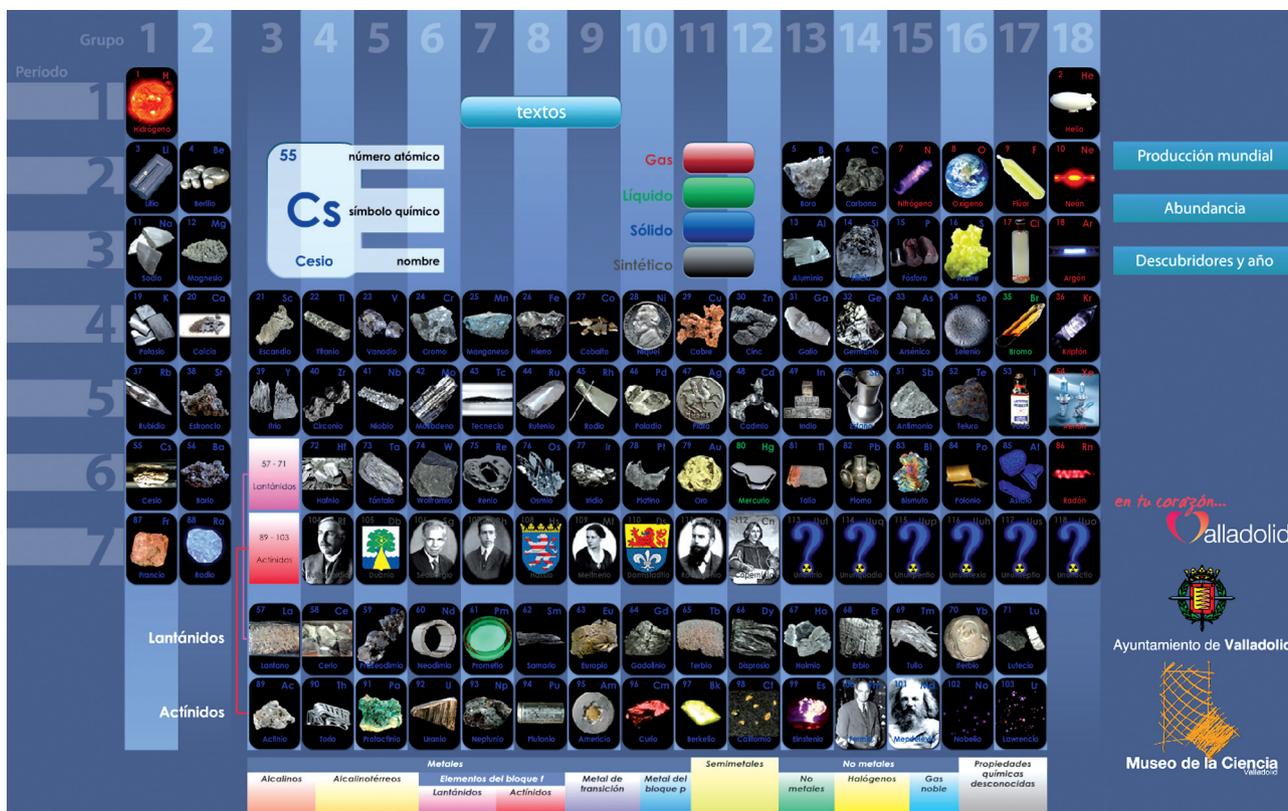


Figura 5. Pantalla de bienvenida alternativa, con imágenes, aplicación flash.

atómico, el símbolo del elemento en grande y su nombre. Es posible elegir una presentación en imágenes (Figura 5), donde en cada casilla se ve una imagen característica de cada elemento, además del número atómico, símbolo y nombre en tamaño reducido. Se usan códigos de colores para distinguir entre elementos alcalinos, alcalinotérreos, lantanoides, actinoides, gases nobles, etc.; o su estado físico (gas, líquido, sólido y sintético), iluminándose sobre la pantalla las correspondientes casillas. En la zona derecha hay un menú adicional que da acceso a: producción mundial (diagramas de barras sobre un mapamundi), abundancia (en escala logarítmica en la corteza terrestre, agua de mar, sistema solar, cuerpo humano y en el universo), descubridores y año (ordenados por número atómico, por elemento químico o por año de descubrimiento, con imagen adicional del descubridor).

Al tocar cada elemento sobre la pantalla, se abre un menú que contiene para cada uno de los 118 elementos: foto del elemento, símbolo, número atómico, peso atómico, densidad, punto de fusión y punto de ebullición, al tiempo que se ilumina su correspondiente caja en la tabla periódica interactiva. En la aplicación informática, además, un sistema de pestañas permite acceder a un submenú que presenta: características (abundancia, localización del elemento o sus compuestos, estado físico, propiedades físico-químicas, etc.), obtención (procedimientos, comentarios sobre los compuestos más importantes, etc.), usos (del elemento o de algún compuesto especialmente relevante), historia (descubrimiento, hitos, entre otros), e imágenes representativas (elemento, algún mineral o compuesto relevante, descubridor, objetos que contienen el elemento o algún compuesto del mismo). Desde la

pestaña de “características” se puede acceder a la estructura atómica donde la configuración atómica se describe mediante bolitas de colores colocadas en órbitas concéntricas en torno al núcleo; tocando sobre una bolita-electrón se visualiza cómo es la probabilidad de encontrar al electrón en el espacio.

Química a pedales

Las mejores cosas de la vida son gratis: la química del amor... y el amor a la química.

(Anónimo)

Frente a la tabla periódica interactiva se encuentra el gran panel titulado **Química a pedales**. En él, sobre una imagen de Pierre y Marie Curie con sus bicicletas, se recuerda que el matrimonio empleó el dinero recibido por su boda en comprar estos vehículos, con los que recorrieron las carreteras de Francia durante el verano de 1895.



Figura 6. Panel “Química a pedales”.

Se ha elegido la bicicleta, un vehículo estético, ecológico y saludable, como atractivo pretexto para mostrar cómo ha evolucionado la química de materiales. Encastradas en el muro se muestran **tres bicicletas** reales (Figura 6): un biclo “kangaroo” original de 1884; una bicicleta marca Orbea de hierro, de los años 40 del siglo XX; y una moderna máquina de fibra de carbono, réplica de la Mountain Bike ALMA con la que Julien Absalon ganó el Oro en los Juegos Olímpicos de Pekín en 2008. Las distintas partes de las bicicletas (manillar, cuadro, horquilla, sillín, ruedas, radios...) están etiquetadas para mostrar la evolución de los elementos, compuestos y materiales de que están hechas.

Entre moléculas

La química es el puente entre el mundo percibido de las sustancias y el mundo imaginado de los átomos.

(Peter Atkins)

Se dedica un ámbito diferenciado a la exposición “Entre moléculas”, producida por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y cuyo comisario es el Dr. Bernardo Herradón. Los 22 paneles han sido imprimidos en gran formato, sobre una lona plastificada continua de alta calidad, a todo color, con un diseño de friso inferior de moléculas. Sobre algunos de ellos se han colocado objetos representativos de su temática.

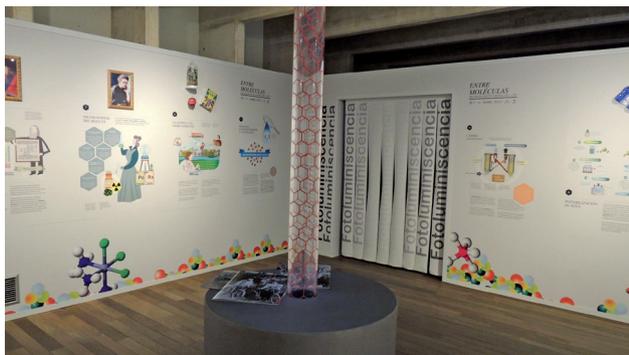


Figura 7. Exposición “Entre moléculas”.

Un paseo por la Química

El cloro es un gas letal que se utilizó en los campos de batalla europeos durante la I Guerra Mundial. El sodio es un metal corrosivo que entra en combustión en contacto con el agua. Juntos forman un material agradable e inocuo, la sal de mesa. El estudio de por qué cada una de estas sustancias tiene las propiedades que tiene es precisamente el objetivo de una ciencia llamada química.

(Carl Sagan)

La tabla periódica 3D y la aplicación de ordenador que permite interactuar con ella se centran en los elementos químicos contenidos en las casillas. La explicación de cómo la disposición de los elementos permite constatar la repetición periódica de algunas de sus propiedades, y predecir

las de elementos pertenecientes a un cierto grupo y periodo, la ofrece **Un paseo por la Química** que el visitante puede realizar pisando grandes pegatinas circulares colocadas en el suelo desde la entrada de la sala hasta el centro de la exposición “Entre moléculas”. Se trata de 21 círculos de colores (Figura 8) que plantean otras tantas preguntas básicas cuya sucesión de respuestas permite una comprensión elemental de la tabla periódica: qué es la química, qué es la materia, qué es un átomo, un elemento químico, el núcleo atómico, un protón, un neutrón, el número atómico, un isótopo, la masa atómica, la unidad de masa atómica, un electrón, la configuración electrónica, un orbital, qué es la tabla periódica, qué son los periodos y los grupos de la tabla, qué es la valencia de un elemento, un ión, una molécula y, finalmente, qué es una reacción química. Las últimas preguntas abrirían un nuevo paseo, cuyo recorrido excede el objetivo y posibilidades de esta sala.

Quienes recorran este paseo encontrarán, al final del mismo, sobre una repisa que rodea un “nanotubo de carbono” simulado, ejemplares de un cuadernillo (que pueden llevarse) con respuestas sencillas a las 21 preguntas (Figura 8).

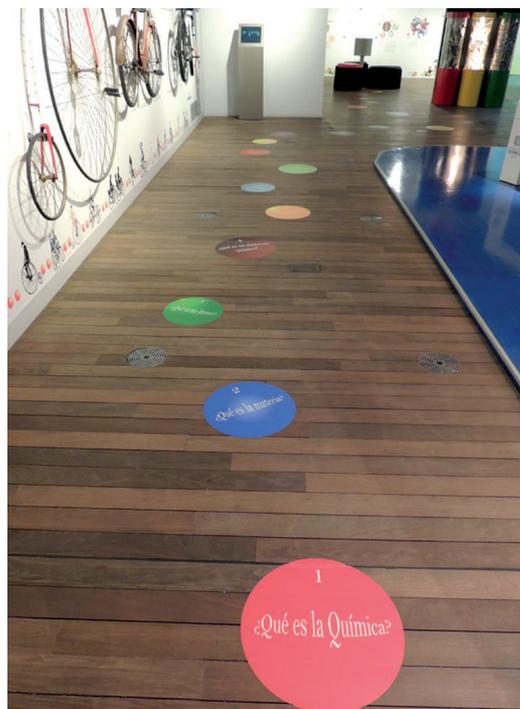


Figura 8. Algunas preguntas de “Un paseo por la Química”.

Módulo de fotoluminiscencia

Desde la exposición “Entre moléculas” se accede a un pequeño espacio dedicado a la fotoluminiscencia: el visitante se apoya (mejor si lo hace en una postura llamativa) sobre una pared pintada de material fotosensible mientras esta es intensamente iluminada por luz blanca durante unos segundos, y su silueta queda impresionada. Además de la explicación sobre la diferencia entre materiales fluorescentes y fosforescentes, en otro muro pueden verse varias constelaciones circumpolares del hemisferio norte “dibujadas” con estrellitas fluorescentes.

Quimi-test y tablas periódicas

En un ordenador con pantalla táctil el visitante puede elegir entre realizar un sencillo *quizz-test* para comprobar los conocimientos de química que ha adquirido en su visita, o visualizar numerosas representaciones de la tabla periódica, desde los manuscritos originales de Mendeléiev hasta una tabla grabada en un pelo mediante nanotecnología, pasando por tablas en una fachada, en un autobús, en chino, con obras de arte, de broma, con los espectros de los elementos químicos... El resto de la sala se completa con algunas maquetas de moléculas suspendidas del techo y decoración adecuada de las paredes: “Museo de la Ciencia de Valladolid” realizado con símbolos de elementos (Figura 9), y varias citas significativas sobre química.



Figura 9. Museo de la Ciencia de Valladolid.

Conclusiones

La colaboración entre el Museo de la Ciencia de Valladolid y la RSEQ ha dado lugar a la exposición permanente “La Química a escena”, que esperamos contribuya eficazmente a resaltar y dar a conocer el papel que ha tenido, tiene y tendrá

la química en el bienestar de la humanidad. Como bien decía el lema del Año Internacional de la Química 2011: “Química: nuestra vida, nuestro futuro”.

Agradecimientos

Queremos aprovechar para agradecer a todas las instituciones y empresas que han colaborado en la creación de este espacio expositivo dedicado a la química, y muy especialmente a las personas que lo han hecho posible: fundamentalmente, personal del Museo de la Ciencia, miembros de la RSEQ y de la UVa, así como a las personalidades que han cedido su imagen para los videos. Por suerte han sido muchas, y sus nombres se recogen en una placa a la entrada de la sala.

Bibliografía

1. a) <http://bit.ly/QHYOP2>, Tabla periódica de Mendeléiev – Wikipedia, visitada el 15/10/2012. b) J. A. Bustelo, J. García, P. Román, *An. Quim.* **2012**, *108*, 57–64.
2. a) P. Kelman, A. Harris Stone, *Mendeleev: Prophet of Chemical Elements*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, **1970**. b) P. Román Polo, *Mendeléiev: El profeta del orden químico*, 2ª ed., Nivola Libros y Ediciones, S.L., Tres Cantos, Madrid, **2008**.
3. <http://bit.ly/OxxGie>, Web de la Sección Territorial de Valladolid y Palencia de la RSEQ, visitada el 15/10/2012.
4. <http://bit.ly/PEt7pL>, Web del Museo de la Ciencia de Valladolid, visitada el 15/10/2012.
5. <http://www.adobe.com/>, Web de *Adobe Flash Player*, visitada el 15/10/2012.
6. <http://www.webelements.com/>, Web sobre la tabla periódica de los elementos más afamada, visitada el 15/10/2012.

MMXIII
CIS5
5th Czech-Italian-Spanish Conference
on Molecular Sieves and Catalysis
Segovia - June 16-19, 2013 Spain

PLENARY LECTURERS:
 Jiří Čejka (JHI, Prague, Czech Republic)
 Roberto Millini (ENI, Milan, Italy)
 Fernando Rey (ITQ, Valencia, Spain)

INVITED LECTURES
ORAL PRESENTATIONS
POSTER SESSION

SPECIAL ISSUE
INTERNATIONAL JOURNAL

<http://cis5.es>
secretariat@cis5.es

ORGANIZERS:
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA
 DPTO. QUÍMICA INORGÁNICA Y QUÍMICA TÉCNICA
 Rosa María Martín-Aranda
 Elena Pérez-Mayoral
 Antonio J. López-Peñalado
 INSTITUTO DE CATALISIS Y PETROQUÍMICA, CSIC
 GRUPO DE TAMICES MOLECULARES
 Joaquín Pérez-Pariente
 Carlos Márquez-Álvarez
 Enrique Sastre

CENTRO ASOCIADO DE SEGOVIA
 Antonio López Peláez

SECAT
 SOCIEDAD ESPAÑOLA DE CATALISIS

Group of Zeolites of the Spanish Catalysis Society

Córdoba celebra la Química

Alberto Marinas, Carmen Michán, Teresa Roldán-Arjona, Manuel Blázquez

Resumen: La celebración del Año Internacional de la Química 2011 ha tenido una repercusión importante en la Universidad de Córdoba gracias al amplio programa de actividades organizado por la Facultad de Ciencias con la colaboración del Instituto Universitario de Investigación en Química Fina y Nanoquímica. Dicho programa ha incluido un ciclo de conferencias, concursos, exposiciones y otras actividades que han permitido acercar la química no sólo a la comunidad universitaria, sino al público en general. De acuerdo con la Declaración de la ONU, el objetivo ha sido aumentar el interés de la sociedad, y el de los jóvenes en particular, por un futuro creativo de la química. En este artículo se describen las actividades realizadas que han hecho de la química un foco de atención preferente en Córdoba.

Palabras clave: Año Internacional de la Química, conferencias, exposiciones, concursos, Universidad de Córdoba.

Abstract: The University of Cordoba contributed to the celebration of International Year of Chemistry 2011 with a wide program of activities organized by the Faculty of Sciences with the collaboration of the University Institute for research on Fine Chemistry and Nanochemistry. The program included conferences, contests, exhibitions, and other activities that contributed to bring chemistry closer not only to people belonging to academia but also to the general public. In line with UN declaration, those activities were aimed at increasing the public appreciation of chemistry by society, in particular among youngsters, as well as generating enthusiasm for the creative future of chemistry. This paper summarizes all the activities carried out, which placed chemistry in the spotlight in Cordoba during 2011.

Keywords: International Year of Chemistry, conferences, exhibitions, contests, University of Córdoba.

Introducción

La Universidad de Córdoba (UCO), a través de la Facultad de Ciencias y con la colaboración del Instituto Universitario de Investigación en Química Fina y Nanoquímica (IUIQFN) participó en la celebración del “Año Internacional de la Química (AIQ)”¹⁻³ mediante la organización de diversas actividades, comenzando con las jornadas científicas NanoUCO III organizadas por el IUIQFN. A lo largo de todo el año, el programa se vertebró en torno al ciclo de conferencias “Química nuestra vida, nuestro futuro” que abordó un amplio abanico de aspectos de la química, a cargo de ponentes nacionales e internacionales. Además, se organizaron otros actos académicos en paralelo a este ciclo, como las jornadas de introducción al laboratorio de química para estudiantes de enseñanza secundaria, el “Paseo por la Ciencia”, la fase local de la XXIV Olimpiada de Química, concursos de carteles, fotografía y videos para estudiantes, etc.

El esfuerzo realizado ha permitido acercar la química a la ciudadanía en general y a los estudiantes en particular. Al tratarse de un programa muy amplio, pero a la vez integrado, se

ha logrado optimizar recursos, llegando a una mayor cantidad de público y transmitir un mensaje común: la *contribución de la química al bienestar de la humanidad*. Se diseñaron actividades dirigidas a diferentes colectivos, incluyendo alumnos de primaria y secundaria, el público en general (“Paseo por la Ciencia”), la comunidad universitaria (ciclo de conferencias), y nuestros mayores, representados por los alumnos de la Cátedra Intergeneracional, probablemente los mejores embajadores de la ciencia ante las nuevas generaciones: sus nietos.

Además, pese a tratarse de una actuación para la difusión de la química, se ha hecho especial énfasis en el carácter multidisciplinar de la misma. Así, gran parte de las actividades planificadas han tenido un claro carácter transversal, relacionando la química con otras ramas de las ciencias como medio ambiente, ciencia de materiales, biología, y física.

Ciclo de conferencias: “Química: nuestra vida, nuestro futuro”

El ciclo de conferencias “Química: nuestra vida, nuestro futuro” ha puesto de actualidad y ha dado visibilidad a una parte importante de la investigación de vanguardia en química. Destacar la participación del Premio Nobel de Química del año 2010, Ei-ichi Negishi (EEUU)⁴ y el premio Jaime I de Nuevas Tecnologías del 2000 y Medalla de Oro de la Década a la Investigación e Innovación Química (2001-2010), Avelino Corma, además de otros destacados ponentes nacionales e internacionales provenientes de países como Reino Unido, Bélgica, Austria, EE.UU. Portugal o Hong Kong (Tabla 1).

La conferencia inaugural, organizada por el IUIQFN, corrió a cargo del Profesor Agustí Lledós quien afirmó que la química “*sirve para mejorar la vida del ser humano en la tierra, sobre todo en aspectos como la energía, la sostenibilidad o el funcionamiento preciso de las células*” planteándose retos de futuro como “*la creación de materiales superconductores a temperatura ambiente, bacterias sintéticas o la obtención de manera eficiente de la energía que necesitamos directamente*



A. Marinas C. Michán T. Roldán-Arjona M. Blázquez

Facultad de Ciencias, Universidad de Córdoba
Edificio de Gobierno, Campus de Rabanales, 14004 Córdoba
C-e: mblazquez@uco.es

Recibido: 14/11/2012. Aceptado 23/11/2012.

Tabla 1. Ciclo de Conferencias “Química Nuestra Vida, Nuestro Futuro”

Título	Ponente	Institución
Quiero ser químico...¿para qué?	Agustí Lledós	Universidad Autónoma de Barcelona
Waste as a future feedstock using Green Chemistry	James Clark	Green Chemistry Centre of Excellence for Industry, Universidad de York (UK)
Membranes as meeting points for drugs, lipids and therapies	Salette Reis	Universidad de Porto (Portugal)
Magical Power of d-block Transition Metals. Pd-Catalyzed Cross-Coupling and Zr-Catalyzed Asymmetric Carboalumination (ZACA Reaction)	Ei-ichi Negishi	Universidad Purdue (EEUU). Premio Nobel de Química 2010
Ordered Hybrid Porous materials- The next generation of Catalysts: some cases studies on PMOS, OMPS and MOFS	Pascal Van der Voort	Universidad de Gante (Bélgica)
Building a better environment by doing things “poorly”	Marc Anderson	Universidad de Wiscosin-Madison (EEUU)
Microwave Chemistry-still going strong after 25 years	Oliver Kappe	Universidad de Graz (Austria)
Procesos térmicos asistidos con microondas aplicados a materiales carbonosos	José Ángel Menéndez	Instituto Nacional del Carbón - CSIC (Oviedo)
Developing a Technology Platform for the Production of Chemicals from Renewable Resources	Carol Sze Ki Lin	Universidad de Ciencia y Tecnología de Hong Kong
Papel del químico en los laboratorios agroalimentarios	Ana Isabel Blanch	Laboratorios Agroalimentarios del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino
El Experimento Global del Agua, del Año Internacional de la Química. Agua: una solución química	Javier García Martínez	Universidad de Alicante, Miembro de la IUPAC y CCE
El nanocosmos molecular: un universo en miniatura	Eugenio Coronado	Instituto de Ciencia Molecular de la Universidad de Valencia
Electroquímica diferente: arrecifes y arqueología	Antonio Aldaz	Instituto Universitario de Electroquímica (Universidad de Alicante)
Catálisis: desde los fundamentos hasta su aplicación industrial	Avelino Corma	Instituto de Tecnología Química de Valencia (CSIC-UPV)

de la luz solar”. La creciente concienciación social y política sobre la necesidad de una sociedad sostenible se hizo patente en la conferencia de James Clark. Este profesor dio una visión general sobre las posibilidades que ofrecen diversos residuos para la producción de compuestos de alto valor añadido y biocombustibles, usando metodologías de bajo impacto ambiental y siguiendo, por tanto, los principios de la química verde. Por su parte, la Dra. Reis presentó sus estudios de la interacción de nuevos fármacos con liposomas y micelas en relación con su transporte a través de las membranas celulares así como el desarrollo de sistemas organizados para mejorar los procedimientos de análisis en la investigación biomédica.

La conferencia del Profesor Ei-ichi Negishi versó sobre la aplicación de metales de transición (fundamentalmente paladio) como catalizadores en procesos de formación de enlaces carbono-carbono, originando, de este modo, gran cantidad de moléculas orgánicas. Los productos obtenidos encuentran su aplicación en campos tan diversos como medicina, agricultura, física, ciencia de los materiales o medio ambiente, entre otros. Estos nuevos procesos químicos sintéticos contribuyen a una química más respetuosa con el medio ambiente ya que (i) suponen el empleo de catalizadores (que no se consumen en el proceso, y pueden ser reutilizados), (ii) conducen a los productos deseados con un alto rendimiento, minimizando la generación de subproductos, (iii) se llevan a cabo en condiciones más suaves que los procesos tradicionales, lo que redundará

en una mayor seguridad y viabilidad económica del proceso. El acto contó con una nutrida representación del profesorado y alumnado de la Universidad de Córdoba (Figura 1), lo que permitió establecer un animado e interesante debate sobre aspectos como la química y su relación con otras ciencias o la importancia de la llamada “química verde” y sus connotaciones políticas y económicas.



Figura 1. El Profesor Eichi-Negishi rodeado de estudiantes de Química, momentos después de impartir su conferencia.

El profesor Van der Voort centró su presentación en la síntesis de nuevos materiales híbridos, en particular, materiales ordenados mesoporosos, como organosilices mesoporosas *PMOs* (*Periodic Mesoporous Organosilica*) y materiales *MOF* (*Metal-Organic Framework*) y su uso como herramientas en la industria y para el medio ambiente. Por su parte, Marc Anderson destacó la importancia de las estructuras nanoporosas y microporosas de los sólidos para controlar las propiedades físicas y químicas en aplicaciones tecnológicas ambientales, como almacenamiento de energía (supercondensadores), purificación y desalación de aguas, eliminación de residuos (materiales para celdas fotoelectrocatalíticas), cristales autolimpiables, materiales sustitutivos del cemento en hormigones y materiales para la protección frente a la corrosión, entre otros.

En su conferencia, el profesor Kappé mostró el potencial uso de la radiación microondas como herramienta para acelerar reacciones químicas en síntesis de péptidos, química de polímeros, ciencia de materiales, nanotecnología y procesos bioquímicos, entre otros. Por su parte, el Dr. Menéndez ofreció una visión global de las posibilidades que ofrece el utilizar la radiación por microondas en la síntesis de tamicos moleculares, nanofilamentos, grafeno y xerogeles de carbono; en la producción, modificación y regeneración de carbones activos; en la valorización térmica de biomasa y residuos; y en el reformado de metano con CO_2 .

La charla de la profesora Lin versó sobre el diseño de una estrategia de biorefinería para la producción de ácido succínico, a escala industrial, utilizando microorganismos modificados genéticamente y agua de mar como suplemento de minerales y sales. En la conferencia de la Dra. Blanch se abordó el estado actual de la trazabilidad de los productos alimenticios e incidió en el papel esencial que los profesionales químicos pueden y deben jugar en los laboratorios agroalimentarios. Asimismo la conferenciante mostró datos concretos sobre la situación actual en productos como el vino o el aceite de oliva, muy importantes en nuestra economía, no sólo a nivel nacional sino también a nivel europeo. La Dra. Blanch ha participado activamente como representante de la administración española en las reuniones de expertos de la Unión Europea en el análisis de estos productos.

El Dr. García-Martínez presentó los principales resultados del llamado Experimento Global de Química titulado “Agua: una solución química”,⁵ ambiciosa iniciativa de la UNESCO y la IUPAC orientada a que los jóvenes aprendan la relación que existe entre el agua y muchos de los problemas actuales, desde la escasez de alimentos hasta el cambio climático, y cómo la química tiene un papel fundamental tanto en la comprensión como en la resolución de estos grandes retos.

El profesor Coronado, puso de manifiesto en su intervención el papel relevante del químico como arquitecto de la materia, ya que es capaz de diseñar y crear moléculas cada vez más bellas y complejas. Moléculas que no sólo tienen un interés estético sino que por sus propiedades físicas, químicas o biológicas pueden ser utilizadas para fabricar dispositivos mucho más pequeños, eficientes y rápidos que los actuales dentro de lo que denominamos “nanociencia y nanotecnología” que, para muchos, constituye la revolución científica y tecnológica del siglo XXI. Esta conferencia organizada por el Instituto Universitario de Investigación en Química Fina y Nanoquímica de la UCO con la colaboración de la Facultad de Ciencias constituyó el acto de Clausura del Año Internacional de la Química por parte de Instituto.

Por su parte, el Dr. Aldaz presentó la electroquímica, como ciencia fronteriza entre la química, la física y la ingeniería, con un campo de aplicación tan amplio como lo demuestran algunas de sus aplicaciones más conocidas, entre las que destacan pilas de combustible, depósitos metálicos, anodizados, mecanizados, síntesis cloro/sosa, aluminio, etc. Además, por su gran versatilidad, puede emplearse en campos tan aparentemente alejados del área de la química como la restauración de objetos arqueológicos y la construcción de arrecifes marinos, como ejemplificó a lo largo de su charla.

Finalmente, la conferencia impartida por el profesor Corma puso el broche de oro a las celebraciones del Año Internacional de la Química 2011 en la Facultad de Ciencias de la UCO. En su disertación, el profesor Corma pasó revista a algunos de los principales catalizadores diseñados por su equipo de investigación y que, actualmente, se encuentran en explotación comercial. En los diferentes ejemplos presentados partió del planteamiento del problema y abordó la manera de solucionarlo recurriendo a un cambio de paradigma. Para conseguirlo, empleó catalizadores con diversos tamaños de poro y sólidos multifuncionales (con centros activos de diferente naturaleza), capaces de llevar a cabo reacciones consecutivas (o en cascada) sin necesidad de aislar los productos intermedios de reacción, todo ello con el correspondiente beneficio económico.

Concurso de carteles: “La química en la vida cotidiana”

Para destacar la importancia de esta Ciencia en la vida cotidiana se convocó un concurso de carteles entre los meses de febrero y marzo de 2011. El jurado encargado de valorar los trabajos estuvo constituido por los miembros de la Comisión de Investigación de la Facultad de Ciencias. Junto a la adecuación al lema del concurso, se valoró la creatividad, el rigor científico, los aspectos artísticos y la originalidad. Las bases del concurso contemplaban la concesión de tres premios con dotación económica y varias menciones especiales que recibieron un paquete promocional del Año Internacional de la Química y de la Facultad de Ciencias.

El fallo del jurado se hizo público en un acto que tuvo lugar el día 21 de marzo en la Sala de Grados Manuel Medina (Figura 2).



Figura 2. Entrega de premios del concurso de carteles “La química en la vida cotidiana”.

Se presentaron 58 carteles en cuya elaboración participaron 76 estudiantes pertenecientes no sólo a la Facultad de Ciencias sino también a otros centros de la Universidad de Córdoba. Dada la gran calidad de los trabajos presentados, el jurado decidió incrementar la dotación del tercer premio y otorgarlo *ex aequo* a cuatro carteles. Los carteles ganadores y los que obtuvieron mención especial fueron expuestos durante todo el año de manera permanente en la exposición “La química de la biblioteca” así como en una exposición itinerante realizada en diferentes centros de secundaria y, en el denominado “Paseo por la Ciencia”, actividad organizada por la Asociación del Profesorado de Córdoba por la Cultura Científica⁶ (*vide infra*). Además, fueron incluidos en una página web específica¹ que se abrió para la difusión de todas las actividades. El primer premio correspondió al cartel titulado “La química te sienta bien”, obra de Nuria Cayuelas, Carmen María Couñago, Ana María Roperio y David Velado en el que los estudiantes mostraron el importante papel jugado por la química en una serie de actividades y procesos de la vida cotidiana. En él los Autores relacionaron de manera concatenada la inicial “Q” de Química, comenzando por la fotosíntesis y acabando con el propio cuerpo humano.

Concurso de fotografía y video: “Todo es química”

En el segundo semestre del año 2011, se convocó el concurso de fotografía y videos científicos “Todo es química”. Su objetivo fue acercar la ciencia y la tecnología a los ciudadanos mediante una visión artística y estética, sugerida a través de imágenes y videos científicos. La participación estuvo abierta a los alumnos y al personal de la Universidad de Córdoba y de los Centros de Secundaria de la provincia. Se permitió la participación tanto de forma individual como en grupo. El plazo de presentación de las fotografías y videos estuvo abierto desde junio hasta octubre. Al igual que en el concurso anterior, los miembros de la Comisión de Investigación de la Facultad de Ciencias ejercieron de jurado. De nuevo se valoró, junto a la adecuación de los videos y fotografías presentados al lema del concurso, la creatividad, el rigor científico, los aspectos artísticos y la originalidad.

La entrega de los premios tuvo lugar el día 25 de noviembre en el acto de clausura del AIQ en la Universidad de Córdoba (Figura 3). En el fallo del jurado se resaltó, además de la calidad de los trabajos presentados, la participación de estudiantes tanto de la Facultad de Ciencias como de otros Centros de la UCO y de Educación Secundaria.



Figura 3. Entrega de premios del concurso de fotografía y video “Todo es química” presidida por el Profesor Avelino Corma

El primer premio de fotografía correspondió al trabajo titulado “Jardín-Laboratorio” presentado por Gema Rodríguez Caballero, mientras que el ganador en la categoría de videos fue Gonzalo Rafael González Maldonado, por “Química cotidiana”. Para cada modalidad se otorgaron tres premios con dotación económica y dos accésit que recibieron un paquete promocional del Año Internacional de la Química. A todos los participantes se les hizo entrega de un certificado acreditativo de su participación.

Otras Actividades

En la Tabla 2 se resumen las otras actividades realizadas. Los profesores de la titulación de Química han organizado durante los últimos años unas jornadas dedicadas a los estudiantes de bachillerato, con el objetivo de dar a conocer lo que es y significa la química en el mundo actual. Con más motivo durante 2011 (segundo trimestre del curso 2010/11) se celebraron las cuartas Jornadas de Introducción al Laboratorio de Química. Los alumnos de bachillerato pudieron visitar y conocer los laboratorios de química de los distintos departamentos de la Facultad de Ciencias. Con esta actividad se pretende dar a conocer aplicaciones de la química a la vida cotidiana, al tiempo que despertar la curiosidad y la vocación científica. Asimismo, los alumnos pueden familiarizarse con instrumentación y material propios de un laboratorio de química, y además, tener un primer contacto con el mundo universitario. En la edición correspondiente al AIQ 2011 el número total de alumnos participantes fue superior al millar, procedentes de casi cuarenta centros.

Tabla 2. Otras Actividades del Año Internacional de la Química en la Universidad de Córdoba

Título	Descripción
IV Jornadas de Introducción al Laboratorio Experimental de Química	Jornadas dedicadas a los estudiantes de bachillerato para dar a conocer lo que es y significa la química en el mundo de hoy
XXIV Olimpiada de Química	Programa del Ministerio de Educación, ANQUE y RSEQ para estimular la creatividad y el interés de los estudiantes
Paseo por la Ciencia 2011	Organizado por la Asociación del Profesorado de Córdoba por la Cultura Científica con la colaboración de la Facultad de Ciencias
Exposición “La química de la biblioteca”	Exposición en la Biblioteca del Campus de Rabanales sobre diversos aspectos de la química, para acercarla a todos los estudiantes del campus
Exposición itinerante de carteles y fotografías	Exposición permanente en la Facultad e itinerante en centros de secundaria participantes
Coloquios en la cátedra intergeneracional “La química de ayer y hoy”	La Cátedra intergeneracional (UCO) para personas mayores de 50 años pretende fomentar su promoción personal y la mejora de su calidad de vida
Web “Año Internacional de la Química en la Facultad de Ciencias (UCO)”	Elaboración y mantenimiento de la página web para difusión de las actividades del Año Internacional de la Química

Otra actividad enmarcada en la celebración del Año Internacional de la Química, fue la organización de la fase local de Córdoba de la Olimpiada de Química que se celebró el día 3 de marzo. Su objetivo fue elegir a los cuatro mejores alumnos para la prueba nacional. Se realizaron pruebas sobre formulación y nomenclatura, además de cuestiones teóricas y problemas numéricos. El acto finalizó con la entrega de diplomas acreditativos de participación y regalos conmemorativos del Año Internacional de la Química. En esta fase local participaron 55 alumnos de 14 centros de bachillerato LOGSE de la provincia de Córdoba. Se otorgaron tres premios que tuvieron una asignación económica a cargo de la Subdirección General de Alumnos, Participación e Igualdad del Ministerio de Educación. Estos alumnos concurren a la Fase Nacional que tuvo lugar en Valencia del día 29 de abril al 1 de mayo de 2011.

La actividad “Paseo por la Ciencia” es un acto organizado por la Asociación del Profesorado de Córdoba por la Cultura Científica⁶ con la colaboración de la Facultad de Ciencias y que desde hace 6 años se ha convertido en un referente cultural y educativo de la ciudad de Córdoba. Se trata de una feria científica en la calle, es decir, un lugar de encuentro de la ciudadanía con las ciencias. En ella se realizan experiencias prácticas diseñadas para que, además de formativas, resulten atractivas (Figura 4). Este evento está dirigido a un público no especializado de todas las edades, aunque se presta una atención particular a los niños, a los que se anima a participar desde edades muy tempranas. Todas las actividades se realizan bajo la supervisión de alumnado y profesorado universitario y de los diferentes centros educativos de secundaria de la provincia.

A pesar de que se han celebrado relativamente pocas ediciones, este evento se ha convertido en un referente cultural y educativo de la ciudad de Córdoba y es visitado cada vez por más público ávido de participar. Esta edición se celebró el día 26 de marzo de 2011. Con motivo del AIQ se prestó especial atención a las actividades relacionadas con esta área de conocimiento. Asimismo, durante el evento estuvieron expuestos los carteles ganadores del concurso “la química en la vida cotidiana” y se mostraron carteles anunciadores de las actividades futuras. Entre los experimentos planteados por la Universidad de Córdoba se encontraban: ¿Cómo es el aire que



Figura 4. Paseo por la Ciencia en Córdoba

respiramos?, un laboratorio forense, un laboratorio de biología molecular con aislamiento de DNA, se realizaron pruebas de la evolución y bases genéticas de la herencia, transmisión de la presión, cambios de pH, depuración física del agua, *blueprinting*: fotografía por cianotipos, ondas estacionarias, etc.

La exposición “La química de la biblioteca” se realizó desde abril a diciembre de 2011 en el hall de la biblioteca Maimónides en el Campus de Rabanales. Se expusieron de forma permanente los carteles de las colecciones “historia de la química” y “entre moléculas”,⁷ los trabajos ganadores del concurso “la química en la vida cotidiana”, las fotografías premiadas en el concurso “todo es química”, las principales aportaciones de la química a la humanidad, y los carteles con los Premios Nobel de Química. Con esta exposición se consiguió acercar la química a los estudiantes no sólo de química, sino de las diferentes disciplinas presentes en este campus universitario como veterinaria, informática, ingeniería eléctrica y electrónica, física, biología, bioquímica, medio ambiente, ingeniería agrónoma, etc. (Figura 5).

Fieles a la filosofía inicial del proyecto para la celebración del Año Internacional de la Química en la Universidad de Córdoba, se diseñaron unas actividades orientadas al público en general y otras dirigidas a colectivos más específicos (estudiantes de primaria, secundaria, bachillerato,



Figura 5. Exposición “Entre Moléculas” constituida por 22 carteles facilitada por el CSIC en descarga *on-line*.

universitarios). En este contexto se organizó una acción orientada a un colectivo especialmente importante: nuestros mayores. No cabe duda que los *abuelos* son los mejores embajadores que pueden tener la ciencia y en este caso la química ante las nuevas generaciones: sus *nietos*. Esta actividad se denominó “coloquios en la cátedra intergeneracional” y contó como público de excepción con los alumnos de la Cátedra Intergeneracional “Profesor Francisco Santisteban”. Se impartió la conferencia “La química de ayer y hoy” donde en primera instancia se expusieron los objetivos del AIQ propuestos en la declaración de la ONU. A continuación se hizo una breve revisión de la historia de la química, desgranando los elementos que han elevado esta materia al estado actual. Se enfatizó el hecho de que en cualquier entorno de la vida cotidiana se puede reconocer la aportación de la química al bienestar de la humanidad. Con la conferencia se propició un espacio para el debate científico, social y cultural, y se favoreció la transmisión de experiencias desde nuestros mayores a las generaciones más jóvenes.

Dado que el objetivo general de este proyecto era acercar la química a toda la sociedad, un elemento imprescindible para ello fue el diseño, desarrollo y mantenimiento de una página web “Año Internacional de la Química” en la Facultad de Ciencias (UCO)¹. Esta página se abrió el 17 de enero de 2011 y a través de ella se han centralizado todas las actividades realizadas, lo que ha permitido hacerlas accesibles al mayor número posible de personas. En ella se ha detallado toda la información de las actividades previstas, las que estaban en curso y las ya desarrolladas. Así mismo, se incluyeron enlaces a páginas de otras sociedades participantes o que apoyaban el Año Internacional de la Química. Se prestó especial atención al diseño de esta página y a otros elementos de difusión (Figura 6), así como a la presencia de las distintas actividades en las redes sociales, ya que el objetivo final era aumentar el interés de la sociedad en general y muy especialmente de nuestros jóvenes, por la ciencia.



Figura 6. Cartel y otros elementos de difusión del Año Internacional de la Química.

Las actividades realizadas cumplieron con creces los objetivos propuestos en la declaración el Año 2011 como “Año Internacional de la Química”: (i) incrementar la apreciación pública de la Química como herramienta fundamental para satisfacer las necesidades de la sociedad; (ii) promover el interés por la química entre los jóvenes; (iii) generar entusiasmo por el futuro creativo de la química, una ciencia esencial para mejorar la sostenibilidad de nuestros modos de vida y para resolver los problemas globales y esenciales de la humanidad, como la alimentación, el agua, la salud, la energía o el transporte; (iv) proporcionar un espacio común para la razón y la discusión científica, utilizando la química como hilo conductor; (v) contribuir al fomento de las vocaciones científicas y de la cultura científica por parte de la ciudadanía.

Agradecimientos

Este programa de actividades conmemorativas del Año Internacional de la Química ha sido posible gracias a la financiación concedida por la FECYT (proyecto FCT-11-1597) y el MICINN proyecto CTQ2011-131914-E (subprograma BQU), en colaboración con la Universidad de Córdoba y la Facultad de Ciencias. El desarrollo de las actividades no hubiese sido posible sin la ayuda del profesorado, becarios e investigadores de la Facultad de Ciencias y del Instituto Universitario de Química Fina y Nanoquímica, en particular de su Director, el profesor Miguel Valcárcel. Asimismo, agradecemos especialmente la colaboración de la Asociación de Profesores por la Cultura de Córdoba y del Profesorado de los Centros de Enseñanza Secundaria participantes. El trabajo y la implicación de la Comisión de Investigación de la Facultad de Ciencias (Dres. M. D. Calzada, R. Vázquez, A. Redondo, A. Marinas, C. Michán, M. T. Roldán, M. Blázquez), de Alina Balu (coordinadora de actividades), del Dr. Rafael Luque, así como de Ramiro Márquez (coordinación en el decanato) y del Dr. Álvaro Caballero (página web) han sido fundamentales para la organización y difusión de los actos programados. Finalmente, queremos mostrar nuestro agradecimiento al Gabinete de Prensa de la Universidad de Córdoba.

Bibliografía

1. Página web creada para el AIQ2011 por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Córdoba (UCO): <http://www.uco.es/quimica2011>, visitada el 30/11/2012.
2. Página web oficial del Año Internacional de la Química: <http://www.chemistry2011.org>, visitada el 30/11/2012.
3. <http://www.quimicaysociedad.org/2012/10/28/ano-internacional-de-la-quimica-2011-testimonios/>, visitada el 30/11/2012.
4. A. M. Echavarren, *An. Quim.* **2012**, *106*, 293–295.
5. J. García-Martínez, *An. Quim.* **2012**, *108*, 135–138.
6. Asociación del Profesorado de Córdoba por la Cultura Científica (APCCC), <http://www.apccc.es/>, visitada el 30/11/2012.
7. L. Ferrando, L. Llera, P. Tígeras, *An. Quim.* **2012**, *108*, 258–262.

El Año Internacional de la Química en La Rioja: un año en nuestra vida, una apuesta para nuestro futuro

J. Héctor Busto, Pedro J. Campos

Resumen: La celebración del Año Internacional de la Química (AIQ) 2011 en La Rioja a permitido aumentar la apreciación pública de la química y su importancia para la sociedad. Este artículo recoge las actividades promocionales y educativas (conferencias, exhibiciones, experimentos...) que los químicos entusiastas de La Rioja han organizado a lo largo del año 2011. El creciente interés por la química observado entre los más jóvenes nos ha estimulado a continuar organizando diferentes actividades guiados por el “espíritu AIQ”.

Palabras clave: Año Internacional de la Química, jóvenes, actividades educativas.

Abstract: The celebration of the International Year of Chemistry (IYC) 2011 in La Rioja has increased public appreciation of chemistry and its importance to society. This paper summarizes the promotional and educational activities (lectures, exhibitions, hands-on experiments...) that enthusiastic chemists of La Rioja have organized and taken part in throughout 2011. The already growing enthusiasm and interest in chemistry observed among young people stimulate us to continue with the organization of educational events in the “IYC spirit”.

Keywords: International Year of Chemistry, young people, educational activities.

Introducción

La proclamación por la ONU y después la celebración a escala planetaria del Año Internacional de la Química en 2011 (AIQ-2011) ha sido un revulsivo para todos los profesionales de la química conscientes de la implicación de la ciencia en la sociedad. Los químicos riojanos, movilizados alrededor del Departamento de Química, de la Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática de la Universidad de La Rioja y de la Sección Territorial de la RSEQ, pusieron a punto una serie de actividades durante el año 2011 para acercar la química a la población, tanto en su aspecto docente como de investigación.¹

Estas actividades fueron dirigidas preferentemente al sector más joven de la sociedad, los niños y jóvenes que son los que deben de ir recibiendo mensajes positivos sobre la química para contrarrestar esa imagen negativa, la quimifobia, que se ha ido creando sobre esta ciencia. Por otra parte, los alumnos de primaria, secundaria y bachillerato serán los futuros estudiantes universitarios y es necesario cuidar especialmente esta cantera. La sociedad en su conjunto también

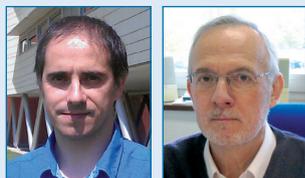
ha sido objetivo de estas actividades e incluso los estudiantes universitarios de química y los químicos. Muchos profesionales de la química deben de reforzar su convencimiento de la importancia de esta ciencia y de los beneficios que reporta y ha reportado a la sociedad.

En estas breves líneas se van a resumir las principales actividades desarrolladas durante este periodo y coordinadas por un grupo de profesionales químicos de la Universidad de La Rioja.

Actividades realizadas

A lo largo del año 2010 se comenzaron a gestar estas actividades. Se constituyó la comisión “Química y Sociedad” integrada por el director del Departamento, la decana de la Facultad, el presidente de la Sección Territorial, el responsable del Servicio de Laboratorios y varios profesores del Departamento. Se consiguió una cierta financiación mediante un proyecto FECYT (FCT-10-909) y ayudas parciales de la Universidad de La Rioja, La Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática, de la Sección Territorial de la RSEQ y el Departamento de Química. Además puntualmente y para algunas de las actividades específicas se contó con alguna financiación del Ayuntamiento de Logroño y del Gobierno de La Rioja.

A final del año 2010 ya se programó en La Rioja alguna actividad que sirvió como prólogo del Año Internacional de la Química 2011. En concreto, el 14 de diciembre de 2010 el Dr. Bernardo Herradón del Instituto de Química Orgánica-CSIC impartió en Logroño la conferencia *Las dos caras de la Química: problemas medioambientales y benefactora de la humanidad*. En esta charla, organizada por la Cátedra de la Innovación de La Rioja y el Centro de Investigación en Síntesis Química (CISQ), además de comenzar a hablar de este AIQ-2011 se cumplió uno de los propósitos de esta celebración, lanzar un mensaje positivo y demostrar la actividad benefactora de la química.



J. H. Busto

P. J. Campos

Departamento de Química, Universidad de La Rioja

Centro de Investigación en Síntesis Química

C/ Madre de Dios 51, 26006 Logroño

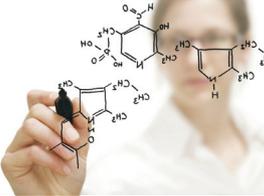
C-e: hector.busto@unirioja.es, pedro.campos@unirioja.es

Recibido: 27/11/2012. Aceptado 29/11/2012.

Las actividades relacionadas con el AIQ-2011 empezaron a promocionarse a través de la Unidad de Cultura Científica y del servicio de comunicación de la Universidad de La Rioja (Figura 1) y también empleando las redes sociales.² El día 5 de febrero de 2011 se inauguró el Año Internacional de la Química en Logroño (Figura 2).^{3,4} La actividad se dividió en dos partes bien diferenciadas. Así la jornada matinal comenzó con diversas actividades en la Casa de las Ciencias del Ayuntamiento de Logroño, entre ellas el taller infantil *Química con mis manos*, en el que se inscribieron 130 niños de entre 8 y 12 años (Figura 3). Otras 400 personas acudieron a la Casa de las Ciencias a lo largo de la jornada, para asistir a distintos talleres y demostraciones experimentales sobre la presencia de la química en nuestra vida diaria. Los experimentos se basaron en los polímeros, la química del fuego, reacciones y temperatura, reacciones a todo color y la química de la electricidad.



Figura 1. Imagen de la Facultad de Ciencias con el cartel del AIQ-2011.



Año Internacional de la QUÍMICA 2011

Concierto Inaugural del Año Internacional de la Química en La Rioja

Sábado, 5 de febrero de 2011
 Casa de las Ciencias de Logroño
 De 10.30 a 14.30 y de 17.00 a 19.00 h.
 Auditorium del Ayuntamiento
 A las 19.00 h.

Figura 2. Cartel anunciador del acto inaugural del AIQ-2011.

En la sesión de tarde, en el Auditorio del Ayuntamiento de Logroño y con un público de unas 500 personas, tuvo lugar un acto oficial de inauguración que combinó la divulgación de la química con la música. El acto comenzó con un vídeo del Año Internacional de la Química⁵ y una presentación del Vicerrector de Investigación de la Universidad de La Rioja, profesor Eduardo J. Fernández. A continuación el Presidente de la RSEQ, profesor Nazario Martín, impartió la conferencia “2011, una odisea de la química y de la mujer en la ciencia”. La jornada se cerró con un concierto de la orquesta riojana de plectro *La Orden de la Terraza*⁶ (Figura 4) que interpretó piezas de diversos compositores como Javier Riba, Yasuo Kuwahara, Amedeo Vives y Manuel de Falla entre otros.

Con el fin de acercar la química a los niños y jóvenes preuniversitarios durante el mes de marzo de 2011 se llevó a cabo la actividad *Soy químico por un día* para alumnos de 4º de la ESO, consistente en varias prácticas sencillas de química en los laboratorios de la Facultad de Ciencias con una duración de dos horas y guiados por monitores expertos y profesores de Química de la UR. Las prácticas realizadas fueron:

- Análisis de vitamina C en zumos y refrescos.
- Tinción de algodón con índigo (colorante de los pantalones vaqueros).



Figura 3. Niños y familiares asistiendo al taller de química en la Casa de las Ciencias de Logroño.



Figura 4. La Orden de la Terraza en pleno concierto de inauguración del AIQ-2011 en el auditorium del ayuntamiento de Logroño.

- Construcción de una pila de aluminio (encendiendo un led) y electrolisis de agua salada con el cargador del móvil.
- Síntesis de un polímero de material inorgánico y orgánico (pelota saltarina).

Participaron 785 alumnos de 4º de ESO de 28 centros escolares de toda La Rioja entre los días 10 de marzo y 1 de abril de 2011. Además de la financiación del proyecto FECYT y de la Universidad de La Rioja, se contó con la colaboración de la Consejería de Educación del Gobierno de La Rioja. Esta actividad tuvo fuerte presencia en los medios de comunicación locales incluyendo un video⁷ y diferentes artículos en función del Centro de Educación Secundaria que asistía (Calahorra,⁸ Nájera,⁹ Santo Domingo, Arnedo,¹⁰ Haro y Logroño¹¹). La actividad fue apreciada tanto por alumnos como profesores de secundaria y quedó también reflejada a través del humor gráfico de un conocido periodista local (Figura 5).

También se realizó durante el mes de marzo la actividad *Química en familia* para familias enteras. Durante cuatro sábados, en horario de 11 a 13 horas, se realizaron las prácticas anteriormente indicadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias en las que participaron unos 150 niños entre 7 y 14 años acompañados de sus familias (Figura 6).

Continuando las actividades riojanas del AIQ, durante dos jornadas en abril y mayo de 2011 se recibieron en la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Rioja a 104 alumnos escogidos de 2º de bachillerato de diferentes centros de enseñanza de La Rioja. Los alumnos a lo largo de tres horas recibieron unas charlas divulgativas y realizaron prácticas tutela-



Figura 5. Tira de humor gráfico publicada en el diario La Rioja a cargo de Carlos Sacristán (Tris).



Figura 6. Padres e hijos disfrutando de una mañana de sábado con mucha química.

das de química en los laboratorios docentes de la UR. En estas *Jornadas de acercamiento a la Química* participaron 23 profesores y becarios de investigación del Departamento de Química y fueron financiadas por la Facultad de Ciencias de la UR y la Sección Territorial de La Rioja de la R.S.E.Q. Estas *Jornadas de acercamiento a la química* se ha realizado en los últimos años y ha contado con la colaboración entusiasta de profesores y estudiantes de doctorado del Departamento de Química de la UR, siendo, además, un excelente punto de encuentro con profesores de Educación Secundaria.

Como colofón de las actividades realizadas en La Rioja con motivo del AIQ-2011 se programó en los meses de octubre y noviembre de 2011 un ciclo de conferencias titulado *La química y la calidad de vida*, impartido por prestigiosos investigadores y divulgadores de la química (Figura 7). En la tabla 1 se detallan los conferenciantes y las conferencias que fueron impartidas en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática.



Figura 7. El profesor Ernesto Carmona en el inicio de su interesante conferencia.

Tabla 1. Ciclo *La Química y la calidad de vida*.

Título	Ponente	Fecha
Química luminosa: origen y aplicaciones de la fluorescencia.	Ulises Acuña Fernández Instituto "Rocosalano", CSIC, Madrid	20 octubre 2011
La química, la catálisis y la vida	Ernesto Carmona Guzmán Instituto de Investigaciones Químicas, Universidad de Sevilla-CSIC	27 octubre 2011
La tradición científica: un pilar del desarrollo de las sociedades modernas. Reflexiones desde la Química	José Barluenga Mur Instituto de Química Organometálica, Universidad de Oviedo	3 noviembre 2011
Química gastronómica	Claudi Mans i Teixidó Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, Universidad de Barcelona	14 noviembre 2011

Además de las actividades apuntadas más arriba, también se ha colaborado con la Casa de las Ciencias del Ayuntamiento de Logroño en talleres y actividades varias con motivo del AIQ-2011. Entre estas actividades se puede destacar la exposición *Entre moléculas*, producida por el CSIC, y que estuvo en Logroño entre los meses de octubre de 2011 y enero de 2012 y a cuya presentación acudió la decana de la Facultad.

Conclusiones

Durante este año de 2011 se ha hecho un enorme esfuerzo para acercar la química a la sociedad riojana. Como se ha indicado más arriba el objetivo principal eran los más jóvenes como cambiadores de esas ideas quimiofóbicas y potenciales futuros habitantes de nuestras aulas. A nivel cuantitativo se puede concluir que se han conseguido los objetivos propuestos, cientos de chicos y chicas han pasado por los laboratorios de química y cientos de ciudadanos han escuchado las bondades de nuestra ciencia y su preocupación por mejorar la vida humana en todas sus facetas.

Queda mucho por hacer, pero estos esfuerzos en divulgar y acercar la ciencia a la sociedad siempre son positivos. Incluso se puede apuntar que la matrícula de los nuevos alumnos del Grado en Química en la Universidad de la Rioja ha subido en torno a un 13% en el curso actual 2012-13. Lo importante también ha sido concienciar a un grupo, pequeño pero animoso, de químicos de La Rioja de que la divulgación de nuestra ciencia merece la pena y que hay que seguir adelante más allá de nuestro Año Internacional de la Química 2011. ¡Qué no decaiga el espíritu AIQ!

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos los profesores, personal de administración y servicio y estudiantes de la UR que han colaborado desinteresadamente en la organización y desarrollo de estas actividades, al Departamento de Química, a la Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática y a la Unidad de Cultura Científica de la UR. La financiación ha sido concedida principalmente por la FECYT (FCT-10-909), la Universidad de La Rioja (Extensión Universitaria), el Ayuntamiento de Logroño, la Consejería de Educación del Gobierno de La Rioja y la Real Sociedad Española de Química a través de su sección territorial en La Rioja.

Bibliografía

1. <http://goo.gl/CDjEk>, visitada el 22/11/2012.
2. <http://tinyurl.com/br9gq3h>, visitada el 22/11/2012.
3. Ver Noticias de la RSEQ, *An. Quím* **2011**, *107*, 198–199.
4. <http://goo.gl/DDQig>, visitada el 22/11/2012.
5. <http://www.youtube.com/watch?v=1MVnF0RYXpU>, visitada el 19/11/2012.
6. <http://www.laordendelaterraza.com>, visitada el 22/11/2012.
7. <http://goo.gl/f438M>, visitada el 22/11/2012.
8. <http://goo.gl/f7sJy>, visitada el 22/11/2012.
9. <http://goo.gl/hV5Bl>, visitada el 22/11/2012.
10. <http://goo.gl/baL7C>, visitada el 22/11/2012.
11. <http://goo.gl/P6hgP>, visitada el 22/11/2012.

**La página web
de la RSEQ
se moderniza**



Visítanos en: www.rseq.org

Una propuesta de divulgación científica: actividades festivas para niños y jóvenes... ¡cumple con la química!

Gabriel Pinto, María Luisa Prolongo-Sarria

Resumen: En este artículo se realiza una reflexión y discusión inicial sobre el interés y la problemática de la divulgación científica, y particularmente de la química. Se exponen ideas para la celebración de eventos festivos infantiles y juveniles con experimentos y actividades científicas. Para ello, se proponen experiencias a realizar, así como sus fuentes, y ejemplos de desarrollo de este tipo de eventos. Finalmente, se exponen las conclusiones a las que llegaron los autores tras la realización práctica de actividades de este tipo. Se considera que, llevadas a cabo de forma adecuada, estas celebraciones pueden servir para fomentar la curiosidad e introducir a niños y jóvenes en distintos ámbitos de la ciencia.

Palabras clave: Divulgación científica, química del consumidor, formación científica de niños, fiestas científicas, experiencias prácticas.

Abstract: In this paper an initial discussion on the interest and problematic of scientific (particularly chemistry) popularization is shown. Ideas for the celebration of young people and children's parties by means of scientific experiments and activities are expressed. Different experiences to perform, as well as their sources, and examples of development of such events are proposed. Finally, conclusions reached by authors after the practical realization of this kind of activities are presented. It is considered that these celebrations, carried out properly, can be a focus to interest children and young people in the curiosity and in the fields of science.

Keywords: Popular science, consumer chemistry, science education for children, scientific parties, experiments.

Introducción

La divulgación científica entre los distintos colectivos sociales es un ámbito que cada día alcanza mayor interés por diversas razones. La importancia de divulgar la química tanto dentro como fuera de las aulas se discutió en un artículo anterior,¹ donde se planteaban también algunos de los objetivos principales y ejemplos concretos para realizar trabajos experimentales en ferias científicas.

La multiplicación en los últimos años de experiencias científicas divulgativas en una gran amplitud de acciones (certámenes, proyectos, concursos, ferias, efemérides, museos científicos...) ² ha llevado a un desarrollo espectacular de posibilidades y de ejemplos.

Una interesante reflexión en torno al tema puede encontrarse en el trabajo de Mans,³ así como en los de otros autores que colaboraron en la edición del libro de la citada referencia.

Existe cierta controversia en torno a la conveniencia o no de las actividades de divulgación científica. Así, por ejemplo, hay profesores que indican que aspectos como los que presentan una "química espectacular" basada en cambios de colores, emanaciones de gases, explosiones..., no son acordes con la práctica habitual de esta ciencia en docencia, en investigación ni en las empresas, por lo que consideran que pueden ofrecer una imagen distorsionada e incluso negativa.

Los autores de este trabajo consideramos que, en líneas generales, y con las debidas cautelas (adecuada preparación, rigor acorde a la edad y formación de los participantes, precaución, claridad de objetivos, oportunidad de las distintas actividades...), las experiencias divulgativas sobre ciencia, y en particular sobre la química, pueden ser altamente positivas. En concreto, en este trabajo se presentan iniciativas realizadas en un entorno no muy frecuente, pero que puede tener una relativa importancia, como es la celebración de una fiesta infantil o juvenil, por ejemplo de cumpleaños, con experiencias científicas.

Parte del subtítulo del trabajo ("¡cumple con la química!") está basado en un lema ("cumple con la ciencia") que el Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid incluye en sus páginas web ⁴ para anunciar una propuesta de celebración para niños. Dicho lema alude a la necesidad de "cumplir" con la formación científica y a la abreviatura popular de la palabra "cumpleaños". En el caso concreto de este artículo, lo entendemos como estas dos acepciones, pero también con el posible "compromiso" de un docente, investigador, o profesional en general de la química, que pudiera tener la ocasión de animar una fiesta o evento "haciendo química" en su entorno familiar o social.

La idea de realizar este trabajo surgió cuando los dos autores comentamos el hecho de que, durante el mismo fin de semana, habíamos animado, con diversas demostraciones químicas, unos cumpleaños infantiles en nuestras respecti-



G. Pinto¹

M. L. Prolongo Sarria²

¹ E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 28006 Madrid.

C-e: gabriel.pinto@upm.es

² Departamento de Física y Química, I.E.S. Manuel Romero, Villanueva de la Concepción, 29230 Málaga.

C-e: marisaprolongo@hotmail.com

Recibido: 23/08/2012. Aceptado: 15/10/2012.

vas familias. La conclusión fundamental a la que llegamos, habiendo partido de dos iniciativas independientes, fue que colaborando a que los niños y jóvenes disfruten celebrando una fiesta, se puede ayudar también a que disfruten de la química y a que se interesen por esta ciencia, a la vez que se fomenta su curiosidad.

En la sociedad moderna la importancia de la cultura del ocio es incuestionable, lo que hace que hayan surgido multitud de iniciativas para enseñar desde pequeños a los niños a disfrutar del ocio de una manera divertida y, a la vez, educativa.

Está socialmente admitido que una manera óptima de disfrutar del ocio es la lectura de un buen libro, la audición de música, la visita a una pinacoteca... pero con frecuencia no es considerado el hecho de que entender lo que ocurre a nuestro alrededor, saber interpretar los fenómenos, conocer por qué ocurre un hecho o el funcionamiento del cuerpo u objetos que nos rodean puede ser también muy gratificante y enriquecedor.

Las actividades de tipo divulgativo pueden hacer reflexionar a los niños y jóvenes sobre lo que es científico y lo que no lo es, si algo que se comenta es real o es imposible que suceda, etc. En resumen, vendrían a constituir una formación de lo que hoy en día se conoce como ciencia (química en nuestro caso) del consumidor.

La idea de celebración de eventos infantiles centrados en aspectos científicos no es original. Por ejemplo, existen empresas cuya actividad principal es precisamente esa. Así, *Science for you* es una empresa española que produce, desarrolla y comercializa juguetes científicos en varios países.⁵ Está asociada al Parque Científico de Madrid, donde se encuentra ubicada y organiza también campamentos científicos, fiestas de cumpleaños y talleres de áreas específicas (física, biología, química, geología y energías renovables) en universidades, escuelas o empresas. Además, desarrolla talleres de formación para animadores científicos. En la Figura 1 se muestra una ilustración de la información que ofrece esta empresa en sus páginas web.



Figura 1. Detalles de las páginas web de una empresa de animación científica.⁵

En otro entorno, concretamente en Argentina, desde hace una década, la empresa *Ciencia en Acción* se dedica a la animación de cumpleaños y realización de talleres, desarrollando juegos atractivos para público de distintas edades.⁶ De acuerdo a la información facilitada por esta empresa, “los cumpleaños científicos son momentos de asombrosa diversión, cien por cien participativos, donde todos los chicos juegan con una gran variedad de experimentos y muy atractivos visualmente”. El lema para anunciar sus servicios es “¿donde el científico sos vos?” y aluden a la originalidad de que los experimentos se los pueden llevar los niños para seguir jugando en casa. Para evitar la confusión, y de paso ofrecer más información,

se indica que en España existe una iniciativa con el mismo nombre (*Ciencia en Acción*), que lleva realizando, de forma ininterrumpida desde el año 2000, un certamen anual de experiencias divulgadoras en diversos ámbitos de la ciencia. En las páginas web de dicha iniciativa se recogen tanto las experiencias seleccionadas en las distintas convocatorias como información sobre algunos divulgadores que han participado, lo que puede ser de interés para los lectores de este artículo.⁷

Como nota histórica y emblemática, ejemplo paradigmático de actividad divulgadora para niños y jóvenes, se cita la celebración de las Conferencias Juveniles de Navidad (*Christmas Lectures*) que inició Michael Faraday en 1825 en la *Royal Institution*. El propio Faraday impartió diecinueve y se han venido desarrollando anualmente hasta la actualidad (se interrumpieron sólo entre 1939 y 1942 por los efectos de la Segunda Guerra Mundial en Londres). Faraday consideraba que la formación científica ciudadana era una necesidad y que los científicos tenían la obligación moral de transmitir sus conocimientos al público general.⁸ No en vano, él mismo se introdujo en la *Royal Institution* y en la ciencia como actividad profesional gracias a su asistencia a unas conferencias que Davy impartió allí.

Ejemplos de experiencias químicas y físicas para una celebración infantil

En este apartado se exponen algunas actividades para desarrollar en una fiesta para niños de entre unos 6 y 12 años, edades donde se despierta la curiosidad y se van asentando los conocimientos. Se pretende, entre otros aspectos, que disfruten de la ciencia con sus amigos.

La mayor parte del material necesario es fácilmente accesible en el propio hogar o en tiendas de bajo coste. Material específico para este tipo de actividades también se puede encontrar en tiendas especializadas y a través de Internet.⁹ Incluso muchos experimentos están realizados principalmente con agua y con aire. Para niños de mayor edad se puede introducir el uso de fuego y algunos productos químicos que hay que manipular con cierto cuidado, como se verá en el siguiente apartado.

Buen número de las experiencias están suficientemente detalladas en el texto de Enric Ramiro.¹⁰ Este autor las experimentó, antes de su publicación, durante más de diez años, en numerosos centros educativos, escuelas de verano y universidades, recogiendo sesenta prácticas sobre aire y agua con el objetivo de que fueran divertidas pero también sencillas, baratas, seguras y muy claras para cualquier persona, con independencia de sus conocimientos. Su idea central es que las prácticas permitan una aproximación de forma rigurosa al mundo de los experimentos. Otros experimentos se detallan en la información recogida en el I.E.S. Victoria Kent.¹¹ Cuando proceden de otra fuente, se especificará la cita bibliográfica.

En todo caso, se resumen las experiencias y se incluyen algunas aportaciones realizadas por los autores, pero no se describen en detalle dado que se considera que están suficientemente explicadas en las fuentes aludidas y en otras a las que se puede acceder fácilmente mediante búsquedas ordinarias en Internet. Además, algunos de los experimentos son clásicos y bien conocidos.

Otro aspecto que cabe destacar es que, como siempre, no sólo en ciencia sino en la propia vida cotidiana, se recomien-

da que todas las experiencias se realicen con las adecuadas precauciones y medidas de seguridad. Por ejemplo, en la celebración que se expone en este apartado, se utilizaron “batas de laboratorio” de preparación casera, como se muestra en la Figura 2. En concreto, se realizaron unas batas sin mangas, especiales para un “cumpleaños científico” con tela de papel blanca y velcro (con objeto de no hacer costuras); finalmente, se puso un bolsillo, también cogido con velcro.



Figura 2. Niños de 6 y 7 años preparados para celebrar el “cumpleaños científico” con sus batas de laboratorio.

Un aspecto general de la mesa donde se centralizó la actividad que se expone aquí se recoge en la Figura 3. En los siguientes párrafos se indican las actividades realizadas y que se sugieren para llevar a cabo en eventos similares.



Figura 3. La coautora de este trabajo explicando una experiencia en una fiesta infantil.

Comprobación de las distintas propiedades elásticas de un material

Experiencia 1: Un globo atravesado por un pincho

Consiste en atravesar un globo inflado por un pincho de madera (se facilita la entrada mojando la punta del pincho con saliva o aceite). Para ello, se atraviesa el globo por donde las tensiones mecánicas del elastómero son menores, cerca del nudo y en el extremo opuesto (pezón del globo). El sorprendente resultado de este experimento se muestra en la Figura 4.

Comprobación del efecto de la presión atmosférica

Experiencia 2: El huevo que se traga la botella

Se introducen unas cerillas encendidas en una botella adecuada y después se coloca un huevo cocido y pelado en la boca de la botella. Por diferencia de presión, al apagarse las cerillas, entra el huevo en la botella, como se aprecia en la Figura 5.



Figura 4. Globo atravesado por un pincho de madera sin haber estallado.



Figura 5. Ilustración del experimento clásico en el que un huevo cocido se introduce en una botella al apagarse unas cerillas, por efecto de la presión atmosférica.

Experiencia 3: Cómo volcar un vaso lleno de agua sin mojarse

En un vaso lleno de agua que se tapa con una lámina de papel o cartulina se gira 180° rápidamente, de forma que no pueda entrar aire. Se observa que no cae el agua por efecto de la presión atmosférica.

Comprobación de la importancia de la tensión superficial del agua

Experiencia 4: Una botella “herida” no deja salir agua

Una botella llena de agua se tapa con una venda (por tanto con huecos). Al darle la vuelta se observa que no cae el agua. Se debe a que la propia tensión superficial del agua no la deja pasar.

Experiencia 5: No cabe ni un alfiler

Se llena una copa hasta arriba de agua (puede estar coloreada, por ejemplo con colorante alimentario). Nos fijamos en la superficie del agua que está curvada (menisco) y se van introduciendo con cuidado alfileres o monedas hasta que se derrame la primera gota. Al principio, se puede retar a los niños a que piensen cuántos alfileres o monedas se pueden introducir. Cabe una gran cantidad de estos objetos, observándose que la superficie del agua va cambiando en el menisco, de forma cóncava a convexa.

Experiencia 6: Pompas de jabón¹²

Se prepara una disolución de jabón o lavavajillas con agua a la que se puede añadir un poco de glicerina. La parte más ancha de un embudo o vaso de plástico (al que se habrá cortado previamente un trozo de la base) se introduce en la disolución y, por la parte más estrecha, se sopla para obtener las vistosas pompas.

Importancia del aire en la combustión**Experiencia 7: Coge un caramelo sin mojarte**

Consiste en poner un plato con un poco de agua (puede ser coloreada) y un caramelo u otro objeto. Por medio de una vela se secará el plato de agua y se coge el caramelo. Para ello, se enciende la vela y se tapa con un vaso; al consumirse el oxígeno se apaga la vela y entra el agua dentro del vaso: ya podemos coger el caramelo sin mojarnos. Esta experiencia se ilustra con dos imágenes en la Figura 6. Como se puede apreciar a través de buscadores por Internet, existe controversia (aspecto importante también para la discusión y reflexión sobre resultados científicos) sobre la explicación del fenómeno de ascensión del agua al apagarse la vela, dado que, aparte de consumirse oxígeno, se producen dióxido de carbono y agua, así como una importante variación de temperatura en el aire contenido en el vaso.



Figura 6. Ilustración de la experiencia 7: el agua asciende al consumirse la llama de la vela encerrada en el vaso.

Obtención de gas por una reacción química**Experiencia 8: Un guante de látex que se infla por una reacción química**

Al tapar un vaso que contiene vinagre con el guante de látex (con cierta cantidad de bicarbonato sódico), éste se infla por el dióxido de carbono que se genera por la reacción química entre el ácido acético y el bicarbonato sódico.

Experiencia 9: Agitación de burbujas y simulación de una “lámpara de lava”

Se introduce agua coloreada y aceite en una botella de vidrio. Cuando se añade una pastilla efervescente cae, atravesando la fase superior de aceite y, posteriormente, llega al agua, donde se disuelve y produce gas (CO_2) que asciende, creándose una agitación de burbujas. En el trayecto por la capa de aceite, el CO_2 arrastra pequeñas gotas de agua coloreada. Al llegar a la superficie, el gas se escapa del aceite y las gotas del agua, por su mayor densidad, vuelven a caer. Como ejemplo de la información audiovisual que puede obtenerse en Internet sobre el desarrollo práctico del tipo de experiencias incluidas en este trabajo, se recoge en una referencia un vídeo de la descrita aquí.¹³

Realización de un modelo de inspiración y espiración que simula los pulmones**Experiencia 10: Simulación de unos pulmones**

Para realizar el experimento (ver Figura 7) se necesita una botella de plástico de 2 litros cortada por la mitad, un guante de látex, dos pajitas de refresco, cinta aislante, tijeras y un par de globos. Se introduce una pajita dentro de otra, de manera que queden en forma de Y invertida, la punta más larga la sacamos por un agujero practicado al tapón de la botella y, en cada una de las otras dos puntas de la pajita, se pone un globo bien sujeto con cinta aislante. Por último, la parte cortada de la botella se tapa con el guante de látex. La pajita de la boca de la botella representaría la faringe, luego estaría la laringe y las ramificaciones serían la tráquea. Cuando el guante se estira entra aire a los globos y simula la inspiración. Cuando el guante se introduce en la botella, sale aire de los globos, simulando la espiración. Se pueden encontrar más detalles en una interesante página web donde, además, se informa de más experiencias.¹⁴



Figura 7. Simulación del funcionamiento de los pulmones según lo expuesto en la experiencia 10.

Búsqueda del centro de gravedad para que permanezcan objetos en equilibrio

Estas experiencias, como otras presentadas en este apartado, implican aspectos más relacionados con el ámbito de la física que de la química. Se han incluido por haberlas llevado a cabo en fiestas infantiles. Además, se considera que son

adecuadas para los objetivos generales de este trabajo, así como para plantear a los niños, en función de su edad, la distinción entre ambas ciencias.

Experiencia 11: El equilibrista

En una bola de poliespán o en un tapón de corcho se ponen dos tenedores a sus lados y un palillo en el extremo inferior, de tal manera que se pudiera mantener el sistema en equilibrio (se lo pueden poner los niños en su nariz, en su hombro...).

Experiencia 12: La lata de refresco en equilibrio

Se introduce un poco de agua o arena en una lata de refresco y permanecerá en equilibrio, sin caer, cuando se apoya con una inclinación determinada (ver Figura 8). Se debe a que un sólido está en equilibrio cuando la vertical que pasa por su centro de gravedad cae dentro de la base que lo sustenta.



Figura 8. Latas de bebida en equilibrio.

Comprobación de cómo actúan dos fuerzas: el peso y el empuje

Experiencia 13: El ludión o diablillo de Descartes

El ludión o diablillo de Descartes (ver Figura 9) es un juguete científico clásico que se puede adquirir en tiendas didácticas. También se puede realizar con un tubo de ensayo, un frasco o una bola hecha con lámina de aluminio. Se introduce en una botella llena de agua y cerrada. Cuando se aprieta la botella el “diablillo” se hunde porque, al entrar agua en su interior, por compresión, se hace más denso que el agua. Al soltar la botella, el aire se expande, saliendo agua del interior del “diablillo”, que se hace menos denso que el agua y, por tanto, se eleva hasta la superficie de la misma.¹⁵



Figura 9. Ilustración del juguete científico conocido como el “diablillo de Descartes”.

Comprobación de una reacción redox

Experiencia 14: Pintar con lejía

Consiste en pintar con un pincel mojado con lejía comercial (disolución acuosa de hipoclorito sódico) en hojas de colores. Se decolora el papel, como se observa en la Figura 10, por una reacción redox.



Figura 10. Palabras escritas con lejía en papeles de colores.

Preparación de un fluido no newtoniano

Experiencia 15: Maicena y agua¹⁶

Las propiedades de la maicena (harina de maíz) mezclada de forma adecuada con el agua son una diversión para los niños: cuando se introduce el dedo despacio, se hunde, y cuando se intenta hacer rápidamente, se encuentra que no es posible introducirlo. Cuando se ejerce una presión rápidamente sobre el líquido, las partículas de almidón se unen temporalmente en una masa firme, con la rigidez de un sólido. Es un ejemplo de un fluido no newtoniano, cuya viscosidad varía en función de la presión ejercida, como el material comercializado con el nombre de *Silly Putty*: en forma de esfera, bota elásticamente al dejarlo caer, pero se deforma si se apoya lentamente, por ejemplo en una mesa.⁹

Comprobación de que el aire puede desalojar al agua

Experiencia 16: ¿Cuánto aire cabe en tus pulmones?

En una palangana con agua se sitúa una garrafa llena de agua y volcada 180°. Se introduce en la garrafa un tubito y por el otro extremo del tubito sopla el niño; según la cantidad de aire que suelte en una espiración, el agua baja en mayor o menor medida de la garrafa.

Comprobación de que el aire ocupa volumen

Experiencia 17: Inflar un globo dentro de una botella

Al soplar sobre un globo colocado dentro de una botella de plástico, sujetado por la boca de la botella, se observa que no se puede inflar porque la botella está llena de aire. Sí se puede si se hace un pequeño orificio en la botella.

Experiencia 18: Un terrón de azúcar que no se disuelve “sumergido” en agua

Se coloca en un vaso pequeño un terrón de azúcar que se pega a la base con cinta adhesiva y se introduce el vaso, boca abajo, dentro de una cubeta con agua. Cuando sacamos el vaso (perpendicularmente), comprobamos que el azúcar está seco. No se moja el terrón porque el espacio ocupado por el aire en el vaso impide que contacte con el agua. En vez de terrón de azúcar se puede emplear una servilleta de papel.

Comprobación de diferentes densidades de líquidos

Experiencia 19: Agua y vino

Se llena un vaso pequeño con vino tinto (para que se vea mejor que si se tratara de vino blanco) y otro igual con agua. El vaso de agua se tapa con una tarjeta (son ideales las tarjetas bancarias o identificativas sin relieves en los números y letras), se gira 180° y se sitúa encima del vaso de vino. Se retira con cuidado la tarjeta hasta dejar una hendidura entre los dos vasos y se observa que el vino asciende y el agua baja, por su diferente densidad, en régimen laminar (Figura 11). Al cabo de unos minutos, los líquidos se encuentran en los vasos contrarios a los que estaban en un principio. Se puede discutir cómo la mezcla de los dos líquidos no es inmediata, aunque el agua es el componente mayoritario del vino. Se puede realizar también con aceite y agua.

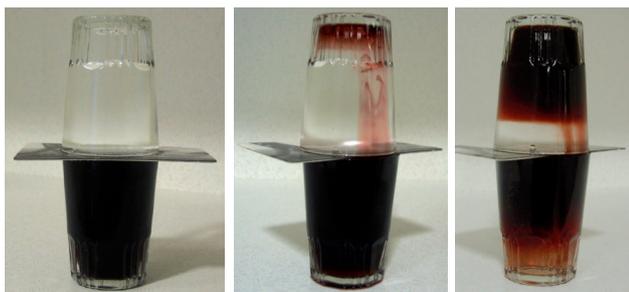


Figura 11. Fotografías de la experiencia 19 al ir avanzando (de izquierda a derecha) el tiempo.

Experiencia 20: Refrescos con diferente contenido de azúcar o edulcorante

En un recipiente con agua se sumergen diferentes tipos de latas de refresco (*light*, “zero” y con azúcar), que quedarán más o menos hundidas según su densidad.

Ejemplo de celebración científica

En este otro apartado se recogen brevemente las actividades desarrolladas en la celebración científica de un cumpleaños para jóvenes de entre unos 12 y 16 años, mayores por tanto que en el caso anterior. Igualmente, se pueden adaptar las experiencias propuestas a distintas edades. Como en el caso anterior, se indican a modo de fuente de inspiración y no tanto para que se lleven a cabo de una manera idéntica. Dado que en este caso se trata de jóvenes de mayor edad, se optó

por preparar a dos “monitoras” (ver Figura 12) que ayudaron en la realización y en la explicación de los experimentos.



Figura 12. El coautor de este trabajo preparando a dos “ayudantes” para una “celebración química”.

Realización de una reacción redox con ajo

Experiencia 21: Comprobación del efecto reductor de un antioxidante natural

Se forma una disolución acuosa con una pequeña cantidad de permanganato potásico. La propia formación de la disolución ya es sorprendente para los participantes, que se quedan perplejos al ver cómo al descender e irse disolviendo las partículas de la sal, van formando una estela de color violeta (ver Figura 13).

Se agita la disolución para homogeneizarla y, seguidamente, se añade un diente de ajo machacado. Mientras se agita, se observa que la disolución va cambiando de color hasta estabilizarse en un color amarillo, como se aprecia en la Figura 14.



Figura 13. Detalle de cristales de KMnO_4 disolviéndose en agua.

En este caso, se informa a los participantes que se trata de una reacción de oxidación y reducción (vocabulario que, según las edades, ya han estudiado con distinta profundidad), en la que el anión permanganato se reduce a catión Mn^{2+} . Actúan como reductores algunos componentes del ajo, como el ácido sulfónico que se produce por la descomposición de la alicina al machacar el ajo. Esta experiencia sirve también para

introducir el hecho de que el ajo se ha empleado tradicionalmente como planta medicinal y, en la actualidad, se anuncia como un “antioxidante” (es decir, “reductor”) natural y precursor de medicamentos. Dado que una explicación más detallada excedería los objetivos de este trabajo, se recomienda para ello la lectura del trabajo de García Gómez y Sánchez Muniz.¹⁷



Figura 14. Botellas (de izquierda a derecha) con agua, disolución acuosa de KMnO_4 y la misma disolución tras ser reducida con ajo.

Como se muestra en la Figura 14, se recomienda realizar la experiencia en una botella de plástico que se mantiene cerrada, para evitar el olor a ajo y favorecer el transporte posterior al laboratorio, donde se debería procesar la disolución final siguiendo el tratamiento habitual para este tipo de residuos.

Fabricación de materiales poliméricos

Experiencia 22: Preparación de una pelota “saltarina”

Existen distintas direcciones web donde se informa sobre la preparación de “pelotas saltarinas”, que normalmente se basa en la mezcla de bórax (tetraborato de sodio), accesible en droguerías especializadas, y cola blanca (cuyo componente principal es el acetato de polivinilo). También se puede partir de una mezcla comercial ya preparada en forma de polvo que, al mezclarse con agua en un molde, permite su fabricación.⁹ En todo caso, es una excelente oportunidad para comentar a los jóvenes sobre la importancia de la química en la preparación de materiales poliméricos y los tipos de éstos, destacando con esta experiencia los elastómeros.

Comprobación de la capacidad de absorción de agua por polímeros especiales

Experiencia 23: Preparación de nieve artificial

Se trata de otra demostración en la que se relaciona la química con la preparación de un polímero especial, en este caso superabsorbente de agua. Aunque se puede obtener directamente abriendo un pañal (una de sus aplicaciones principales), existe a nivel comercial poliacrilato sódico preparado convenientemente para que, al mezclarse con la cantidad adecuada de agua, se produzca, en segundos, y de forma sorprendente, la hidratación del polímero, obteniéndose un material con aspecto de nieve. De hecho, resulta curioso para los asistentes conocer que así se prepara la nieve artificial de las películas (ver Figura 15). Además,

al tocar la “nieve” así preparada, notan cierto frescor, producido por la evaporación del agua, lo que da pie para comentarles otros aspectos como el enfriamiento que se produce por la evaporación del agua. Cabe destacar que, dado que se aprecia un aumento de volumen espectacular al prepararse la “nieve”, se puede discutir con los participantes (según su edad y formación) algún aspecto adicional, como la ley de conservación de la masa. A título anecdótico, se puede adornar la experiencia si, previamente, se ha comentado con el niño homenajeado que exprese un deseo, como puede ser que, en pleno verano, se fabrique nieve. Recientemente se publicó un excelente trabajo sobre juguetes y polímeros superabsorbentes realizado por Gómez Crespo y Cañamero Lancha,¹⁸ donde se ofrecen más recursos educativos para estos curiosos materiales que forman hidrogeles.



Figura 15. Dos jóvenes disfrutando con la nieve artificial preparada con poliacrilato sódico y agua. En la copa de la izquierda se observa la “nieve” preparada tras añadir agua (hasta completar la copa) sobre una pequeña cantidad de polímero superabsorbente como la que se aprecia en la copa de la derecha.

Aplicación práctica de una reacción exotérmica

Experiencia 24: Bebidas autocalentables

Esta experiencia se puede plantear como ejemplo de que las reacciones químicas no siempre tienen como objetivo práctico transformar unas sustancias (reactivos) en otras (productos), sino que a veces es la absorción o desprendimiento de energía. Así, se puede terminar una sesión festiva con la explicación de cómo funciona una bebida autocalentable. Aunque no son demasiado populares este tipo de bebidas, son fácilmente accesibles tanto en ciertos establecimientos, como estaciones de servicio, como a través de Internet.¹⁹ Se ofrecieron más detalles del fundamento fisicoquímico de estos dispositivos en un artículo anterior.²⁰ Una ventaja adicional de esta experiencia es que puede permitir que los asistentes disfruten de un chocolate caliente para concluir o seguir disfrutando de la fiesta.

Conclusiones

En este trabajo se han propuesto experiencias llevadas a la práctica por los autores en eventos festivos para niños y jóvenes, con objeto de que puedan servir de inspiración y motivación a otros posibles divulgadores. Muchas de ellas son demostraciones bien conocidas en el ámbito de la divulgación científica. Algunas se ilustran en colecciones de vídeos como la que llevan

realizando desde hace un tiempo las profesoras Manuela Martín Sánchez y María Teresa Martín Sánchez,²¹ y la que se recoge en la página web del Centro de Ciencia Principia de Málaga.²²

Obviamente, caben infinitud de variaciones y de posibles experiencias a realizar. A modo de ejemplo, y pensando en que algún lector se anime a desarrollar actividades de este tipo en ciertas festividades, como la Navidad, emulando así a las *Christmas Lectures* de Faraday, antes mencionadas, ¿por qué no adornarlas con un cartel parecido al que se muestra en la Figura 16? Se podría sugerir a los participantes que identifiquen los elementos allí representados, que indiquen el significado de los números incluidos o que señalen por qué los símbolos de los elementos se han representado con un color u otro.

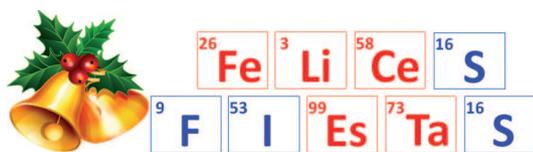


Figura 16. Ejemplo de cartel para ilustrar una actividad divulgadora de química en las fiestas de Navidad.

Las experiencias han sido altamente gratificantes, pues se ha apreciado que los niños y jóvenes interactúan a medida que se desarrollan las actividades, formulando múltiples preguntas e implicándose de una forma creativa y activa. También perciben que la química en particular, y la ciencia en general no son únicamente “asignaturas” que se estudian en su colegio o instituto, sino que tienen múltiples aplicaciones y forman parte de nuestro entorno cotidiano.



Figura 17. Asistentes a una fiesta científica trabajando afanosamente en sus experimentos.

En la fotografía recogida en la Figura 17 se aprecia cómo los niños y la “directora” de la fiesta trabajan afanosamente y con interés en el desarrollo de distintas actividades, ante la atenta mirada de un padre. En este sentido, cabe destacar que no sólo los niños asistentes, sino también a veces los padres y otros familiares, participan en la experiencia, con lo que se extiende el objetivo divulgador de la actividad.

En resumen, desde aquí se anima a los profesionales y aficionados a la química a aprovechar eventos y reuniones con niños y jóvenes para transmitirles el interés y gusto por esta ciencia.

Agradecimiento

Se agradece la ayuda recibida por la Universidad Politécnica de Madrid, a través del proyecto de innovación educativa “*Agentes activos y catalizadores: nuevos recursos educativos para la química*”. Se dedica este artículo a Guillermo Prolongo Gallardo y Ana Prolongo Gallardo, sobrinos de la coautora, y a Elena Lucía Pinto Pulido y Elisa María Pinto Pulido, hijas del coautor. Aparte de ofrecerse gentilmente para ilustrar las imágenes, su ilusión y participación en diversas fiestas y actividades científicas fueron la inspiración fundamental para abordar el trabajo.

Bibliografía

1. G. Pinto, *An. Quím.* **2003**, 99, 4, 63–66.
2. G. Pinto Cañón, M. Martín Sánchez, M. T. Martín Sánchez, M. L. Prolongo Sarria, en *Enseñanza y divulgación de la química y la física* (Eds. G. Pinto Cañón, M. Martín Sánchez), Garceta Grupo Editorial, Madrid, **2012**, pp. 25–32.
3. C. Mans Teixidó, en *Enseñanza y divulgación de la química y la física* (Eds. G. Pinto Cañón, M. Martín Sánchez), Garceta Grupo Editorial, Madrid, **2012**, pp. 17–23.
4. Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid: <http://www.mncn.csic.es/>, visitada el 22/10/2012.
5. *Science for you*: <http://www.science4you.es/>, visitada el 22/10/2012.
6. Ciencia en Acción (empresa argentina de eventos científicos): <http://www.cienciaenaccion.com>, visitada el 22/10/2012.
7. Ciencia en Acción (iniciativa española de certámenes de divulgación científica): <http://www.cienciaenaccion.org>, visitada el 22/10/2012.
8. A. Moreno González, en *Michael Faraday: la historia química de una vela* (Ed. William Crookes), Nivola, Madrid, **2004**, pp. 7–11.
9. *Educational Innovations*: <http://www.teachersource.com/>, visitada el 22/10/2012.
10. E. Ramiro Roca, en *La maleta de la ciencia. 60 experimentos de aire y agua y centenares de recursos para todos*, Grao, Barcelona, **2010**.
11. El rincón de los experimentos (I.E.S. Victoria Kent de Torrejón de Ardoz, Madrid): <http://bit.ly/UpGsE>, visitada el 22/10/2012.
12. *Science Museum* de Londres (actividades para educadores): <http://bit.ly/RpZDJv>, visitada el 22/10/2012.
13. Experimentos mi mundo; lámpara de lava: <http://bit.ly/UsPpwC>, visitada el 22/10/2012.
14. Fq experimentos; experimentos caseros de física y química: <http://bit.ly/TbhlDm>, visitada el 22/10/2012.
15. La web de la física; el diablillo de Descartes: <http://bit.ly/hUUUq3>, visitada el 22/10/2012.
16. E. Pérez Vergara, P. Ibáñez Pérez, en *Los experimentos de Flipy. El científico loco*, Aguilar, Madrid, **2009**.
17. L. J. García Gómez, F. J. Sánchez Muniz, en *Revisión: Efectos cardiovasculares del ajo (Allium sativum)*. ALAN. [online]. set. **2000**, Vol. 50, no. 3, pp. 219–229. Disponible en la dirección web: <http://bit.ly/RgTpW8>, visitada el 22/10/2012.
18. M. A. Gómez Crespo, A. Cañamero Lancha, *Rev. Eureka Enseñ. Divulg. Ciencias.* **2011**, 8, 460–465.
19. 2Go autocalentable; caliente con un click: <http://bit.ly/T7436n>, visitada el 22/10/2012.
20. M. L. Prolongo, G. Pinto, *Educ. Quím.* **2010**, 7, 4–14.
21. M. Martín Sánchez, M. T. Martín Sánchez, en Experimentos sencillos: <http://bit.ly/PMFEIE>, visitada el 22/10/2012.
22. Centro de Ciencia Principia de Málaga. Experimentos: <http://bit.ly/RXpmfc>, visitada el 22/10/2012.

La química en la web

El material disponible de carácter divulgativo y/o educativo y con recursos diversos (experimentos, problemas, ejercicios, unidades didácticas, etc.) es abundante en la web. Esta sección recomienda sitios de interés e iniciativas de distintas índoles. Teniendo en cuenta la situación política actual de la ciencia y las enseñanzas en España, también se incluyen algunos artículos de interés sobre estos temas publicados en la web. Hacemos menciones especiales a los últimos galardonados con los Premios Nobel en materias científicas y a actividades relacionadas con la cristalografía.

Sitios web recomendados

La página web de la RSEQ se moderniza

Los contenidos y secciones de nuestra página web (www.rseq.org) se han modernizado con la intención de convertirse en una herramienta útil y funcional para los socios, y un escaparate de la química que se hace en España contribuyendo así a su visibilidad e impacto. Así pues, el socio podrá encontrar: noticias, calendario de eventos, ofertas de empleo, menú de socios, grupos especializados, secciones territoriales, etc. También, en un futuro próximo, se dispondrá de un acceso privado para socios. Como no podía ser menos, los artículos publicados en *Anales de Química* estarán disponibles, pudiéndose consultar ya los últimos números. Se dispone también de la opción de suscripción gratuita al boletín, facilitando así la difusión de nuestras actividades.

Animamos a todos los socios a consultar habitualmente la página web y a dotar de contenidos a estas secciones.



A hombros de gigantes

Programa semanal de radio dedicado a la ciencia con frecuente mención a la divulgación de la química. Se emite en las madrugadas del domingo al lunes entre las 1:00 y las 3:00 en RNE. Hay varias secciones: entrevista con un científico relevante, biografías de científicos, avances en biomedicina, la ciencia en el cine, noticias científicas de actualidad, conociendo los centros del CSIC, las mujeres en la ciencia, historias de naturaleza y la ciencia de lo cotidiano. Frecuentemente se tratan temas relacionados con la química, especialmente en el espacio *La ciencia de lo cotidiano*, con la participación de Bernardo Herradón; y en la que se han tratado temas tan diversos como el desarrollo de fármacos, la energía (pasado, presente y futuro), la ciencia del

lavado de ropa, la ciencia del cuidado de nuestra imagen y la ciencia en el deporte. Durante el año 2011, se enumeraron conmemoraciones químicas de la semana en cada programa (desde marzo de 2011). Los *podcast* (actuales y antiguos) se pueden descargar de la web, en <http://bit.ly/ptKKjO>.

Los avances de la química y su impacto en la sociedad

Curso de divulgación que se celebrará entre el 10 de enero y el 21 de marzo de 2013, constandingo de 11 conferencias y dos mesas redondas (<http://bit.ly/RcmZEI>). En el curso se tratarán aspectos de cómo la química afecta a nuestras vidas; exponiendo ejemplos que demuestran que la química proporciona la mayoría de las comodidades de nuestra vida cotidiana, con aplicaciones en salud humana, alimentación, energía, protección ambiental, materiales útiles, etc.

Didáctica de la química y la vida cotidiana

Esta web (<http://bit.ly/8mrJro>) contiene material útil para el profesorado de ESO y bachillerato. En esta web se puede obtener información sobre el *Premio Salvador Senent* para trabajos sobre enseñanza o historia de la física o la química.

Foro Química y Sociedad

El Foro Química y Sociedad es una entidad formada por diversas organizaciones (entre ellas la RSEQ, el CSIC, la Confederación Española de Decanos de Química, FEIQUE, ANQUE y el Colegio de Químicos). Contiene numerosa información sobre la industria química y otros aspectos relacionados con la divulgación y enseñanza de la química (<http://www.quimicaysociedad.org/>).

Investigadoras en física nuclear. Calendario 2013

Iniciativa de la Universidad de Barcelona que sirve para recordar a grandes científicas: Marie Curie, Lisa Meitner, Irene Joliot-Curie, María Goeppert-Mayer y Marguerite Perey, entre otras. El calendario se puede descargar en formato PDF en <http://bit.ly/YvNKcK>.

Totally synthetic

Blog gestionado por Paul Doherty en el que se comentan artículos recientes en síntesis orgánica, especialmente de productos naturales. Escrito en inglés (<http://totallysynthetic.com/blog/>).

Carnavales de química

Los carnavales de química es una iniciativa en la web en la que se publican *posts* relacionados con la química. Cada edición es gestionada por un *bloguero* distinto y tiene una duración aproximada de un mes. Las últimas tres ediciones se han alojado en los siguientes sitios:

XVIII Carnaval de química

La edición de octubre de 2012 fue alojada en el blog *XDCiencia*, con un total 16 entradas de temática variada (<http://bit.ly/UdnCk8>).

XIX Carnaval de química

Esta edición fue alojada por el blog *La estupidez es extremadamente interesante*; acogiendo 28 entradas durante el mes de noviembre de 2012 (<http://bit.ly/RooFNY>).

XX Carnaval de química

El blog *La ciencia de Amara* acoge esta edición del carnaval durante el mes de diciembre 2012. Con el lema *Química en el medio ambiente* ha publicado 14 artículos hasta el 11 de diciembre, no sólo de aspectos relacionados con el medio ambiente, sino también de historia, química general, toxicología, alimentación, etc. (<http://bit.ly/VsEJiy>).

Posts de química de especial interés publicados recientemente en la web

¿Natural? ¿Sintético? ¿Todo es química!

Publicado en el blog *Educación química* (<http://bit.ly/UH263M>). Se reflexiona sobre ciertos términos (natural, sintético, artificial) que se usan frecuentemente, y de manera equivocada, en la vida cotidiana y en los medios de comunicación. Una creencia habitual es asociar el término “natural” con algo bueno y saludable; y, además, este término es antitético con el de “sintético” (como sinónimo de “artificial”, lo que no es absolutamente correcto), siendo éste sinónimo de malo e insalubre. Un error común es que los materiales sintéticos son objeto de la química; y esta errónea percepción perjudica la visibilidad social de la química. En el artículo se discuten como los términos “natural”, “sintético”, “artificial” son aplicados a nuestra vida cotidiana, aclarándose desde el

punto de vista de la química, demostrando que no hay diferencia entre los términos.

¿Quién intoxica a quién?

Excelente artículo publicado en el blog *Dimetilsulfuro* (<http://bit.ly/SAoTOS>). Es un riguroso estudio de las características que debe tener la investigación en la cuantificación de sustancias tóxicas, relacionando los datos científicos con los legales. Basándose en el rigor y el método científico, este *post* desmonta la campaña de *Greenpeace* contra alguna empresa textil. Se aconseja su lectura y que cada uno saque sus conclusiones.

Aconitina: la reina de los venenos

Artículos sobre este importante alcaloide y su relevancia histórica. Publicado en el blog *Ese punto azul pálido* (<http://bit.ly/SiDpMi>).

Carta de un químico a Leo Messi

Publicado en el blog *Scientia* (<http://bit.ly/Q76eeP>). Se discute el papel que la publicidad engañosa tiene sobre la (mala) imagen de la química. Tomando como punto de partida un anuncio que publicita un “pan natural”, se desmonta la creencia de que todo lo (falsamente) natural es mejor, destacándose la importancia que la química tiene en la mejora de los alimentos.

Ciencia en Acción

Es un concurso anual de divulgación científica con una participación muy numerosa de estudiantes y profesores preuniversitarios, profesores universitarios, investigadores y divulgadores. Los trabajos se pueden presentar en trece modalidades, entre ellas *Demostraciones en química*. En una primera fase, alrededor de 150 concursantes (de todas las



Participantes y miembros de los jurados de Ciencia en Acción

modalidades) son seleccionados, los cuales acuden a la fase final, que se celebra durante un fin de semana de octubre, generalmente en un museo de ciencia. La fase final constituye la mayor feria de la ciencia en España, con miles de asistentes (en la imagen están algunos participantes y miembros de los jurados). La fase final de la edición de 2012 se celebró los días 5-7 de octubre en el Museo de CosmoCaixa (Alcobendas, Madrid). Los ganadores en la modalidad *Demostraciones en química* fueron las presentadas por estudiantes y profesores del colegio *El Carmelo* (Granada; primer premio), del IES *Manuel Romero* (Villanueva de la Concepción, Málaga; mención de honor) y por la empresa *Experiencia* (Barcelona). También hay que destacar que la obra de teatro “*Estáis hechos unos elementos. Una historia teatralizada de la Tabla Periódica*”, escrita por Antonio J. Marchal (Universidad de Jaén), con puesta en escena de Noelia Rosa, fue la ganadora en la modalidad *Puesta en escena* (<http://bit.ly/Zesml7>). El blog *Matemáticas y sus fronteras* publicó dos artículos sobre el concurso, que se pueden ver en <http://bit.ly/R01FiD> y <http://bit.ly/SJC7f4>.

La ciencia de cada día: el cuidado de nuestra imagen

Publicado en la web *Química y sociedad* (<http://bit.ly/TqJmZA>) aborda la ciencia, especialmente la química, que está detrás de la perfumería, protectores solares, agentes anti-arrugas, moda, etc.

La sinfonía del plomo

Publicado en el blog *Ese punto azul pálido* (<http://bit.ly/VlnA4N>). Partiendo de la supuesta causa de la muerte de Beethoven, se hace un repaso histórico a la intoxicación por plomo: sus causas, el efecto que produce y los personajes históricos que lo padecieron.

Todo lo que quisiste saber del enlace químico y no te atreviste a preguntar

Publicado en el blog *El cuaderno de Calpurnia Tate* (<http://bit.ly/YYZ8hx>). Explica de manera clara y didáctica, accesible para estudiantes de ESO y bachillerato, las características y diferencias entre los enlaces iónico, covalente y metálico.

Un esclarecedor texto sobre la importancia de la química en nuestra vida diaria

Reseña del libro *Los avances de la química* escrita por Álvaro Martínez del Pozo para la web Madri+d y en Madridario.es (<http://bit.ly/SKpKhu>).

Una pasión y una misión. ¿Por qué divulgar química?

Escrito por un joven licenciado en química, futuro profesor de enseñanza secundaria e investigador, el *post* transmite, de manera convincente, las razones por las que debemos estar implicados en tareas de difusión de la cultura científica. Publicado en el blog *El cuaderno de Calpurnia Tate* (<http://bit.ly/XS0WXX>).

La cristalografía en la web

Como es conocido, 2014 ha sido declarado por la ONU como el *Año Internacional de la Cristalografía* (IYCr). En

esta sección nos haremos eco de algunas novedades en esta ciencia estrechamente relacionada con la química.

Web del IYCr

La página web <http://www.iucr.org/iycr>, gestionada por la *International Union of Crystallography* contiene actividades previstas en IYCr.

El misterio de los cristales gigantes

Documental describiendo las investigaciones del grupo de Juan Manuel García Ruiz sobre cristales gigantes (principalmente de yeso) en diversos lugares del mundo, como en las minas de Segóbriga, la geoda de Pulpí (Almería), la mina El Teniente (Chile) y las cuevas de Naica (México). El documental es magnífico, tanto desde el punto de vista artístico, como de entretenimiento y rigor científico. Más información en <http://trianatech.com/>.

The birth of X-ray crystallography

Artículo de J. M. Thomas describiendo las investigaciones que condujeron a W. Lawrence Bragg al descubrimiento de la ley de la refracción que lleva su nombre y que acaba de cumplir 100 años. Publicado en *Nature* **2012**, *491*, 186–187 (<http://bit.ly/TvSDt5>).

Premios Nobel 2012

Los Premios Nobel científicos de este año han sido otorgados a John B. Gurdon y Shinya Yamanaka (Fisiología o Medicina, por sus investigaciones en la reprogramación de células adultas), a Serge Haroche y David J. Wineland (Física, por sus investigaciones experimentales de fenómenos cuánticos), y a Robert J. Lefkowitz y Brian K. Kobilka (Química, por sus investigaciones en receptores acoplados a proteínas G, GPCRs). Se puede obtener más información en <http://www.nobelprize.org/>. La relevancia de las investigaciones de los galardonados se discutió en el programa *A Hombros de Gigantes* (RNE) del 15 de octubre de 2012 (<http://bit.ly/TU8pCe>). Las investigaciones sobre los GPCRs realizadas por Lefkowitz y Kobilka fueron destacadas en el *post GPCRs y el Premio Nobel de Química 2012*, publicado minutos después del anuncio (<http://bit.ly/QUvfHI>), en el artículo de Álvaro Martínez del Pozo, “*Ver, oler, saborear, sentir... la comunicación celular*” (<http://bit.ly/TyENsu>), y su relevancia en el diseño de fármacos se discutió en el programa *A Hombros de Gigantes* (RNE) del 10 de diciembre de 2012 (<http://bit.ly/TU9Fpd>).

Redes sociales

Feelsynapsis

Es una red social en español en la que participan científicos de todas las áreas. En este sitio web se publican artículos, anuncios de diversa índole y ofertas de trabajo. Feelsynapsis convoca un concurso de microrrelatos científicos (<http://bit.ly/m7AhBg>) y edita la revista *Journal of Feelsynapsis* (JoF, <http://feelsynapsis.com/jof/index.html>), posiblemente la revista española de divulgación científica

de más calidad. En este trimestre se han publicado los números 6 y 7 de la revista, que se pueden descargar de la web. La descarga es gratuita.

Grupo de la RSEQ de Facebook

Grupo abierto en el que se cuelga información de interés, tales como enlaces a artículos científicos, noticias de política científica, anuncios de becas y contratos de trabajo, congresos, etc. Para acceder a cualquier cuenta de Facebook, es necesario crear el perfil en esta red social. Cualquier miembro del grupo puede colgar la información que considere pertinente relacionada con la química y la ciencia. El grupo continúa creciendo y a 11 de diciembre de 2011 está formado por 805 miembros (<http://on.fb.me/zORV36>).

Grupo de Química de Facebook

Grupo de discusión y exposición sobre los avances de la química. Principalmente, pero no exclusivamente, se mencionan artículos publicados recientemente en revistas científicas (<http://on.fb.me/ArlUwb>).

Página *Todo es química-2012* de Facebook

Se enlazan y comentan artículos de divulgación, historia de la química y biografía de químicos (<http://www.facebook.com/todoesquimica2012>).

Twitter de la RSEQ

En 140 caracteres se informa de novedades en química y en la RSEQ (<https://twitter.com/#!/rseq2012>).

Artículos de interés en revistas científicas

Drug discovery: A helping hand. The pharmaceutical industry is increasingly turning to academics to tackle the early stages of drug discovery

Artículo destacando la importancia de la colaboración industria-academia en el descubrimiento de compuestos con actividad biológica que pueden dar lugar a fármacos. Publicado en *Nature* 2012, 492, 143–145 (<http://bit.ly/VksrDe>).

The catalyst genome

Editorial en *Angew. Chem. Int. Ed.* (en prensa, <http://bit.ly/VzAlJe>) de Nørskov y Bligaard describiendo los intentos de crear un “genoma” con toda la información sobre catálisis que se conoce, relacionando las estructuras de los catalizadores, las velocidades de las reacciones elementales, condiciones de reacción, estructura electrónica y datos espectroscópicos. Un proyecto muy ambicioso cuyos resultados serían muy útiles para la industria química y la investigación académica.

Posts y artículos de interés relacionados con políticas científicas y educativas

La preocupante situación de la ciencia y la educación en España ha suscitado numerosos artículos en prensa e información variada en la web. Algunos de estos artículos y *posts* se indican a continuación.

Cerebros que hacen las maletas. Ante un negro horizonte, muchos investigadores abandonan la ciencia en España

Artículo de Alicia Rivera publicado en EL PAÍS el 9 de diciembre de 2012 (<http://bit.ly/TODAoq>). El mayor temor de la comunidad científica española se está cumpliendo: la fuga de cerebros es ya una realidad, un goteo creciente en los centros de investigación camino de convertirse en un grifo abierto por el que se escapan muchos de los mejores investigadores de una generación llamada a ser el puntal de la I+D española.

Los rectores denuncian que los recortes ‘impiden desarrollar la actividad esencial’

Artículo publicado en EL MUNDO el 10 de diciembre de 2012 a partir de información de la Agencia EFE (<http://mun.do/SQKvrq>). Los rectores de las universidades públicas españolas han dado un inédito paso al frente contra los recortes y han augurado para España la “pérdida del tren del desarrollo tecnológico, hipotecando la investigación y los mayores avances en la frontera del conocimiento” si siguen los planes. Esta afirmación la sustentan en los tijeretazos que figuran en los Presupuestos: reducción del 80% en investigación y del 18% en educación superior y la congelación de las plantillas de docentes.

El candidato

Post publicado en el blog *¡Jindetrés, sal!* (<http://bit.ly/XiU5q3>) en el que en un tono humorístico se describen las dificultades que tienen que solventar los candidatos a contratos de los programas Ramón y Cajal y Juan de la Cierva. Por desgracia, describe una situación muy real.

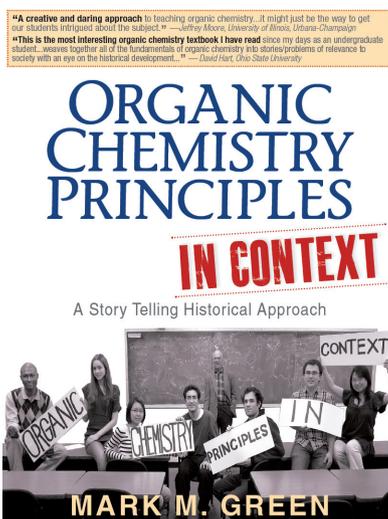
La I+D, un año después

Artículo de Amaya Moro-Martín publicado en el diario EL PAÍS el 27 de noviembre de 2012 (<http://bit.ly/Rhfi1Y>), en el que se analiza con detalle la situación de la ciencia española, lo que está sufriendo y lo que queda por sufrir tras los inmensos recortes presupuestarios.

UK government injects nearly \$1 billion into research

Noticia publicada en la web de la revista *Science* (<http://bit.ly/VNeLD4>). Aunque es un “billón inglés” (mil millones nuestros), es una aportación extra a la ciencia británica. Es evidente que en el Reino Unido se apuesta por otra política como base del progreso.

Mark M. Green, “Organic Chemistry Principles in Context”,
CreateSpace / Amazon.com Inc., 2012. ISBN: 978-0-615-70271-1



En plena época digital dominada por el uso del color e imágenes sofisticadas, uno se pregunta si merece la pena recomendar un libro de texto en blanco y negro y producido de manera casi artesanal por el propio autor. Ciertamente se dudaría hacerlo, excepto si se ha tenido la oportunidad de examinar el reciente libro de Mark Green “*Organic Chemistry Principles in Context*”, dirigido a todos aquellos que deseen tanto enseñar como aprender química orgánica con una aproximación diferente. Mark Green es bien conocido en la química de polímeros y quiralidad; muchos pueden estar familiarizados con una de sus contribuciones más importantes, el así llamado “principio de sargentos y soldados”, invocado frecuentemente en sistemas macromoleculares y supramoleculares susceptibles de ruptura de simetría. En el aspecto académico, Mark Green ha enseñado fundamentos de química orgánica en el Instituto Politécnico de la Universidad de Nueva York desde 1980. El enfoque del presente texto, un tanto iconoclasta, es que el docente debe aprovechar la oportunidad de introducir los mismos principios muchas veces y en contextos diferentes. Esto reduce el contenido del curso, ya que se puede escoger el material más conveniente para ilustrar un determinado concepto a estudiantes con perfiles curriculares diferentes. De hecho, “*Organic Chemistry Principles in Context*” ofrece una excursión casi completa por toda la química orgánica en sólo 12 capítulos y en menos de 500 páginas, lo cual contrasta con los textos convencionales de la disciplina. Alguien puede sorprenderse que el primer capítulo no comience con el metano, sino con...la celulosa y el almidón. Sin entrar en las propie-

dades de los polisacáridos, Green aprovecha la importancia de estas moléculas para guiar al estudiante en la hibridación y geometrías del carbono y oxígeno, así como presentar ideas básicas de estereoquímica sin necesidad de esperar a una complejidad molecular mayor o dedicar un capítulo específico a dicha materia. Con la misma estrategia, es posible aprender lecciones de aromaticidad y la estabilización causada por resonancia a través de escenarios que son aparentemente inconexos: por ejemplo, las tribulaciones que sufre la industria química para evitar la alquilación múltiple del benceno, o el uso que la naturaleza hace de coenzimas como NAD⁺/NADH o FAD/FADH₂ en procesos reversibles que implican aromatzación y desaromatización. De igual modo, el estudiante puede captar la importancia de los grupos salientes cuando aprende que el trifosfato de adenosina (ATP) es la manera que ha escogido la vida para almacenar energía.

Green introduce los distintos grupos funcionales de forma progresiva, sin asumir que el alumno haya recibido nociones de nomenclatura en profundidad, como sucede a menudo en alumnos de grados como Ingeniería Química o Biología. Y, en cualquier caso, la funcionalidad va asociada a un contexto práctico, ya sea una alteración metabólica o la producción sintética de elastómeros.

Un valioso elemento adicional es que Green enseña en cada sección una pequeña lección de historia a través de sus protagonistas; no en vano cada capítulo incluye en el margen una galería de fotografías de químicos eminentes. El texto descubre el porqué de su presencia.

El libro ha sido revisado por un grupo de alumnos de Green, lo que ha supuesto una enorme retro-alimentación para el autor; uno de sus estudiantes ha contribuido directamente con el diseño de esquemas y estructuras realizadas con *ChemDraw*. Los diagramas son claros y bien proporcionados, y esencialmente libres de errores, al igual que el texto. Cada capítulo concluye con un resumen de los conceptos y argumentos que se han querido resaltar.

Tal como se mencionó al comienzo de esta reseña, “*Organic Chemistry Principles in Context*” ha sido editado por el propio autor y sus estudiantes, y publicado por *CreateSpace*, una división de Amazon. De esta forma, la monografía es asequible a través de la archiconocida web a un precio al alcance de cualquier estudiante.

Tanto si impartes como si pretendes elaborar un curso de química orgánica, ¿por qué no echar un vistazo a este texto? En mi modesta opinión, no te sentirás defraudado.

Pedro Cintas
Dpto. Química Orgánica e Inorgánica
Universidad de Extremadura

Desde el Comité Editorial de Anales queremos felicitar a los socios que han sido galardonados con diversos premios y distinciones en reconocimiento a su trabajo y a sus grupos de investigación respectivos.

X Celebración Oficial del Día de la Química

Como cada año, representantes de los distintos organismos y asociaciones sectoriales y profesionales del sector químico en España se dieron cita el pasado 15 de noviembre, festividad de San Alberto Magno y patrón de los químicos, para celebrar el Día de la Química. La efeméride llega este año a su X edición y tuvo lugar en el Salón de Actos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), la misma ubicación que albergó en 2005 la firma de constitución del Foro Química y Sociedad. El Día de la Química 2012 contó con la intervención del Secretario General de Universidades Federico Morán.

El Decano de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM Reyes Jiménez inauguró la celebración, que contó con la intervención del Presidente del Foro Química y Sociedad Carlos Negro, el Presidente de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) Jesús Jiménez-Barbero, el Vicedecano Primero del Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos de España Antonio Macho y el Presidente de la Asociación Nacional de Químicos de España (ANQUE) Ernesto Castañeda.

Como era previsible, durante la celebración se abordó la actual coyuntura económica y sus efectos; al lado de un legítimo orgullo por los resultados y la posición alcanzada en España, tanto en investigación básica como orientada, está la preocupación por la disminución de fondos para investigación y por la falta de horizontes de los jóvenes profesionales químicos. Se incidió en la necesidad de seleccionar adecuadamente el destino de la inversión y también en la de sembrar, para recoger en el futuro. Con todo, hay la consciencia de que tiempos pasados fueron peores en muchos sentidos.

Jesús Jiménez-Barbero, Presidente de la RSEQ, resaltó el papel de la RSEQ en el desarrollo y la divulgación de la química en España, y su discurso versó sobre dos puntos esenciales: la importancia de la química para nuestro país, tanto desde el punto de vista de la investigación (España es el 7º país en número de citas, según Essential Science Indicators), como desde la perspectiva industrial, y ahondó en la necesidad de invertir en ciencia para tener una sociedad basada en el conocimiento.

Se incidió también en la necesidad de una ordenación apropiada de los estudios y una formación adecuada, con la configuración de un profesional de la Química, flexible, versátil, y de futuro. “Soy consciente de que la mayoría de los jóvenes que finalizan sus estudios en nuestras universidades tienen claro que para salir adelante en el mercado laboral deben estar al día en múltiples disciplinas” afirmó Antonio Macho. “La austeridad y la escasez de recursos comienzan a ser norma en el mundo de la investigación. Nuestro éxito profesional dependerá a partir de ahora de nuestra capacidad de adaptación, de nuestras posibilida-



Autoridades y premiados del X Día de la Química.



Vista general del Salón de Actos de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid.

des para reinventarnos, y de nuestra ilusión para buscar nuevos caminos”.

Antonio Macho sugirió la creación de una Mesa con representantes de la administración, empresa, Universidad, y de los profesionales a través de sus Colegios, para abordar la profesión química. “Los químicos queremos participar en el diseño de nuestro futuro profesional”. Federico Morán recogió el guante. “Nos reuniremos y hablaremos de ello” aseveró. Para el Secretario General de Universidades, el progreso se mide por la protección frente a las contingencias y para ello la I+D es básica, la pública y la privada. “El mayor peligro para nuestra especie es el narcisismo de la ignorancia” enfatizó, e incidió en la necesidad de tender puentes entre ciencia y ética, los dos pilares de la cultura. “Mejorar la química y a través de la química, mejorar la sociedad”.

Como viene siendo habitual en la conmemoración, Día de la Química 2012 acogió la entrega de los Premios Anuales de la Química de reconocimiento profesional, científico y académico, que en esta ocasión han sido:

MEDALLA DE ORO de la Real Sociedad Española de Química y Premio FEIQUE de Investigación



Jesús Jiménez-Barbero, Presidente de la RSEQ, hace entrega a Nazario Martín de la Medalla de Oro RSEQ y el Premio FEIQUE de Investigación.

La RSEQ ha galardonado con el Premio FEIQUE de Investigación 2012, al que le acompaña la Medalla de Oro de la RSEQ, a Nazario Martín León, Catedrático de Química Orgánica en la Universidad Complutense de Madrid y director adjunto de IMDEA Nanociencia. Nazario Martín es especialista en química supramolecular, particularmente en la combinación de la química de fullerenos con la nanotecnología. El Prof. Martín ha sido también galardonado con el Premio Rey Jaime I de Investigación Básica 2012.

Premios de la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible (SusChem España) 2012 a Jóvenes Investigadores Químicos, Categorías INNOVA y FUTURA

Los Premios SUSCHEM-JIQ, que llegan este año a su IV edición, tienen por objeto reconocer, incentivar y promover la excelencia académica y científica así como premiar la colaboración público privada entre los jóvenes investigadores químicos en España. Se otorgan en las Categorías: Innova, Futura, Predoc y Postdoc.

- El Premio INNOVA ha sido concedido a Francisco Javier Guerra Navarro, Doctor en Ciencias Químicas por la Universidad de Castilla-La Mancha, por su sobresaliente trabajo “*Dendrimers as Non-Viral Vehicles for Gene Therapy*” en colaboración con la empresa NanoDrugs S.L.
- El Premio FUTURA ha sido concedido a Cristina García Iriepa, Licenciada en Química por la Universidad de Alcalá de Henares, por el brillante expediente académico acreditado con una calificación media de 9,94 y 35 matrículas de honor.

La instauración de los Premios SusChem-JIQ está promovida por la Plataforma Tecnológica Española de Química Sostenible, el Foro Química y Sociedad, el Grupo Especializado de Jóvenes de la RSEQ (JIQ-RSEQ), la Real Sociedad Española de Química, la Asociación Nacional de Químicos de España, el Consejo General de Colegios de Químicos de España y la Federación Empresarial de la Industria Química Española (FEIQUE).

Premio a la EXCELENCIA Química del Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos de España

El Premio a la Excelencia Química, instaurado el pasado 2011 Año internacional de la Química, es un reconocimiento la trayectoria profesional puesta al servicio de la Investigación, la Innovación y la Divulgación de la Ciencia y Tecnología Química.

El Premio de la ANQUE, en ésta su V edición, ha sido concedido a María Tarsy Carballas Fernández, Licenciada en Farmacia y Ciencias Químicas y Doctora en Farmacia por la Universidad de Santiago de Compostela. María Tarsy Carballas es pionera en el estudio de la génesis, clasificación y cartografía de los suelos de zona templado-húmeda de España; en la caracterización y dinámica de la materia orgánica de los suelos; bioquímica del suelo; reciclado de materiales orgánicos residuales como fertilizantes orgánicos; efecto de los incendios forestales sobre las propiedades del suelo; efecto de los retardantes de llama sobre el sistema suelo-planta y recuperación de suelos afectados por incendios. María Tarsy Carballas es Doctora *ad honorem* en el Instituto de Investigaciones Agrobiológicas del CSIC, centro del que fue directora durante 10 años.

Premio ANQUE del Año al reconocimiento corporativo y profesional

El Premio de la ANQUE en ésta su V edición ha sido concedido a Gerardo Gutiérrez Fuentes, químico por la UCM y MBA por ICADE. Después de una exitosa carrera profesional en el sector farmacéutico logró dar el salto que le llevó a iniciar su propio proyecto empresarial. Gerardo Gutiérrez fundó Ragactives en 1991, cinco años más tarde Crystal Pharma, y en 2005, se incorporó al grupo Solea. Estas tres empresas son la base de lo que actualmente constituye el grupo químico-farmacéutico Gadea, de la que Gerardo Gutiérrez Fuentes es presidente, y que es una de las pocas compañías del mundo dedicada a los corticoesteroides. La compañía se define por valores diferenciales como son la innovación o la internacionalización, y por una reconocida gestión de recursos humanos –recientemente ha recibido el premio Foro Burgos– Castilla y León Económica a la mejor gestión en este campo. Gerardo Gutiérrez preside asimismo la Asociación de la Empresa Familiar de Castilla y León desde primeros de año.

Remitido por: **Concepció Roca**
Foro QUÍMICA y SOCIEDAD

Entrega de premios RSEQ 2012 a las distintas áreas básicas de la química

El pasado 13 de noviembre, se llevó a cabo la entrega de premios de la RSEQ, en la Universidad Complutense de Madrid. Además de los galardonados, se contó con la presen-

cia de Ignacio Andrés (Janssen Cilag España), Jesús García Ocaña (CEPSA) y Víctor García Pidal (Bruker Española) en representación de los patrocinadores.



De izquierda a derecha, Víctor García Pidal, Ignacio Andrés, Jesús García Ocaña, Jesús Jiménez-Barbero Presidente de la RSEQ, Pedro J. Pérez Secretario General de la RSEQ, y los galardonados (Eduardo Peris –Premio de Química Inorgánica–, Josep Maria Poblet –Premio de Química Física–, José Manuel Pingarrón –Premio de Química Analítica–, Pablo Ballester –Premio de Química Orgánica–, Ángel Irabien –Premio de Ingeniería Química–).

El Prof. Nazario Martín investido Doctor *Honoris Causa* en Química por la Universidad de La Habana



El Prof. Nazario Martín junto a la Prof. Margarita Suárez y el diploma que le acredita como Doctor *honoris causa* por la Universidad de la Habana.

El Prof. Nazario Martín recibió el pasado 10 de octubre en Cuba el título de Doctor *honoris causa* en Química por la Universidad de la Habana (UH). La entrega de la distinción

es un reconocimiento a la contribución del Catedrático de la Universidad Complutense de Madrid al desarrollo de proyectos de investigación conjuntos entre ambas universidades desde 1989, y al desarrollo fundacional de la química de fullerenos en la Facultad de Química.

En sus palabras de elogio al Prof. Martín, la Prof. Suárez Navarro, profesora de Mérito de la UH, y directora del equipo de investigación en la Universidad de la Habana que trabaja en colaboración con el Prof. Martín, destacó especialmente su contribución a la formación del personal joven cubano, asistiendo en el desarrollo de investigaciones para la conclusión de tesis doctorales. El título de Doctor *honoris causa* es el primero que otorga esta Universidad a un químico, y viene a sumarse a las distinciones recibidas este año 2012: Premio a la Investigación y Medalla de la RSEQ (2012), Premio de Investigación Jaime I (2012), y EuCheMS Lectureship 2012.

Premios de Investigación Lilly para estudiantes de doctorado en Química

El 28 de septiembre de 2012, Lilly, a través de su Comité Europeo para las Relaciones Académicas (EUACC en sus siglas en inglés) hizo entrega en su centro de Alcobendas (Madrid) de sus Premios de Investigación para estudiantes de doctorado en Química. Este acto celebraba, además, el décimo aniversario de los galardones, que reconocen la labor investigadora de los estudiantes de doctorado en las áreas de Química Orgánica, Farmacéutica o Analítica, y que en estos diez años se han convertido en una referencia en el campo de la investigación química y en un elemento clave en la promoción de la labor investigadora de los estudiantes de doctorado en estas disciplinas científicas. En la ceremonia de entrega se han dado cita no sólo representantes del mundo académico y reconocidos científicos, como el Prof. Phil S. Baran (Scripps Research Institute), sino que además se ha contado con la presencia de científicos que en su día recibieron este mismo premio y que supuso un impulso a

su carrera, como es el caso de la Prof. Cristina Nevado, profesora de la Universidad de Zurich, y galardonada en 2003.

En esta ocasión, los tres premios, con una dotación de 1.500 € cada uno, han sido otorgados a Lorena Tizón Valverde, del CIQUS de la Universidad de Santiago de Compostela por su tesis “*La inhibición de los Enzimas Deshidroquinasa tipo I y II: Una Estrategia para el Desarrollo de Nuevos Antibióticos*”, codirigida por los Dres. Concepción González-Bello y Luis Castedo. También ha sido premiada Sara Duce Igeño, de la Universidad Autónoma de Madrid, por su trabajo de tesis “*p-Nitrofenilo como grupo activador en la organocatálisis via iminio. Ideas mecanísticas y aplicaciones sintéticas*”, co-dirigida por los Dres. Belén Cid y José Luis García Ruano. Por último, ha sido elegido el trabajo de Virginia del Solar Fernández, también de la Universidad Autónoma de Madrid, “*Síntesis, Actividad Catalítica y Evaluación de Nuevos Compuestos de Pt (II)* y

Pt (IV)”, tesis codirigida por los Dres. Carmen Navarro-Ranninger y José Alemán. Jesús Ezquerro, director del Centro de I+D de Lilly, y Javier Ellena, presidente de Lilly España, han entregado los premios a las ganadoras. A lo largo de estos diez años, estos premios se han convertido en un claro ejemplo de la fuerte apuesta de Lilly por la promoción del talento y por reforzar los vínculos de la industria con el mundo académico, además de un referente de la promoción de la labor investigadora de los estudiantes de doctorado en áreas fundamentales y básicas de la investigación.

Remitido por: **Laboratorios Lilly.**



Acto de entrega de los premios.

Premios de la Sociedad Suiza de Química a dos miembros de nuestra Sociedad



Cristina Nevado



Uwe Pischel

La Sociedad Suiza de Química ha galardonado con dos premios a los investigadores Cristina Nevado (Universidad de Zurich) y Uwe Pischel (Universidad de Huelva).

Cristina Nevado (University of Zurich) ha sido galardonada con el Werner Prize 2013 por el desarrollo de reacciones singulares catalizadas por Au(I)/Au(III), por su investigación en los mecanismos subyacentes y por las elegantes aplicaciones a la síntesis de productos naturales.

Cristina Nevado es licenciada en Química por la Universidad Autónoma de Madrid, donde se doctoró en 2004 bajo la dirección del Prof. Antonio Echavarren, habiendo realizado una estancia en la Universidad de Tokio en el grupo del Prof. Eiichi Nakamura. Tras doctorarse, realizó una estancia postdoctoral en el grupo del Prof. Alois Fürstner en el Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Mülheim an der Ruhr, Alemania) y, desde 2007, es

Assistant Professor de Química Orgánica del Instituto de Química Orgánica de la Universidad de Zurich. Este galardón se suma a otros ya conseguidos, entre los que destacan el premio de Doctorado Eli&Lilly (2003) y el premio extraordinario de Doctorado (2004).

Uwe Pischel (Universidad de Huelva) ha sido galardonado con el Grammaticakis-Neumwonn Prize 2013, por su importante contribución al desarrollo de puertas lógicas moleculares fotoactivas.

Uwe Pischel realizó sus estudios de grado en la Technical University Dresden y la Humboldt University de Berlín, en Alemania. En 2001 obtuvo el Doctorado en Química en la Universidad de Basilea, Suiza. Tras realizar una estancia postdoctoral en la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) en el grupo del Prof. Miguel A. Miranda, se desplazó a la Universidad de Oporto (Portugal) y en 2006 regresó a la UPV como investigador del Programa Ramón y Cajal. En 2007 se trasladó a la Universidad de Huelva donde desarrolla su labor docente e investigadora, habiendo creado el grupo de Fotoquímica Orgánica en el Centro de Investigación en Química Sostenible (CIQSO) de la Facultad de Ciencias Experimentales, donde también es Director de Investigación desde 2010. Además cuenta con el premio de la Faculty of Philosophy and Natural Sciences de la Universidad de Basilea (2002) y con el premio Weller de la División de Fotoquímica de la Sociedad Alemana de Química (2003).

Más información en:

<http://alturl.com/n6w55>

Medalla de Plata del Premio Químico Joven Europeo 2012



Olalla Vázquez

El premio Premio Químico Joven Europeo (European Young Chemist Award) tiene como finalidad mostrar y reconocer la investigación excelente llevada a cabo por investigadores jóvenes dentro de las ciencias químicas. Está patrocinado por el Consiglio Nazionale dei Chimici (CNC) y la Sociedad Italiana de Química, junto con EuCheMs, CNC, SCI, ECC4 y European Young Chemist Network (EYCN).

En su edición de 2012, se ha concedido la medalla de plata en la categoría de Doctorado a la Dra. Olalla Vázquez, investigadora postdoctoral EU FP7 Marie Curie en el grupo del Prof. Steiz de la Humboldt-Universität de Berlín, Alemania. Olalla Vázquez realizó su tesis doctoral bajo la dirección de los Profs. Mascareñas y Vázquez de la Universidad de Santiago de Compostela, y cuenta con el premio de Doctorado Eli&Lilly (2009) y el premio de Doctorado de la Diputación de Pontevedra (2010).

Merece la pena destacar que, en esta edición de premios, los investigadores españoles Alicia Casitas (Universidad de Gerona) e Israel Fernández (Universidad Complutense de Madrid) quedaron finalistas.

Más información en: <http://www.eyca2012.org/>

Luis Liz-Marzán, nuevo Director Científico de CIC biomaGUNE



Luis Liz-Marzán

Luis M. Liz-Marzán sucederá a Manuel Martín-Lomas, que se jubila como director y ha sido el verdadero impulsor del Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales CIC biomaGUNE desde su incorporación en 2006, como Director Científico de CIC biomaGUNE a partir de Enero de 2013. CIC biomaGUNE forma parte de la red de Centros de Investigación Cooperativa (CICs) creada bajo los auspicios del Departamento

de Industria del Gobierno Vasco, está ubicado en el Parque Tecnológico de San Sebastián y, desde 2007, desarrolla su actividad en las áreas de nanobiomateriales e imagen molecular. El centro alberga alrededor de ciento veinte personas, está integrado por diez grupos de investigación y dispone de una Instalación de Imagen Molecular y Funcional reconocida en 2009 como Instalación Científico Técnica Singular (ICTS) por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

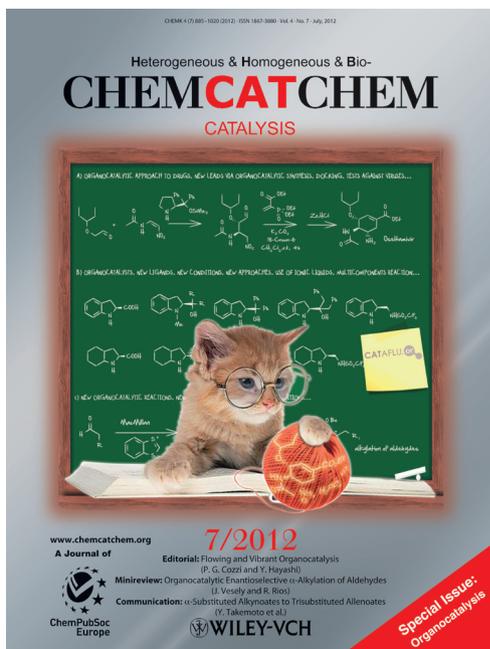
Liz-Marzán es Catedrático de Química Física de la Universidad de Vigo en excedencia, Profesor de Investigación

Ikerbasque y dirige el laboratorio de Bionanoplasmónica de CIC biomaGUNE. Su investigación se centra en la síntesis, la modificación superficial y el ensamblaje de nanopartículas metálicas plasmónicas desde la perspectiva de la Química Coloidal y ha tenido una importante repercusión en todos los aspectos de la Nanoplasmónica: desde la comprensión de los mecanismos químicos que rigen el crecimiento de nanopartículas en disolución con morfología y química superficial bien definidas, a la caracterización y el modelado de sus propiedades ópticas y el diseño de sustratos sensores para aplicaciones específicas.

El trabajo de Luis Liz-Marzán ha sido nacional e internacionalmente reconocido con una variedad de premios y distinciones. Es *Fellow of the Royal Society of Chemistry* desde 2008, Premio de Química Física de la RSEQ (2009), Premio de Investigación Humboldt, Premio Du Pont de la Ciencia, *Willsmore Fellow in Chemistry* de la Universidad de Melbourne (2010), *Fellow of the Optical Society of America* (2011), *ACS Nano Lectureship Award*, *Langmuir Lecturer* y Premio Burdinola (2012). Desde 2009 es *Senior Editor* de la revista *Langmuir*, de la *American Chemical Society* y desde 2011 disfruta de un *Advanced Grant* del *European Research Council*.

Remitido por: **CIC biomaGUNE**

ChemCatChem, una iniciativa de la RSEQ



En el año 2009, la Real Sociedad Española de Química junto con la Sociedad Química Alemana (GDCh) propusieron al consorcio ChemPubSoc Europe, que agrupa a catorce sociedades científicas de la Europa continental,¹ la creación de una nueva revista: *ChemCatChem*. Dicha revista editada por Wiley-VCH, con Peter Göllitz como editor, ha alcanza-

do en 2011 un índice de impacto de 5,21, lo que pone de manifiesto la oportunidad de su lanzamiento. Las razones determinantes de la creación de dicha revista, en 2009, eran la evidente necesidad de un foro en el que tuvieran cabida todos los aspectos de la catálisis, homogénea, heterogénea y bio-catálisis, así como la ausencia de una publicación en el área de catálisis promovida por sociedades científicas. La revista tuvo desde el primer momento una excelente acogida y así Gerhard Ertl, Premio Nobel y “*ChemCatChem* Honorary Board member” expresaba textualmente: “A platform is direly needed to encourage dialogue between the different branches of this interdisciplinary science. I am sure that this new journal will flourish.”

En su número inaugural, dos editoriales con los títulos “*ChemCatChem*: A Catalyst for Communication”² y “Pushing the Boundaries of Catalysis”³ expresaban su esperanza de que la revista fuera un foro interdisciplinario en catálisis de un alto nivel científico. Podemos decir hoy día que el sueño inicial es una realidad, y desde estas líneas deseo animar a la comunidad científica española a publicar en *ChemCatChem*, por su alta calidad científica y difusión internacional, con un componente económico añadido ya que los retornos económicos de esta revista, así como de todas las revistas del consorcio ChemPubSoc, redundan directamente en nuestra Sociedad.

1. <http://www.chempubsoc.eu/chempubsoc-eu.html>
2. P. Göllitz and D. J. Smith, *ChemCatChem* **2009**, *1*, 3.
3. L. A. Oro, *ChemCatChem* **2009**, *1*, 6.

Remitido por: **Luis Oro**
ChemCatChem co-chairman.

III Brazil-Spain Workshop en Química Orgánica

El III Brazil-Spain Workshop on Organic Chemistry (III BS-WOC) tuvo lugar en el Instituto de Química de la Universidad de Campinas (UNICAMP), Brasil, durante los días 3-5 de septiembre de 2012. Después de la ceremonia inaugural presidida por el Vicerrector de Investigación de la UNICAMP se desarrolló el programa científico del primer día comenzando con la conferencia de Fernando Cossío (San Sebastián) sobre aspectos teóricos de las reacciones de cicloadición dipolares y aldólicas asimétricas. Vanderlan S. Bolzani (Araraquara) habló sobre la biodiversidad en el estado de Sao Paulo en el marco de la búsqueda de moléculas biológicamente activas de origen natural y su uso en química médica. El uso de hidrazonas en catálisis asimétrica fue el tópico elegido por José M^a Lassaletta (Sevilla) para su charla. Carmen Nájera (Alicante) comentó sus últimos resultados en reacciones 1,3-dipolares asimétricas conducentes a la síntesis de antivirales con estructura de pirrolidina. La preparación de heterociclos nitrogenados haciendo uso de la química de nitronas fue el tema escogido por Pedro Merino (Zaragoza) para su conferencia. La última charla del día fue impartida por Anita J. Marsaioli (Campinas) sobre cómo de verde puede ser la química verde, tanto a nivel de laboratorio como en el plano industrial.

El segundo día, 4 de septiembre, comenzó con la charla impartida por Ricardo Riguera (Santiago de Compostela) sobre polímeros con quiralidad helical y su posible uso como sensores. Roberto Berlink (Sao Paulo) dedicó su actuación al estudio de productos naturales de origen marino y su posible actividad biológica. El desarrollo de la litación directa de fosfinamidas y fosfocenos fue el tópico expuesto por Fernando López-Ortiz (Almería). A continuación Adriano Defini Andricopulo (Sao Paulo) expuso sus estudios recientes sobre el diseño de moléculas con posible uso farmacéutico dentro del marco de la química médica. La última charla del día corrió a cargo de Miguel A. Miranda (Valencia) sobre el uso de proteínas como microrreactores en procesos fotoquímicos.

El último día empezó con la conferencia de Ronaldo A. Pilli (Campinas) sobre la preparación de una quimioteca de molé-



Delegación española en el III BS-WOC (Campinas, Brasil).

culas biológicamente activas basadas en las estructuras de goniothalamina y piplartina. Miguel A. Sierra (Madrid) impartió su charla sobre la síntesis de plantillas y compuestos organometálicos útiles en química supramolecular con propiedades especiales. La siguiente conferencia sobre las connotaciones mecanísticas y aplicaciones sintéticas de reacciones de sustitución electrófila aromática fue impartida por Pierre Mothé Esteves (Rio de Janeiro). Paulo R. R. Costa (Rio de Janeiro) expuso sus últimos resultados en el campo de la síntesis de cumarinas, cumestanos, pterocarpanos y pterocarpenos a través de reacciones catalizadas por paladio. La última charla fue impartida por Tomás Torres (Madrid) sobre la preparación y propiedades fotoquímicas y fotofísicas de nuevas ftalocianinas.

En la ceremonia final, en la que intervinieron los representantes de Brasil (Carlos R. D. Correia) y de España (Miguel Yus), se anunció que la próxima reunión de esta serie (IV BS-WOC) tendrá lugar en 2015 en San Sebastián, siendo presidente de la misma Fernando Cossío.

Remitido por: **Comité Organizador III BS-WOC**

3º Simposium Internacional sobre Aplicaciones Biológicas de Dendrimeros, "BIODENDRIMERS 2012"

El pasado 5 al 8 de septiembre se celebró en Toledo (Hotel Hilton Buenavista) el 3º *Symposium Internacional sobre Aplicaciones Biológicas de Dendrimeros*, bajo la coordinación de la Dra. M. A. Muñoz-Fernández del Hospital General Universitario Gregorio Marañón y secundada por las Universidades de Alcalá y Castilla-La Mancha. Esta reunión es continuación de las otras dos ediciones organizadas previamente en Lodz (Polonia, 2008) y Porquerolles (Francia, 2010). El objetivo principal de este encuentro, como en los otros dos anteriores, es proporcionar un foro de discusión multidisciplinar entre científicos del área y afines que permita ver el estado actual sobre la utilización dendrimeros en aplicaciones biomédicas y determinar el desarrollo futuro en este campo de investigación.

La ceremonia de apertura estuvo presidida por representantes del gobierno autonómico y local, y fue llevada a cabo

por el Prof. J. P. Majoral quien propuso el uso de un nuevo concepto, el espacio dendrítico, en analogía con los conceptos de espacio químico y biológicos extensamente utilizados en la industria farmacéutica. Además de la conferencia inaugural se impartieron cinco conferencias plenarias. El Prof. V. Percec (Universidad de Pensilvania, EEUU) trató sobre sistemas moleculares, macromoleculares y supramoleculares complejos inspirados en sistemas biológicos. El Prof. R. (Universidad de Quebec, Canadá) quien habló del uso de glicodendrimeros como plataforma hacia la generación de una vacuna frente al cáncer. La Prof. A. M. Caminade (CNRS, Francia) quien mostró una visión en conjunto del empleo de dendrimeros basados en fosforo con diferentes propiedades biológicas, siendo espectacular sus resultados en el tratamiento de la artritis reumatoide en ratones. El Prof. A. K. Patri (NCL, Frederick



De izquierda a derecha: premiados R. M. Reguera y P. Mesa-Antúnez, NJC editor D. Parent, organizador R. Gómez-Ramírez, y premiada F. Ennen.

National Laboratory for Cancer Research, EEUU) quien abordó los desafíos y soluciones de nanomedicamentos basados en dendrímeros en su traslación a la clínica. Por último y como conferencia de clausura, el Prof. D. A. Tomalia (National

Dendrimer Nanotechnology Center, EEUU) líder reconocido mundialmente en el área y creador de la palabra dendrímero, quien disertó sobre el concepto de un nuevo sistema periódico a nivel nanoscópico que permitirá el uso de parámetros de diseño críticos en la predicción de nuevas y emergentes propiedades a nanoescala para dendrímeros.

A la reunión asistieron más de 130 investigadores de los cinco continentes que presentaron 36 comunicaciones orales y 60 comunicaciones de tipo cartel, y se otorgaron tres premios *ex aequo* a las mejores contribuciones de tipo cartel, patrocinados por la revista *New Journal of Chemistry (RSC Publishing)*. Los galardonados fueron: el doctorando P. Mesa-Antúnez de la Universidad de Málaga, la doctoranda F. Ennen del Instituto Leibniz para la Investigación en Polímeros (Alemania), y la profesora R. M. Reguera del Departamento de Ciencias Biomédicas de la Universidad de León. *Biodendrimers 2012* fue organizado para hacerlo coincidir con el Comité de Gestión de la acción COST TD0802 de la Unión Europea. Este Comité eligió la ciudad de Lugano (Suiza) para albergar 4º Symposium Internacional sobre Aplicaciones Biológicas de Dendrímeros en el año 2014, bajo la supervisión del Prof. A. Danani (Universidad de Ciencias Aplicadas del Sur de Suiza).

Remitido por: **Rafael Gómez-Ramírez, Universidad de Alcalá**

El Profesor Sir Tom Blundell inaugura el Ciclo de Conferencias y Seminarios del Instituto de Química Médica del CSIC



Profesor Sir Tom Blundell

El 18 de Septiembre tuvo lugar, en el salón de actos del edificio central del Campus de Serrano, la apertura del Ciclo de Conferencias y Seminarios del Instituto de Química Médica del CSIC para el curso 2012-2013. La conferencia inaugural, bajo el título “Exploring Chemical Space in fragment-based Drug Discovery: targeting multiprotein systems in cell

regulation and signalling”, fue impartida por el Profesor Sir Tom L. Blundell, director de investigación y profesor emérito en el departamento de Bioquímica de la Universidad de Cambridge (UK), del que fue director hasta el año 2009. Investigador de prestigio reconocido en el campo de la biología estructural, bioinformática y sus aplicaciones al proceso de descubrimiento de nuevos fármacos, con una extensa producción científica recogida en más de 500 artículos. Ha sido galardonado con más de 40 premios y distinciones internacionales. Es además miembro del comité asesor de numerosas empresas biofarmacéuticas, y cofundador de Astex Therapeutics, empresa que posee varios productos en fase clínica.

A través de un recorrido histórico por la cristalografía de proteínas, el Prof Blundell fue describiendo su visión de la exploración del espacio biológico como el conocimiento de las dianas biológicas como complejos y no entes aislados, para llegar a la exploración del espacio químico basado en fragmentos con propiedades “drug-like”. En este sentido, parte de su trabajo se ha centrado en el estudio de complejos multiproteicos implicados en señalización intracelular y en reparación del ADN, para comprender las bases moleculares de estos procesos biológicos, que puede contribuir al descubrimiento de nuevos fármacos. Asimismo, resaltó la eficacia de la cristalografía de rayos X para identificar fragmentos pequeños capaces de unirse a una diana a partir de mezclas de cientos de ellos, que junto con aproximaciones computacionales, constituye una forma eficaz de definir el espacio químico de los posibles ligandos de la diana elegida. Esta estrategia se puede aplicar tanto en la industria, como en la academia y, en este sentido, su grupo de la Universidad de Cambridge ha llegado a moléculas con propiedades biológicas interesantes. Para el éxito final, destacó la importancia de equipos multidisciplinares, como el que él dirige, en el complejo proceso del descubrimiento de fármacos.

Remitido por: **Mercedes Martín y Eva Mª Priego**
Instituto de Química Médica (IQM-CSIC)

Actividades de los Grupos Especializados y de las Secciones Territoriales

XXX Reunión Bienal del Grupo de Química Organometálica de la RSEQ en Castellón

Los días 12-14 de junio de 2012 tuvo lugar en Castellón la XXX-Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química Organometálica (GEQO) de la RSEQ, que tuvo como sede el Paraninfo de la Universitat Jaume I (UJI). La reunión superó los 250 asistentes, para disfrutar de un excelente panel de conferenciantes, gracias a la no menos excelente organización por parte de Eduardo Peris y su grupo de investigación. Cinco fueron los conferenciantes plenarios: Robert H. Crabtree (Yale University), William D. Jones (University of Rochester), Frank Glorius (Westfälische Wilhelms-Universität Münster), Roberto Sánchez-Delgado (Brooklyn-College-CUNY) y Stuart Macgregor (Heriot-Watt University). El programa contenía asimismo los siguientes conferenciantes invitados: Martin Albrecht (University College Dublin), Manuel Alcarazo (Max Planck Institut-Wilhelm), Javier A. Cabeza (Universidad de Oviedo), Michel Etienne (LCC-Toulouse), Rosa Fandos (UCLM-Toledo), Vladimir Grushin (ICIQ), Belén Martín-Matute (Stockholm Universitet), Manuel Martínez (Universitat de Barcelona), Anna M. Masdeu-Bultó (Universitat Rovira i Virgili), M. Carmen Nicasio (Universidad de Sevilla), Félix Sánchez (CSIC-Madrid) y Miguel A. Sierra (Universidad Complutense de Madrid). La reunión se completó con la presentación de 10 comunicaciones orales y 150 carteles. El libro de resúmenes del congreso fue editado por el servicio de Comunicación y Publicaciones de la UJI (ISBN-978-84-8021-859-7), y está disponible en <http://alturl.com/rbq9j>. Finalizadas las sesiones científicas, se celebró la reunión de la Junta del GEQO, donde se acordó que la siguiente reunión bienal de 2014 será organizada por Elena Fernández y Carmen Claver, junto con sus colaboradores, en la Universitat Rovira i Virgili.



Participantes de la XXX Reunión Bienal del GEQO.

La coincidencia del treinta aniversario de la creación del GEQO y del inicio de la revista *Organometallics* de la American Chemical Society ha propiciado la edición de una publicación “*Unidos en Excelencia: 30 años de GEQO y Organometallics*” conmemorativa de la efeméride, donde se recoge la historia del Grupo y su vinculación a esta revista en forma de numerosas publicaciones procedentes de la comunidad organometálica española (disponible en www.geqo.es).

Hay que destacar, a la vez que agradecer, el apoyo económico tanto de fuentes públicas (Generalitat Valenciana, Ministerio de Economía y Competitividad y Universitat Jaume I) como privadas (Lilly, BP-Oil, Carburos metálicos, VWR).

En definitiva, la reunión celebrada en Castellón puede calificarse como de éxito rotundo desde el punto de vista científico y organizativo. Vaya desde aquí la felicitación a Eduardo Peris y su magnífico equipo de colaboradores que han hecho posible dicho evento.

Remitida por: **Pedro J. Pérez. Presidente del GEQO.**

XV Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica y IX Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido en Girona (QIES'12)

El pasado mes de julio, celebramos la 15ª Reunión Científica Plenaria de Química Inorgánica. 9ª Reunión Científica Plenaria de Química del Estado Sólido (QIES'12), en el Hotel Ultonia de Girona. Para el comité organizador, el objetivo fundamental fue organizar una reunión de buen nivel científico, sin olvidar tampoco el aspecto humano. Es por esto, que pusimos mucha ilusión, interés y entusiasmo para que la estancia resultase agradable y provechosa para todos los presentes. El número total de inscritos fue de 164 congresistas, de los cuales 67 fueron estudiantes de doctorado. Se ofertaron becas para estos estudiantes, de las cuales se concedieron 33 que cubrían la inscripción a la reunión. Se contó con 4 conferencias plenarios, 14 conferencias invitadas, 20 comunicaciones orales y 102 comunicaciones de tipo cartel. Como conferenciantes plenarios contamos con los profesores J. P. Attfield (University of Edinburgh), A. Deronzier (Université Joseph Fourier, Grenoble), A. Llobet (ICIQ, Tarragona) y A. K. Cheetham (University of Cambridge). Una de las sesiones científicas estuvo dedicada al Prof. M. A. Alario Franco, fundador del Grupo de Química del Estado Sólido hace 25 años, y otra al Prof. J. Casabó Gispert, actual Presidente del Grupo de

Química Inorgánica. Ambos fueron los primeros conferenciantes plenarios en la primera reunión de Química Inorgánica que tuvo lugar en La Rábida (Huelva) en el año 1983. En el acto de clausura del Congreso se procedió a la entrega del premio Purificación Escribano a los dos mejores carteles del congreso. Durante la celebración del QIES 12 tuvo también lugar la reunión de los grupos de Química Inorgánica y Química del Estado Sólido en los que se animó a los miembros de ambos grupos a la captación de nuevos socios entre los jóvenes investigadores y se acordó que el próximo QIES 13 tendrá como sede Almería, encargándose de la organización del mismo el Prof. A. Romerosa y su equipo de investigación.

Dentro de las actividades sociales se organizó una recepción en el claustro de nuestra universidad, antiguo convento de Santo Domingo, en donde el Vicerrector de Relaciones Institucionales, Sociedad y Cultura, el Dr. J. Puigvert, nos dio la bienvenida y nos hizo una breve descripción de la historia de la Universidad de Girona. Otra de las actividades que organizamos fue una visita guiada a través del casco antiguo de Girona.

Este congreso no se podría haber llevado a cabo, a pesar de las duras circunstancias económicas actuales que nuestro



Asistentes a la reunión QIES'12.

país está atravesando, sin la ayuda inestimable, tanto económica como material, de: Universitat de Girona, en especial a la Facultat de Ciències, Ayuntamiento de Girona, MICINN, RSEQ, UB Facultat de Ciències, Fundació "Universitat y futur", Girona Convection Bureau, Matgas, Air Products, Praxair y Trallero. Desde aquí vaya nuestro más sincero

agradecimiento. Para terminar, os quería dar las gracias, por vuestra participación y por haber compartido aquellos días con nosotros. Espero que la reunión estuviese a la altura de vuestras expectativas y que pasarais unos agradables días en Girona,

Remitida por: **Maria Isabel Romero. Universidad de Girona**
Presidenta del Comité Organizador QIES'12.

XXXIII Reunión del Grupo de Electroquímica de la RSEQ

La XXXIII Reunión del Grupo de Electroquímica de la RSEQ (GE-RSEQ) tuvo lugar entre el 1 y el 4 de julio de 2012 en la Residencia de La Cristalera de la Universidad Autónoma de Madrid, en Miraflores de la Sierra (Madrid), contando con la asistencia de 150 participantes. La reunión fue organizada por la Dra. Pilar Ocón (Presidenta) y el Dr. Ángel Cuesta (Secretario). La reunión comenzó el domingo 1 de julio con un curso sobre aspectos prácticos de STM y AFM electroquímicos impartido por el Dr. Angel Cuesta y la Dra. Gema Cabello (Instituto de Química Física "Rocasolano", CSIC, Madrid), y por D. Javier Ledesma (Scientec Ibérica, Madrid). La reunión se organizó en tres simposios paralelos con la presentación de 60 comunicaciones orales y 40 carteles, con una selección de aproximadamente la mitad para presentación *flash*. Se impartieron además conferencias plenarias por los Profesores K. Andreas Friedrich (Stuttgart, Alemania), Philippe Allongue (CNRS, Palaiseau, Francia) y Jacek Lipkowski (University of Guelph, Canadá), así como las conferencias correspondientes a los premios CIDETEC 2011 de Investigación Científica y de Jóvenes Investigadores, a cargo de D. Juan Manuel Artés Vivancos y del Dr. Ignasi Sirés, respectivamente. La Reunión también acogió una Jornada patrocinada por la *International Society of Electrochemistry* (ISE), que incluyó: (i) presentaciones *flash*; (ii) conferencias "Keynote", impartidas por el Dr. Joaquín Chacón (Saft Baterías S.L.), el Prof. Wolfgang Schmickler (Universidad de Ulm, Alemania) y el Prof. Vincent Vivier (CNRS, París, Francia); (iii) Conferencia Invitada a cargo de la Dra. Elizabeth Santos (Universidad de Ulm, Alemania); y (iv) conferencias de jóvenes investigadores españoles de trayectoria prometedora, impartidas por el Dr. Marcos Pita (Instituto de Catálisis y Petroleoquímica, CSIC, Madrid), el Dr. Carlos M. Sánchez (Universidad de



Asistentes a la XXXIII Reunión del Grupo de Electroquímica de la RSEQ

Alicante) y la Dra. Mercedes Sánchez (CISDEM, CSIC-UPM, Madrid). Durante la Reunión tuvo lugar la defensa de los Proyectos de Tesis del Programa Interuniversitario de Doctorado "Electroquímica. Ciencia y Tecnología". También se celebró la Asamblea del Grupo de Electroquímica de la RSEQ, que acogió un emotivo homenaje al Prof. Francisco Colom Polo, recientemente fallecido, a cargo del Prof. Claudio Gutiérrez de la Fe, y durante la cual se procedió a la entrega de los Premios CIDETEC 2011, en las modalidades de Investigación Científica y de Jóvenes Investigadores. El evento terminó con una reunión de los responsables del Programa Interuniversitario de Master y Doctorado "Electroquímica. Ciencia y Tecnología".

Remitido por: **Comité Organizador de la XXXIII Reunión Bienal del GE-RSEQ.**

IX Simposio de Investigadores Jóvenes RSEQ Sigma-Aldrich



Asistentes al IX Simposio de Investigadores Jóvenes.

El IX Simposio de Investigadores Jóvenes se celebró en el centro Joaquín Roncal de la Fundación CAI-ASC en la ciudad de Zaragoza, la semana del 7 al 10 de Noviembre de 2012, y financiado por Sigma-Aldrich, de Bruker Española, la Universidad de Zaragoza y el Grupo Especializado de Jóvenes Investigadores Químicos (JIQ). Se dieron cita en este evento más de 100 participantes procedentes de todas las universidades españolas y centros del CSIC, rebasándose todas las expectativas de participación. Se impartieron 40 conferencias y 69 presentaciones en forma de cartel. Además, en el Simposio se impartieron 9 conferencias invitadas a cargo de tres de los cuatro jóvenes premiados por la RSEQ-Sigma Aldrich y los galardonados Predoc y Postdoc SUSCHEM. Además, Javier Márquez (director general de Sigma-Aldrich) impartió una conferencia descriptiva de las actividades de la empresa, Begoña Milián (presidenta del grupo especializado de Jóvenes Químicos) dio otra charla sobre las actividades del grupo y dos organizadores de la Próxima Biental, que se celebrará en Santander en el 2013, impartieron una charla para promocionar el evento. Asimismo, tuvimos de forma especial y por primera vez en este tipo de Simposio, toda una tarde dedicada a la industria.

Durante el simposio, se procedió a la entrega de Premios RSEQ-Sigma-Aldrich a los Investigadores Noveles: Elisa Barea

Martínez (Univ. Granada), Emilio Cocinero Pérez (Univ. País Vasco), M^a Carmen Giménez López (Univ. Nottingham) y Silvia Ortega Gutiérrez (Univ. Complutense de Madrid). También se hizo entrega de los premios SUSCHEM 2012, en la modalidad Predoc y Postdoc, a Albert Ardevol Grau (Univ. Autónoma de Barcelona) y Emilio Cocinero Pérez (Univ. País Vasco), respectivamente. La tarde del viernes 9 se dedicó de forma exclusiva, y por primera vez, a la industria, con dos conferencias invitadas y una mesa redonda. El éxito de dicha sesión se puso de manifiesto con el elevado número de participantes que asistió a la misma, así como el interesante debate que se inició tras cada una de las intervenciones. Asimismo, durante el desarrollo del Simposio también se celebró la junta anual del GE JIQ.

Desde el año 2004 se viene celebrando el Simposio de Jóvenes Investigadores de Química con el objetivo de fomentar la difusión de la investigación realizada por las nuevas generaciones de químicos, establecer cooperaciones entre científicos jóvenes y fomentar la interdisciplinariedad de la química del siglo X.

Más información en: <http://ixsij.unizar.es/>

Remitido por: **Raquel Pérez Herrera**
Presidenta del Comité Organizador.

Sección Territorial de la RSEQ de Granada: Centenario de la creación de los Estudios de Química en la Universidad de Granada



El próximo 13 de Enero de 2013 se cumplen cien años de la creación de los estudios de Química en la Universidad de Granada. Para conmemorar este evento el próximo año se van a realizar una serie de actividades entre las que destacan: un ciclo de conferencias, una exposición en el cruceo del Hospital Real de Granada, la edición de un libro conmemo-

rativo y el hecho de que toda la cartelería de la universidad durante el próximo curso esté dedicada al centenario.

En las siguientes direcciones se puede obtener información detallada sobre el centenario y los actos que se llevarán a cabo en Granada durante 2013:

<http://q100ugr.blogspot.com.es/> y <http://www.facebook.com/q100ugr?filter=2>

Remitido por la Comisión del Centenario:

Luis Fermín Capitán Vallvey (Departamento de Química Analítica),
Encarnación Jurado Alameda (Departamento de Ingeniería Química),
Pedro Luis Mateo Alarcón (Departamento de Química Física),
Enrique Oltra Ferrero (Departamento de Química Orgánica)
y **Juan Manuel Salas Peregrín** (Departamento de Química Inorgánica).

Sección Territorial de la RSEQ de Madrid: Semana de la Ciencia en la Universidad CEU San Pablo



Juan A. Bueren



Ana Martínez Gil

Leocadio
Rodríguez Mañas

Dentro de la Semana de la Ciencia 2012, en la Facultad de Farmacia de la Universidad CEU San Pablo, y gracias al patrocinio de la Sección Territorial de Madrid, se ha llevado a cabo un ciclo de conferencias con el lema “Envejecimiento y calidad

de vida: aportaciones de la química”. Las conferencias corrieron a cargo de Juan A. Bueren (CIEMAT) sobre “Medicamentos génicos”, Ana Martínez Gil (IQM-CSIC) sobre “Envejecer saludablemente: lucha contra la enfermedad de Alzheimer”, y Leocadio Rodríguez Mañas (Hospital de Getafe) sobre “Papel de la investigación en la respuesta a los retos de salud asociados al envejecimiento”. Asimismo, se llevó a cabo un concurso de carteles entre los alumnos de Grado, siendo Mónica Morandeira y M^a del Mar Calleja las ganadoras del primer premio con el cartel: “Salud mental. La evolución de la enfermedad de Alzheimer”. La jornada puso de manifiesto la importancia de la investigación en sus distintos frentes para afrontar los nuevos retos que el siglo XXI presenta en el campo de la salud.

Premios de investigación 2012 del GE de Química de Productos Naturales de la RSEQ

El pasado 21 de Septiembre de 2012 dentro del 4^o Symposium Hispano-Marroquí de Química Orgánica y 7^o Reunión Andaluza-Marroquí sobre Química de los Productos Naturales, celebrado en Almería, se reunió la comisión de premios encargada de otorgar los premios GEPRONAT 2012. Por unanimidad se decidió conceder las siguientes distinciones: premio a la excelencia en la investigación en química de productos naturales al Prof. Luis Castedo (Universidad de Santiago de Compostela), premio a la transferencia de tecnología al sector industrial y a la creación de ETBs al Prof. Emilio Molina (Universidad de Almería), y premio al investigador novel del GEPRONAT a la Dra. Ana Raquel Díaz Marrero (Universidad de La Laguna).

La entrega de las correspondientes medallas de plata del GEPRONAT se realizará en la Reunión Bienal de Química 2013, que se celebrará en Santander. Una vez más la red REDPRONAT y el GEPRONAT reafirman su compromiso por promover una investigación de excelencia en todos los aspectos que involucren la Química de Productos Naturales, así como el desarrollo tecnológico de una de las áreas con más futuro dentro de la industria química española.

Más información en: <http://www.rseq.org/blog/generales/item/134-premios-gepronat-2012>

La excelencia en Electroquímica premiada por los VIII Premios CIDETEC



De izquierda a derecha: el Dr. Ángel Cuesta, Secretario de la Reunión del Grupo de Electroquímica, el Dr. Enrique Brillas, en representación de CIDETEC, D. Juan Manuel Artés, el Dr. Ignacio Sirés, el Presidente del Grupo del Electroquímica, Dr. Manuel Blázquez y la Dra. Pilar Ocón, Presidenta de la Reunión del Grupo de Electroquímica.

El científico Juan Manuel Artés Vivancos y el joven investigador Ignacio Sirés Sadornil fueron galardonados con los VIII premios CIDETEC, entregados por el centro tecnológico vasco IK4-CIDETEC, como premio a sus investiga-

ciones en el área de la electroquímica. Los galardones fueron entregados en la Asamblea General del Grupo Especializado de Electroquímica de la Real Sociedad Española de Química durante la XXXIII Reunión celebrada del 2 al 4 de julio en Miraflores de la Sierra (Madrid).

El científico Juan Manuel Artés, del Instituto para Bioingeniería de Catalunya de la Universidad de Barcelona, recibió los 6.000 euros y el diploma acreditativo del premio CIDETEC 2011 en la modalidad de Investigación Científica en Electroquímica. El jurado, compuesto por siete expertos en la materia, decidió premiar su trabajo “Direct measurement of electron transfer distance decay constants of single redox proteins by electrochemical tunneling spectroscopy”, publicado en la revista *ACS Nano*, 2011, 5, 2060-2066. Por otro lado, el premio a la modalidad de Jóvenes Investigadores en Electroquímica, dotado con 3.000 euros y un diploma acreditativo, fue adjudicado al Dr. Ignacio Sirés, del Departamento de Química Física de la Universidad de Barcelona.

Ya ha sido convocada la IX edición de los galardones CIDETEC. La convocatoria se puede consultar en las direcciones web: <http://www.cidetec.es> y <http://www.uco.es/electroquimica-rseq>

Remitido por: **Comité Organizador Premios CIDETEC**

Actividades de divulgación de la química

La química da mucho juego en la URJC

Un año más, los Departamentos de Tecnología Química Ambiental y Tecnología Química Energética de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) han premiado a los mejores alumnos de bachillerato que el pasado 15 de mayo se acercaron al campus de Móstoles de la URJC a celebrar la X Edición del Concurso “Química, Sociedad y Medio Ambiente”. Se trata de estudiantes de química que han cursado este año la selectividad y que llegan de institutos y colegios de la región de Madrid y Castilla La Mancha. En total 145 alumnos y 35 centros que suman un nuevo récord de participación en este tradicional concurso. “Tampoco hace falta que sean los que mejores notas sacan, lo que hace falta es que sean ágiles, despiertos y no se pongan nerviosos; se trata de un juego”, explicaba Jesús Arsuaga, profesor de la URJC y coordinador del evento. En efecto, los nervios que predominaban en las caras de los alumnos durante las pruebas de selectividad, eran ayer sonrisas y relajación poco antes de empezar el concurso. “Queremos hacer ver que las ciencias en general, y la química en particular, es también entretenida y divertida”, afirmaba Arsuaga. El objetivo es promocionar la ciencia entre estos jóvenes y para ello los participantes que han atendido a esta X edición, respondi-



Los premiados y organizadores de la edición 2012.

ron a 45 preguntas tipo test relativas a cuestiones generales de química, así como aspectos industriales, medioambientales y sociales de la materia. El primer premio consiste en un diploma, una enciclopedia y 600 euros; el segundo, en un diploma y 400 euros; el tercero, se reconoce con un diploma y 200 euros; y los premios cuarto y quinto, con un diploma y 100 euros. La Editorial Anaya y Kottermann Systemlabor S.A. son las empresas colaboradoras que, además de cofinanciar los premios, regalan a todos los participantes libros, no sólo de ciencia, sino de todos los ámbitos de conocimiento para que nadie se vaya con las manos vacías.

Remitido por: **Sofía de Roa, Universidad Rey Juan Carlos**

Certamen Teresa Pinillos de Divulgación Científica



Amador Menéndez

El químico asturiano Amador Menéndez ha ganado –con su ensayo *Viaje al nanocosmos*– el VI Certamen “Teresa Pinillos” de Divulgación Científica (Ensayo’12), que organiza la asociación Nexociencia de la Universidad de La Rioja, y que está dotado con 1.700€. Menéndez Velázquez, que también ha recibido el premio especial de la RSEQ, es licenciado y doctor en Química

por la Universidad de Oviedo y, en la actualidad, investiga en el Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias (ITMA). Ha formado parte del equipo del Instituto Tecnológico de Massachusetts que, en mayo de 2010, estableció el récord mundial de eficiencia en la captura de energía solar. Recientemente ha liderado el desarrollo de una tecnología para el reciclaje de luz en teléfonos móviles, lo que permitiría aumentar significativamente la duración de sus baterías. Es autor de MOLFINDER, primer sistema que, utilizando técnicas de inteligencia artificial, permite visualizar el enlace químico y los mundos atómico y molecular, a partir de datos de difracción de Rayos X. Ha recibido el Premio Nacional a la mejor iniciativa educativa por el aprovechamiento de Internet en el aula, así como el Premio Europeo de Divulgación Científica, entre otros reconocimientos. Su ensayo *Viaje al nanocosmos* aborda los progresos que en las últimas décadas ha protagonizado la nueva ciencia de la Nanotecnología, sobre todo en los campos de la salud humana, y las nuevas tecnologías de la información y la comunicación. Esta ingeniería de escala atómica y molecular, que ha llegado a hacer realidad los implantes biónicos o pequeños chip para almacenar enormes cantidades de datos, está lejos de alcanzar un límite y traerá consigo una nueva revolución industrial.

Un vistazo a la Biomatemática, de Antón Lombardero Ozores, ha sido galardonado con el segundo premio, dotado con 800 euros, y la mención especial, patrocinada por la Cátedra de Innovación, de Nanotecnología, Biotecnología, Tecnología de la Información y Ciencia Cognitiva, dotado con 600 euros. Finalmente, *Entre la razón y la locura*, de Perla Shiomara del Carpio Ovando, ha logrado el premio especial de la Sociedad Española de Psicología Experimental dotado con 600 euros.

El fallo del jurado se dio a conocer el viernes 9 de noviembre, en el Aula Magna del Complejo Científico-Tecnológico de la Universidad de La Rioja, durante el acto de inauguración de la VIII Semana de la Ciencia 2012. De los 125 ensayos presentados, 80 –un 64%– son de autores residentes en España mientras que el 36% restante procede del extranjero, fundamentalmente Iberoamérica. En concreto, 30 ensayos –un 24%– fueron enviados desde México; así como desde Argentina, Chile, Colombia, Venezuela, EE UU, Alemania, Ecuador, Portugal, Reino Unido y Suiza. Ensayo’12 pretende facilitar la comprensión pública de la ciencia e incentivar el uso de la lengua española como vehículo de difusión de resultados de investigación científica, tecnológica y humanística. El reto principal de esta iniciativa es conseguir que la sociedad perciba de modo directo los beneficios reales y potenciales del desarrollo científico.

La asociación de la Universidad de La Rioja Nexociencia ha organizado Ensayo’12 –que honra la memoria de la ex vicerrectora de Investigación Teresa Pinillos– con la colaboración de la Consejería de Educación del Gobierno Regional, la Casa de las Ciencias, la Escuela de Diseño, la Real Sociedad Española de Química, la Sociedad Española de Psicología Experimental y la Cátedra de Innovación.

Más información en: <http://www.unirioja.es/ensaya/nexociencia.html>

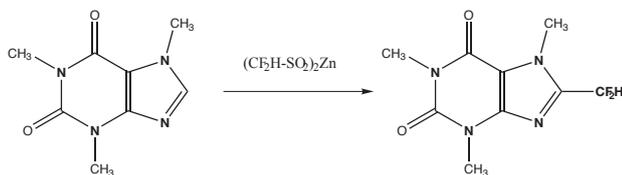
Remitido por: **la Asociación NEXOCIENCIA**

Metodología sintética versátil para generar compuestos de interés farmacéutico

Los heterociclos nitrogenados, tanto naturales como sintéticos, son ubicuos en compuestos con actividad biológicas, constituyendo moléculas “cabeza de serie” para la generación de fármacos. Actualmente, la industria farmacéutica requiere una amplia variedad de compuestos estructuralmente relacionados para usar en ensayos biológicos. Esta necesidad ha fomentado el desarrollo de estrategias como la química combinatoria que pueden proporcionar colecciones de compuestos (quimiotecas) de varios miles de congéneres. Para conseguir las quimiotecas frecuentemente se usan metodologías basadas en reacciones de formación de enlaces carbono-heteroátomo o la modificación sencilla de grupos funcionales.

Una estrategia sintética versátil para la industria farmacéutica es la introducción de átomos de flúor o grupos carbonados fluorados como sustituyentes en sistemas heterocíclicos. Esta sustitución suele producir compuestos con mayor estabilidad química y enzimática que los análogos no fluorados, así como mejores propiedades farmacocinéticas. Sin embargo, el acceso a este tipo de estructuras no es fácil a través de las metodologías actualmente disponibles.

Este inconveniente se está empezando a solventar como lo demuestra un artículo reciente del grupo de Phil Baran (*Nature* **2012**, *492*, 95–99) en el que aprovechando la reactividad radicalica innata de una variedad de heterociclos nitrogenados se obtienen derivados sustituidos con grupos fluorocarbonados a través de una serie de reactivos, fluoroalquilsulfonatos de zinc, capaces de transferir radicales fluorocarbonados al sistema heterocíclico. En la publicación se describen 10 diferentes reactivos que hacen que el método sea versátil y adaptable a una síntesis en paralelo con una estrategia combinatoria.



El método posee una alta eficacia sintética. La reacción es quimioselectiva, otros grupos funcionales no se ven afectados. Una importante consecuencia de esto es que no es necesario usar grupos protectores en el sustrato. Otra característica importante es que el sustrato no necesita prefuncionalización, minimizando el número de etapas y aumentando la economía atómica. La reacción es regioselectiva, la reacción se produce en posición contigua al átomo de nitrógeno. Cuando hay más de una posición contigua al heteroátomo, se pueden obtener más de un isómero, que se pueden separar. El método se puede aplicar para hacer reacciones secuenciales, en las que se introducen dos sustituyentes distintos sobre el heterociclo. Experimentalmente el procedimiento es muy sencillo y barato. Se puede realizar la reacción en agua e incluso en extractos celulares (con la presencia de numerosas moléculas), obteniéndose sólo el producto deseado,

lo que es consecuencia de su alta quimioselectividad. También se ha realizado la reacción en presencia de una enzima (β -lactamasa) sin afectar la actividad de la enzima; lo que podría usarse para estrategias que combinan métodos químicos y biocatalíticos, que pueden ser de gran utilidad en síntesis orgánica selectiva.

Como comentado anteriormente, la presencia de átomos de flúor en el producto de la reacción hace que el método sea muy adecuado para la generación de sustancias químicas de interés biomédico; pues las sustituciones hidrógeno-flúor e hidroxilo-difluorometilo son sustituciones bioisostéricas habituales en química médica. La sustitución de los heterociclos con grupos fluorocarbonados electroattractores modifica su pKa, lo que permite su uso a pH más ácido.

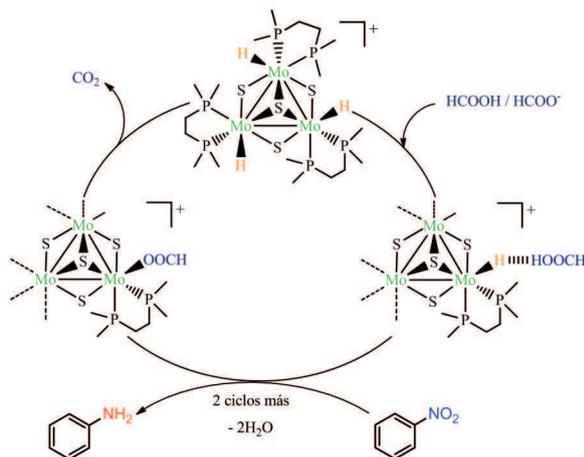
El método aún puede ser mejorado, especialmente en el rendimiento. Algunas de las reacciones descritas (alrededor de 50) transcurren con rendimiento moderado. Aunque éste puede ser un inconveniente en una secuencia multietapas o con un sustrato muy valioso, se ve compensado por la rapidez y sencillez de procedimiento, lo que le hace especialmente útil en las etapas iniciales del descubrimiento de fármacos.

Reducción quimioselectividad de nitroarenos que evita el uso de hidrógeno

Los derivados de anilina son intermedios de gran valor añadido en la producción industrial de colorantes, pigmentos, compuestos agroquímicos y productos farmacéuticos. El procedimiento más utilizado en la preparación de anilinas primarias se basa en la reducción de derivados del nitrobeneno catalizada por metales de transición tales como paladio, platino, o níquel; frecuentemente usando hidrógeno como reactivo. En la actualidad, los esfuerzos en esta área van dirigidos en dos aspectos; por un lado, conseguir total quimioselectividad en presencia de otros grupos funcionales y, por otro, evitar el uso de hidrógeno como reductor por razones de seguridad. En este sentido, las reacciones de transferencia de hidrógeno utilizando ácido fórmico como reductor constituyen una alternativa muy atractiva a la hidrogenación catalítica.

Investigadores de la Universitat Jaume I de Castellón, liderados por Rosa Lluser, en colaboración con un grupo del Instituto de Catálisis de Rostock (Alemania) han descubierto el primer complejo clúster de molibdeno (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 7794–7798) capaz de catalizar con una elevada selectividad la reducción de nitroarenos para dar lugar a las correspondientes anilinas funcionalizadas. El catalizador contiene una unidad clúster cuboidal Mo_3S_4 , formada por átomos de molibdeno y azufre que ocupan posiciones alternas en los vértices de un cubo con una vacante metálica. Las tres posiciones de coordinación externas de cada metal están ocupadas por dos átomos de fósforo de un ligando difosfina y un hidruro. Los autores utilizan técnicas espectrométricas, en concreto el método de infusión de muestra presurizada (PSI, *Pressurized Sample Infusion*) recientemente publicada por McIndoe y colaboradores (*Organometallics* **2010**, *29*, 6615–6618), para demostrar que el complejo trimetálico se mantiene

intacto durante el proceso catalítico, hecho que corrobora que se trata de un caso inequívoco de catálisis mediada por clústeres. Además, experimentos de colisión inducida (CID, *Collision Induced Dissociation*) han permitido vislumbrar los pasos elementales del ciclo catalítico asociado a las especies metálicas involucradas en la reducción del nitrobeneno, como se indican en la figura.



En un primer paso, una molécula de ácido fórmico interacciona con la especie clúster a través de la posición del enlace Mo-H dando lugar a la formación de un enlace de hidrógeno entre el hidruro y el ácido. A continuación, se produce la transferencia de hidrógeno al nitrobeneno para dar lugar al derivado con ligandos formiato tras la coordinación del mismo. Por último, se produce la regeneración del catalizador mediante un proceso de β -eliminación del ligando formiato liberándose una molécula de CO_2 . Tras dos ciclos consecutivos más se produce la formación de la anilina como producto de reacción, tal como se representa en la figura.

Hacia los teléfonos móviles energéticamente autónomos

Este objetivo se puede conseguir mediante un sistema de captura y reciclaje de la luz a través de sus pantallas; de esta manera, se incrementa su eficiencia energética, extendiéndose la duración de sus baterías significativamente.

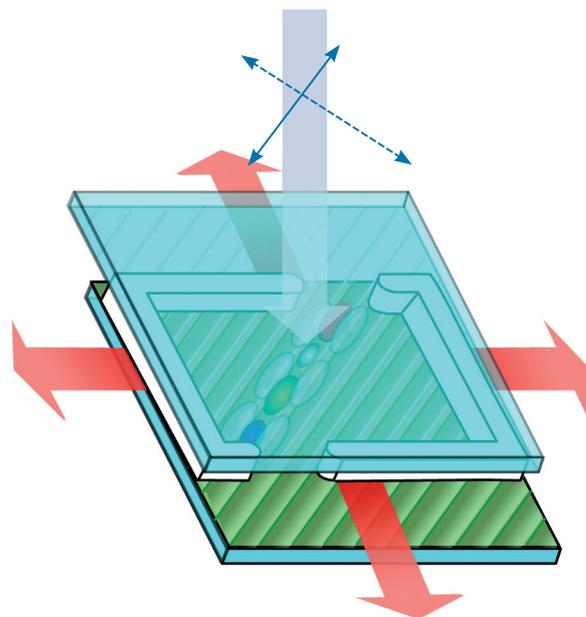
La investigación realizada en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), liderada por el español Amador Menéndez Velázquez (también investigador del Instituto Tecnológico de Materiales de Asturias, ITMA), ha dado lugar a una tecnología que permite un importante ahorro energético y la recarga automática de los teléfonos móviles, lectores de libros electrónicos y otros dispositivos de pantalla plana, utilizando la luz del Sol o la luz artificial que ilumina los interiores de edificios. El hallazgo se publica en *Energy Envir. Sci.* **2013**, 6, 72–75.

Las pantallas de cristal líquido (LCDs) convencionales dominan el mercado de pantallas planas proporcionando buena calidad de imagen, pero son altamente ineficientes desde un punto de vista energético, lo que contribuye significativamente a la reducción de la duración de la batería en

dispositivos móviles (el LCD consume el 90% de la energía de estos dispositivos). Funcionan mediante la técnica de retro-iluminación: una fuente de luz blanca emerge desde la parte trasera de la pantalla en dirección a nuestros ojos. Pero de esta luz emitida sólo entre el 4% y el 8% llega a nuestros ojos. El resto se pierde en forma de calor en diferentes filtros y capas ópticas, que actúan a modo de válvulas bloqueando el paso de determinados píxeles de luz para así poder proyectar una imagen específica al usuario.

En la nueva tecnología, los investigadores consiguen reciclar esta luz bloqueada, mediante la utilización de moléculas fluorescentes en vez de moléculas puramente absorbentes. De esta manera, tras capturar la luz la emiten de nuevo, lo que permite su reutilización, ahorrando una gran cantidad de energía e incrementando significativamente la duración de las baterías en los dispositivos móviles. Es precisamente la pantalla, junto con las pinturas fluorescentes depositadas sobre ella, la que también permite la captura de la luz ambiente (natural o artificial). Esta luz se guía a los bordes de la pantalla, donde diminutas celdas solares la convertirán en electricidad. La luz visible capturada y guiada a los bordes de la pantalla es tuneada al infrarrojo para que posibles pérdidas por el frontal de la pantalla no distorsionen la imagen. En condiciones de luz artificial, la duración de las baterías podría multiplicarse por diez o quince y bajo condiciones de luz natural los dispositivos podrían llegar a ser autónomos energéticamente.

En definitiva, esta investigación proporciona una tecnología que, sin apenas añadir elementos extra (simplemente dotando a las pantallas de una nueva funcionalidad), captura la luz ambiente (solar e interior) y recicla la luz trasera de la pantalla no usada (aproximadamente un 96%), lo que permite extender significativamente la duración de la batería de los dispositivos móviles o incluso dotarles de plena autonomía energética, sin sacrificar su resolución, llegándose a lo que algunos medios de comunicación han calificado como “adios a la batería del móvil” (ver, por ejemplo, <http://bit.ly/Sr2aWX>, viistada el 13/12/2012).



Profundizando en el conocimiento de los alótipos del carbono

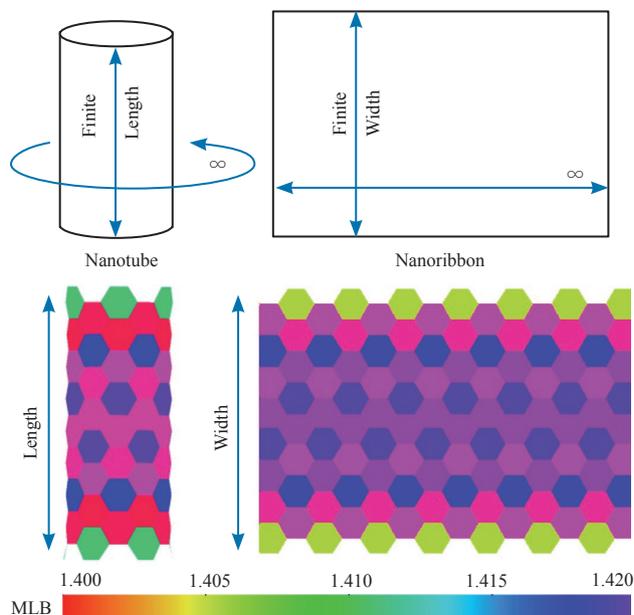
De acuerdo con la teoría del enlace de valencia, la estructura electrónica de un sistema aromático puede predecirse como el resultado de la superposición de todas las posibles formulas de Kekulé (distribución de enlaces sencillos, dobles y triples a lo largo de la estructura). Basándose en las ideas de Kekulé, Eric Clar introdujo en 1972 el concepto de sexteto aromático (que representamos con un círculo inscrito en el hexágono) para representar la deslocalización de 6 electrones π en un anillo benzenico, debida a la resonancia de dos estructuras complementarias de Kekulé con alternancia de enlaces dobles y sencillos. *No podemos por tanto dibujar dos anillos de Clar en hexágonos adyacentes.* Según la regla de Clar, para una molécula dada, la representación con un número máximo de sextetos es la más representativa, y además se corresponde con la estructura más estable. Siguiendo estos principios, se puede estudiar la estructura electrónica, aromaticidad y estabilidad de hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs) de tamaños variables, hasta llegar al mayor de los PAHs, el grafeno, así como otras estructuras similares como las nanocintas y los nanotubos.

En un artículo reciente (*Chem. Eur. J.* **2012**, *18*, 6183–6194), Martín-Martínez *et al.* de la *Vrije Universiteit* de Bruselas estudian computacionalmente la estructura de las nanocintas de carbono, se analiza su aromaticidad mediante índices geométricos y electrónicos, y se racionaliza mediante el uso de la teoría de sextetos de Clar.

El grafeno es una lámina bidimensional de átomos de carbono con un ordenamiento hexagonal, cuyas excepcionales propiedades electrónicas le convierten en una de las grandes promesas de la nanoelectrónica. Sin embargo, su estructura de bandas, con ausencia de *gap* electrónico, imposibilita algunas de sus potenciales aplicaciones en electrónica. Desde el punto de vista de la teoría de sextetos de Clar, el grafeno presenta tres formulas de Clar equivalentes. La combinación de las tres conduce a una estructura completamente deslocalizada en la que todos los anillos son equivalentes, las distancias de enlace prácticamente iguales, y la aromaticidad se distribuye de manera homogénea a lo largo de la superficie. Esta deslocalización se rompe en las nanocintas de grafeno, como consecuencia de la existencia de bordes. Dependiendo del tipo de borde existen nanocintas silla y nanocintas zigzag, por analogía con los nanotubos de carbono. En el caso de las nanocintas zigzag, se mantiene la equivalencia de las tres configuraciones de Clar, y su estructura es similar a la del grafeno, presentando un *gap* electrónico igual a cero. Sin embargo, en las nanocintas silla, la especial geometría de sus bordes, hace que solo algunas configuraciones de Clar sean posibles, generando unos patrones de aromaticidad característicos, y lo que es más importante, abriendo un *gap* electrónico distinto de cero.

La dependencia del *gap* electrónico con la anchura de la nanocinta presenta una periodicidad cada tres unidades de anchura. Esta periodicidad se explica, de manera sencilla y elegante, mediante la aplicación de la teoría de sextetos de Clar. Se demuestra cómo los distintos valores del *gap* electrónico están asociados con los patrones de aromaticidad, descritos como “incompletos de Clar”, “Clar” y “Kekulé”.

Además este confinamiento electrónico y sus patrones de aromaticidad es análogo al de fragmentos cortos de nano-



tubos de carbono, cuando la longitud del nanotubo es igual a la anchura de la nanocinta. Este descubrimiento pone de manifiesto la similitud entre nanocintas y nanotubos. Los electrones se encuentran confinados de la misma manera en una dirección del espacio, mientras que se mueven libremente en la dirección perpendicular, alrededor del cilindro en los nanotubos, y a lo largo de la longitud de la nanocinta.

Aprovechando la energía solar y el dióxido de carbono

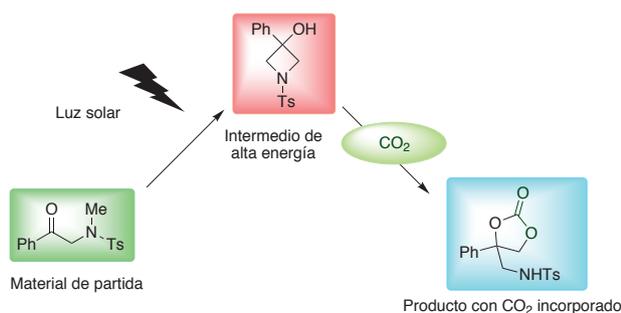
El desarrollo de nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de las fuentes de energías renovables es uno de los principales motores de la ciencia en la actualidad. Sin duda, la energía solar se presenta como la opción más atractiva por diversos motivos: es limpia, barata e ilimitada. Por otro lado, otro de los retos más inmediatos es el desarrollo de métodos que permitan la captura de CO_2 , así como su posterior empleo como materia prima para la preparación de moléculas más complejas.

En un artículo reciente (*Angew Chem Int. Ed.* **2012**, *51*, 11750–11752), investigadores de la Universidad de Kyoto han descrito un proceso que es capaz de combinar los dos aspectos comentados anteriormente: el aprovechamiento de la luz solar para llevar a cabo una reacción química que permite la incorporación de CO_2 en una familia de compuestos orgánicos sencillos (α -metilaminocetonas) y que da lugar a moléculas más elaboradas que pueden ser empleadas como material de partida en la preparación de estructuras más complejas.

Para ello, los autores emplean una reacción fotoquímica descrita por Gold hace cuatro décadas (*J. Am. Chem. Soc.* **1971**, *93*, 2793–2795) que permite la transformación de α -aminocetonas en los correspondientes azetidinoles. Aunque en la reacción original se llevaba a cabo bajo irradiación con una lámpara de mercurio, en este caso los investigadores emplean directamente luz solar. Simplemente colocando un tubo de Pyrex con una disolución de la correspondiente α -metilaminocetona en *N,N*-dimetilacetamida (NMA) bajo exposición directa al sol, obtienen el producto de ciclación deseado. Estos compuestos, altamente tensionados,

presentan un anillo de cuatro eslabones en su estructura, lo que les hace altamente energéticos: en otras palabras, son capaces de almacenar en su estructura la energía obtenida a partir de la luz solar. El rendimiento de la reacción es casi cuantitativo en un día soleado (91%), mientras que en un día nublado se observa, como era de esperar, un descenso en el rendimiento (54%).

La segunda parte del proceso, consiste en la incorporación del CO₂. Para ello, los autores simplemente calientan (60 °C) una disolución del correspondiente azetidínol en una atmósfera de CO₂ en presencia de una base (Cs₂CO₃) para obtener de manera cuantitativa el correspondiente carbonato cíclico. La transformación está dirigida por la liberación de la energía de tensión acumulada en el anillo de cuatro eslabones del azetidínol de partida. Los carbonatos obtenidos son potencialmente útiles para la preparación de productos más elaborados.



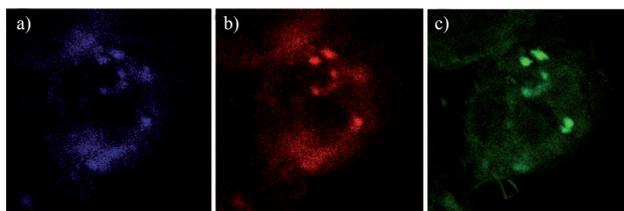
Hay que destacar que el proceso global (la ciclación fotoquímica junto con la captura de CO₂) se puede llevar a cabo en una única etapa, simplemente exponiendo a la luz solar una disolución de la correspondiente α-metilaminocetona, en atmósfera de CO₂ y en presencia de una base.

La fotosíntesis es un proceso muy complejo de reacciones consecutivas, se puede dividir en dos grandes fases: la fase luminosa o fotoquímica donde se absorbe energía solar que se emplea en la formación de intermedios altamente energéticos (ATP y NADHP) y la fase oscura, donde la energía almacenada en estas moléculas es empleada para fijar y reducir el CO₂ (una molécula de perfil energético bajo), permitiendo su conversión en carbohidratos. Aunque el proceso descrito en esta publicación no incluye la reducción de CO₂, su perfil energético es similar al de la fotosíntesis y representa un modelo sencillo del empleo de energía solar para la incorporación de CO₂.

Midiendo el pH intracelular

Estimar el pH celular con precisión se ha convertido en un objetivo de gran interés científico. La acidez no es homogénea en toda la célula, existiendo zonas de pH neutro / ligeramente alcalino (por ejemplo el citoplasma, con un pH alrededor de 7,4) y otras áreas con un marcado pH ácido (por ejemplo lisosomas con pH inferiores a 6). Conocer con exactitud el pH de zonas concretas de las células, especialmente cuando están vivas, es fundamental no sólo para estudios básicos de biología celular, sino también para el diseño de herramientas de diagnóstico en biomedicina. Esto es así dado que anomalías en la acidez celular son en muchas ocasiones indicativas de procesos patológicos.

Un equipo de investigadores de la *University of East Anglia* (Norwich, Reino Unido) y de la *Universitat Jaume I* de Castellón ha desarrollado un nuevo sensor de pH específicamente diseñado para marcar mediante fluorescencia los lisosomas celulares (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 9657–9661). El sistema está basado en nanopartículas de oro de 3,6 nm de diámetro medio, las cuales se encuentran funcionalizadas con dos ligandos fluorescentes que emiten en 400–450 nm (azul) y en 550–650 nm (rojo). Ensayos con células vivas de tipo CHO han demostrado que los lugares visualizados mediante el nuevo nanosensor son de naturaleza lisosomal (Imágenes a y b), dado que coinciden con la ubicación de un conocido marcador de lisosomas como es LysoSensor DND-189 (Imagen c).

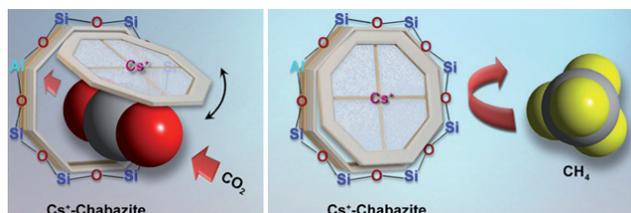


El nanosensor basado en oro permite la estimación cuantitativa del pH de las zonas marcadas gracias al cociente entre las intensidades de las dos emisiones propias (azul vs rojo) al excitar con luz de 364 nm. Este cálculo ha permitido medir pH tan bajos como $4,4 \pm 0,2$ en lisosomas determinados. Un cálculo del pH de varias muestras (16 células, 83 regiones diferentes) ha permitido estimar un valor promedio de pH lisosomal de $5,2 \pm 0,7$ en células CHO vivas.

Puertas deslizantes para atrapar dióxido de carbono

Las zeolitas son materiales cristalinos microporosos con canales y cavidades de diferentes diámetros, dentro de los cuales pueden encontrarse cationes de compensación como Na⁺, K⁺ y Ca²⁺. Se han caracterizado cerca de 40 zeolitas naturales, entre ellas la chabacita. Esta zeolita denominada de “poro pequeño”, presenta grandes cavidades (6,7 Å x 10 Å), aunque son los anillos de 8 miembros (8MRs) de dimensiones (3,8 Å x 3,8 Å) la única forma de acceso al interior del cristal. La chabacita tiene una alta relación Si/Al y, por tanto, puede intercambiar sus cationes selectivamente por cationes grandes como Cs⁺, Rb⁺, el K⁺, el NH₄⁺. Las zeolitas que funcionan como tamices moleculares son capaces de separar moléculas de manera selectiva según el tamaño de poro uniforme de su estructura.

Investigadores australianos han publicado un nuevo mecanismo de separación, basado en la habilidad de zeolitas del tipo chabacita de funcionar como trampas moleculares (*Molecular trapdoor*) de moléculas grandes como CO₂ frente a moléculas más pequeñas como N₂ (*J. Am. Chem. Soc.* **2012**, *134*, 19246–19253). La clave de este comportamiento se basa en los cationes (Cs⁺, K⁺ o Ca²⁺) que se encuentran en la estructura de la zeolita, compensando la carga negativa, y que se alojan en los nanoporos ricos en oxígeno (8MRs). La molécula de CO₂, rica en electrones, interactúa con el catión y consigue que éste se desplace, temporalmente, para dejar pasar a las moléculas de CO₂ dentro de la cavidad de la zeolita. Después del paso de las moléculas de CO₂, el catión vuelve a su posición evitando que las demás moléculas pasen a través del poro.

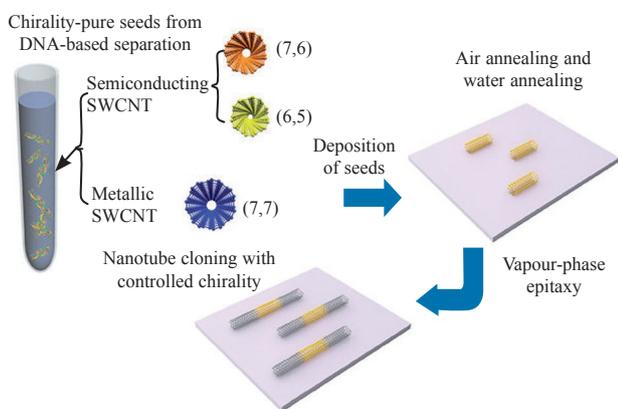


Esta investigación supone un avance estratégico considerable en procesos de separación de moléculas pequeñas. El comportamiento de estas zeolitas más sensibles a la molécula de CO_2 , frente a moléculas como CH_4 o N_2 , supone dos aplicaciones industriales potenciales: separación de gases (como CO_2 y N_2) y eliminación de CO_2 del gas natural.

Aunque la selectividad del proceso es grande, la capacidad de la chabacita para atrapar CO_2 es limitada, pero este “inconveniente” podrá ser solventado en el futuro con modificaciones adecuadas en la estructura de la zeolita.

Nanotubos de carbono para la fabricación de nanotransistores y circuitos electrónicos

Los nanotubos de carbono de pared simple (*SWCNTs*) están constituidos por **átomos de carbono dispuestos en una red hexagonal cilíndrica**. Su estructura puede considerarse procedente de una lámina de grafito enrollada sobre sí misma cuyos extremos pueden estar abiertos o cerrados. Poseen excepcionales propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y ópticas que les capacitan para ser utilizados en diversas aplicaciones entre las que se encuentran electrónicas y biomédicas. La propiedad electrónica de un *SWCNT* depende considerablemente de su quiralidad, por tanto, es imprescindible diseñar métodos de síntesis con control de la quiralidad. Por otro lado, la técnica denominada crecimiento epitaxial en fase vapor (*VPE*), utilizada en la síntesis de semiconductores, consiste en preservar la estructura cristalina del material, haciendo crecer una capa uniforme, sobre una cara de un cristal del material semiconductor de partida.



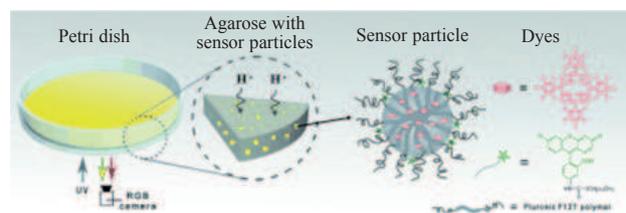
En esta publicación (Nature Communications, en prensa, Doi: 10.1038/ncomms2205) se presenta una nueva estrategia basada en el método *VPE* para producir nanotubos con quiralidad predefinida. Para ello utilizan semillas de *SWCNT* semiconductores y *SWCNT* metálicos de quiralidad pura, obtenidas mediante métodos de separación cromatográfica basados en DNA, y las depositan en dos diferentes sustratos

como son cuarzo y Si/SiO_2 . Las semillas depositadas se calientan y se enfrían haciendo pasar aire y vapor de agua consiguiendo con esto eliminar el DNA de las semillas, al mismo tiempo que se activan los extremos del nanotubo. De este modo, se pueden añadir metano o etanol como fuente de alimentación de carbono para conseguir el crecimiento de las semillas con quiralidad controlada. El tipo de sustrato usado interfiere en el crecimiento de los nanotubos. En el caso de utilizar Si/SiO_2 , los nanotubos se orientan al azar, independientemente de la dirección del flujo del gas. Sin embargo, cuando el sustrato es cuarzo los nanotubos se encuentran alineados a lo largo de la orientación del cristal. Así, este modo resultaría útil para la fabricación de nanotransistores y circuitos integrados.

Detectando el crecimiento de bacterias

Las bacterias forman parte de nuestra vida y desarrollan un papel fundamental en la naturaleza y en el hombre. Algunas son beneficiosas para la humanidad como *Lactobacillus* y *Streptomyces*. Sin embargo, otras bacterias, como algunas cepas de la bacteria *Escherichia Coli* (E. Coli), pueden causar graves infecciones por ingestión de alimentos o agua contaminada. Es esencial, por tanto, desarrollar sensores que sean capaces de monitorizar, a tiempo real, el crecimiento de las bacterias en los alimentos.

Científicos de la universidad de Regensburg (Alemania) han desarrollado un nuevo método para diseñar pH nanosensores capaces de monitorizar valores de pH durante el crecimiento de la bacteria E. Coli (*Angew. Chem. Int. Ed.* en prensa, DOI: 10.1002/anie.201205715). El nanosensor está compuesto de nanopartículas de sílice en cuya superficie se encuentran grupos polietilenglicol, los cuales no sólo mejoran la estabilidad del nanosensor en disoluciones acuosas, sino que reducen su toxicidad, ya que previenen su penetración en la membrana celular. El pH nanosensor se forma a partir del copolímero Pluronic F-127, formado por óxido de polietileno (hidrofóbico) y fragmentos de polietilenglicol (hidrofilico) en los extremos de la cadena. Así, este copolímero forma micelas estables, en disoluciones acuosas, capaces de retener colorantes hidrofóbicos, en este caso, el indicador de pH (fluoresceína), y al mismo tiempo, el colorante 5,10,15,20-tetrakis(pentafluorofenil)porfirina, capaz de emitir luz roja. Estos tres componentes son dispersados en una disolución de ácido clorhídrico y, mediante la adición de tetraetoxisilano, formar las nanopartículas de sílice donde los colorantes se encuentran firmemente retenidos. De este modo, este nanosensor no tóxico es capaz de dar una respuesta rápida a cambios en los valores de pH y visualizar el crecimiento de una bacteria.



Detección simultánea de varios fármacos usando sensores fluorescentes

Las moléculas fluorescentes son útiles herramientas para la construcción de instrumentación analítica y para el desarrollo de dispositivos computacionales. Estas aplicaciones surgen de la posibilidad de modular adecuadamente las propiedades de las moléculas fluorescentes, de tal manera que puedan usarse como puertas y circuitos lógicos electrónicos, aplicarse como herramientas en técnicas de imagen útil en biología, quimiosensores inteligentes, etiquetado molecular digital, etc.

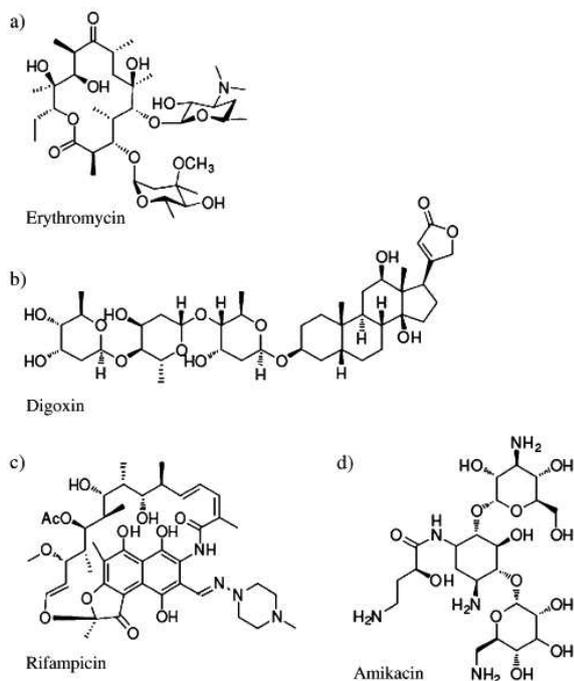
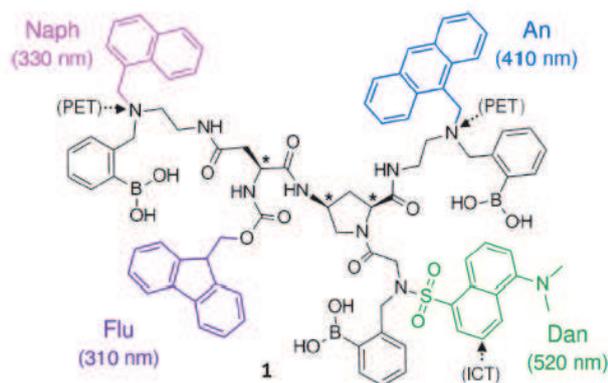
Un objetivo de la instrumentación en química analítica es conseguir el llamado “laboratorio en una molécula” que permite detectar de manera simultánea una variedad de analitos. Esta estrategia se ha aplicado a la determinación simultánea del pH y concentraciones de los cationes sodio y zinc (*J. Am. Chem. Soc.* **2006**, *128*, 787–789). Sin embargo, la aplicación a moléculas orgánicas es más complicada.

Los métodos fluorescentes son muy atractivos en química analítica. Son muy sensibles y capaces de detectar muy pequeñas cantidades de analitos. Un inconveniente de estos métodos es que no tienen suficiente selectividad para detectar

simultáneamente diversos analitos orgánicos. Para lograr este objetivo es necesario diseñar un receptor para cada molécula a analizar, lo que limita su aplicabilidad y multiplicidad.

Una alternativa que pueda solventar este inconveniente es diseñar un método que use simultáneamente varios métodos de detección (usando una estrategia combinatoria). Para ello hace falta diseñar un receptor con diversos fluoróforos que puedan emitir a varias longitudes de onda de manera independiente. En una publicación reciente (*Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 12477–12481), investigadores del *Weizmann Institute* (Rehovot, Israel) han descrito un sensor compuesto por cuatro cromóforos fluorescentes distintos unidos a un fragmento de (*S,S*)-3-aminoprolina. Cada uno de los fluoróforos emite en una longitud de onda distinta (marcada en la figura). La combinación de los cuatro cromóforos hace que el método sea muy sensible y puede permitir la detección simultánea de varios analitos.

Para probar la metodología, los autores han elegido una serie de familias de fármacos que frecuentemente se asocian a casos de falsificación o a errores en la medicación. Los medicamentos usados son de los tipos de antibióticos macrólidos, como la eritromicina o la rifampicina; glicósidos cardíacos; y aminoglicósidos. Los autores han investigado la sensibilidad del método, encontrando que son capaces de detectar concentraciones menores de 5 mM de cada uno de los antibióticos. Es interesante notar que la sensibilidad del método aumenta al analizar la rifampicina, lo que es debido a las posibles interacciones entre anillos aromáticos. Este resultado hace prever que el método es aún mejorable a través de una sintonización fina entre los sustituyentes en el receptor y en el huésped. Una vez puesto a punto el método se ha aplicado al análisis de mezclas de antibióticos e, incluso, en el análisis de muestras biológicas como la orina.

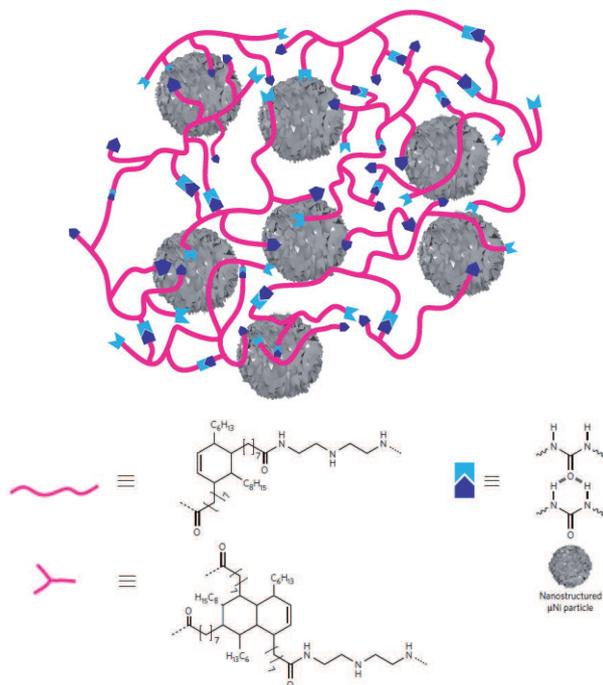


Piel artificial capaz de repararse

La piel humana es capaz de responder a estímulos mecánicos, como el tacto o la presión, en forma de impulsos nerviosos eléctricos. Crear un material mimético de la piel humana que reúna estas condiciones y, además, sea capaz de repararse a temperatura ambiente, supone un gran reto científico.

Un equipo de investigadores de la *Stanford University* (Estados Unidos) han conseguido crear un material compuesto (*composite*), sensible al tacto y capaz de regenerarse de manera rápida, en condiciones ambientales (*Nature Nanotechnology* **2012**, *7*, 825-832). El *composite* está constituido por dos componentes: un polímero de largas cadenas, las cuales se encuentran unidas mediante enlaces de hidrógeno, y micropartículas de níquel embebidas en el polímero. De este modo, con el níquel se consigue que el material sea un buen conductor eléctrico y con el polímero se consigue, además, que sea flexible y capaz de autorepararse. Para preparar el material sintético, primeramente, se sintetiza el oligómero a partir de Empol 1016 (80% diácidos y 16% triácidos) y dietilentriamina. Entonces, las micropartículas de níquel son mezcladas con el oligómero formado, mediante un mezclador centrífugo, para así obtener una suspensión homogénea. Seguidamente, la suspensión se hace reaccionar con urea, controlando estrictamente el tiempo, para conseguir que, solamente, las aminas primarias se conviertan a

grupos carbamida. De este modo, los grupos urea enlazados al final de la cadena del polímero son los responsables de formar los enlaces de hidrógeno que mantienen unidas las cadenas del polímero.



En resumen, debido a las propiedades del material desarrollado; éste es potencialmente aplicable, tanto en el campo de las bioprótesis, como en el campo de la electrónica para la fabricación de dispositivos. Se describen experimentos con maniquíes que prueban la “sensibilidad táctil” de esta piel artificial.



Record en longitud de enlace C-O

La estructura de una molécula es fundamental para entender sus propiedades físicas, químicas, biológicas y tecnológicas. La estructura molecular queda definida por la disposición y conectividad de los átomos y está determinada por la orientación de los enlaces y los distintos parámetros geométricos. Para conocer la estructura de una molécula debemos conocer las distancias, los ángulos y los ángulos diedros (ángulos de torsión) de los enlaces que la forman. Es bien conocido que los enlaces entre dos átomos, los ángulos entre tres átomos conectados dos a dos

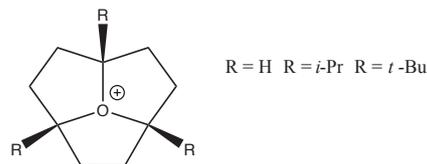
(2 enlaces) y los ángulos diedros (torsiones) entre 4 átomos conectados por pares de manera consecutiva (3 enlaces) fluctúan ligeramente alrededor de unos valores “óptimos” en los que la molécula adquiere la energía mínima (estructura más estable). Las desviaciones de estos valores “óptimos” suponen penalizaciones energéticas que hacen que la molécula sea más inestable.

Los valores habituales de los parámetros geométricos (distancias, ángulos y torsiones) son las referencias de los programas de modelización molecular y, frecuentemente, sirven de guía para establecer la existencia o ausencia de enlaces en una estructura determinada experimentalmente (métodos de difracción de rayos X, métodos espectroscópicos, microscopía, etc).

Aunque la estructura es un concepto fundamental en química, aún no está firmemente establecido, siendo necesaria una explicación aún más detallada, basada en fundamentos físico-matemáticos sólidos. Para profundizar en el concepto de estructura, especialmente en su racionalización mecanocuántica, es necesario seguir investigando las estructuras de moléculas, especialmente si se sospecha de que pueden poseer parámetros geométricos “atípicos”.

El grupo de Mascall describió hace unos años la estructura del ión oxonio oxatriquinano (R = H, ver figura) que es un ión sorprendentemente estable que puede ser cromatografiado en columna sobre sílica gel y recristalizado en agua hirviendo (*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 13532–13533). El estudio cristalográfico de este compuesto mostró que el enlace C-O es extraordinariamente largo (1,537 Å), bastante superior al valor típico (~1,43 Å) del enlace C-O de éteres.

Con el objeto de estudiar el efecto de los sustituyentes sobre la longitud de enlace C-O de oxatriquinanos, Mascall y colaboradores acaban de publicar un completo estudio estructural de éteres y sales de oxonio acíclicos, monocíclicos, bicíclicos y tricíclicos (*Nature Chemistry* **2012**, *4*, 1018–1023). Para ello han realizado un análisis de la base de datos cristalográfica CSDB, modelización computacional *ab initio*, síntesis y determinación estructural por difracción de rayos X. Los resultados han mostrado que la longitud del enlace C-O aumenta cuando el sustituyente R es más voluminosos (ver figura). Así, la longitud de los enlaces C-O en el derivado con grupos *iso*-propilo es de 1,555 Å y en el derivado *tert*-butilado es de 1,602 Å, constituyendo la mayor longitud de enlace C-O descrito hasta la fecha.



En resumen, los resultados descritos en este artículo suponen una contribución importante a la comprensión del enlace químico, mostrando el balance entre el solapamiento orbital entre átomos, que tiende a acortar la longitud del enlace, y la repulsión estérica (que supone una violación del principio de exclusión de Pauli), que causa un alargamiento del enlace.

Noticias redactadas por:
Yolanda Pérez-Cortés (Universidad Rey Juan Carlos),
Enrique Mann (IQOG-CSIC)
 y **Bernardo Herradón** (IQOG-CSIC).

Los investigadores y divulgadores José Antonio López-Guerrero (Universidad Autónoma de Madrid y Centro de Biología Molecular 'Severo Ochoa') y Bernardo Herradón (Instituto de Química Orgánica General, CSIC) han seleccionado algunos avances científicos del año 2012, que comentan a continuación. Estos hitos son de diversas áreas científicas: química, física, biología, geología y matemáticas. Las fuentes de información han sido las publicaciones científicas originales, notas de prensa de los organismos de investigación y noticias en medios de comunicación. Aparte de estos hitos, en cada edición de *Anales de Química de 2012*, hemos seleccionado una serie de artículos científicos de especial relevancia que se han comentado en la sección "Noticias Científicas Relevantes".

1. ¿Detectando el bosón de Higgs? y otros experimentos en los aceleradores de partículas.

El año 2012 comenzaba con la presentación de los primeros resultados en la sede de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN), en Ginebra, que apuntaban a la existencia del bosón de Higgs, propuesto por Peter Higgs (Figura 1) en 1964. El bosón de Higgs es una partícula elemental propuesta en el modelo estándar de física de partículas. La existencia del bosón de Higgs, y su campo asociado, permitiría explicar el origen de la masa de las partículas elementales. Esta partícula constituye el cuanto del campo de Higgs (la más pequeña excitación posible de este campo). Según el modelo propuesto, no posee espín, carga eléctrica o de color, es muy inestable y se desintegra rápidamente, su vida media es del orden de 10^{-21} segundos.

Los experimentos ATLAS y CMS del Gran Colisionador de Hadrones (LHC, *Large Hadron Collider*) no eran concluyentes y se limitaron a "estrechar el cerco" sobre la elusiva partícula. No fue hasta el 4 de julio de este año cuando se presentaron resultados que parecen indicar la existencia de esta partícula; aunque aún tienen que ser confirmados (Figura 2). Estos resultados fueron obtenidos tras analizar una ingente cantidad de datos aportados por miles de científicos (incluyendo varios grupos españoles). Se han observado bosones en el rango de energía esperado (entre los 125 y 126 GeV).

Ahora falta determinar si la nueva partícula se comporta como dicta el modelo estándar de física de partículas y, en un paso más allá, su importancia para la comprensión del Universo.

Aparte de la búsqueda del bosón de Higgs, en el LHC también se realizan multitud de experimentos encaminados a entender la estructura íntima de la materia. En uno de estos experimentos, usando el detector *Alice* (Figura 3), se ha generado plasma a temperaturas de millones de grados (se afirma que a unas cien mil veces la temperatura del Sol), en la que los núcleos atómicos se disgregan en sus componentes (quarks y gluones), obteniéndose una sopa de partículas con propiedades exóticas. Con estos experimentos se recrean los primeros instantes después del *Big Bang*. Para conseguir estos resultados es necesario acelerar núcleos de plomo a velocidades cercanas a la luz y chocarlos contra protones. El objetivo de estos experimentos es conocer la composición interna de los nucleones (protón y neutrón) y, especialmente, saber a que es debida su masa, lo que se relaciona directamente con el bosón de Higgs. Estos experimentos, que han supuesto un gran reto tecnológico, se continuarán en 2013.

Estas investigaciones en la búsqueda del bosón de Higgs, el origen de la masa y de la materia oscura, pueden tener una gran influencia en el desarrollo futuro de la química.

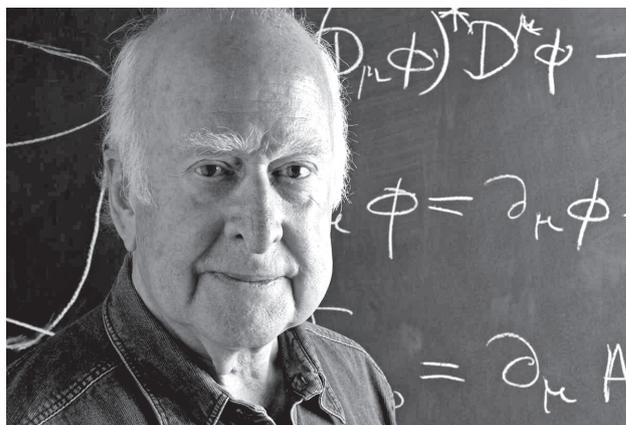


Figura 1. Peter Higgs

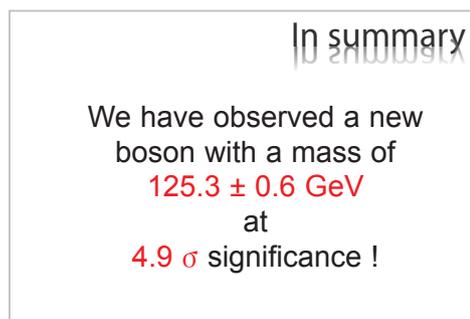


Figura 2. Imagen de la diapositiva anunciando el descubrimiento de un serio candidato a bosón de Higgs.

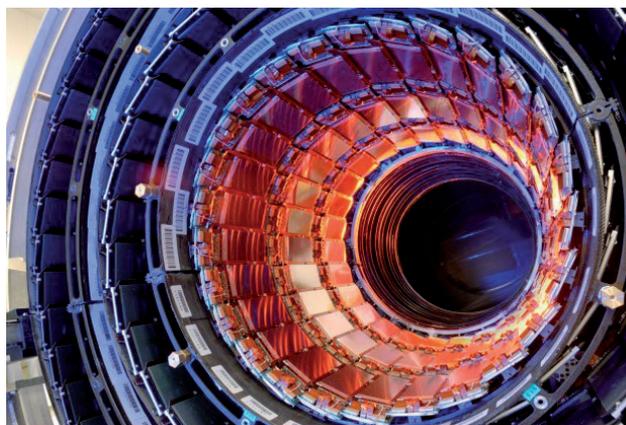


Figura 3. Colisiones entre protones e iones de plomo en el experimento ALICE del LHC. Imagen: ALICE/CERN.

2. El grafeno sigue dando mucho juego

Después de ocho años de su descubrimiento (*Science* **2004**, 306, 666) y dos después del Premio Nobel de Física a Geim y Novoselov (<http://bit.ly/skmh4D>), la investigación en el grafeno (Figura 4) y algunas de sus variantes sigue produciendo resultados muy interesantes en una variedad de áreas y temas de investigación, como química, física, ciencias de materiales, biomedicina, energía, electrónica, ingeniería, tecnología, etc. Estos resultados tienen implicaciones teóricas y prácticas.

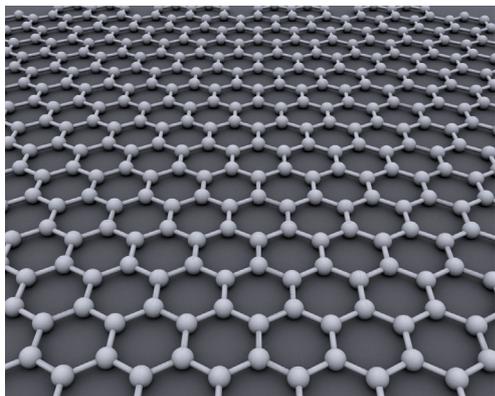


Figura 4. Estructura del grafeno.

Además, los resultados prometedores obtenidos con el grafeno ha abierto la puerta a la investigación en materiales moleculares con estructura en capas de poco grosor (hay que recordar que el grafeno es una molécula gigante con el espesor de sólo un átomo, de carbono). Uno de los más prometedores es la molibdenita (un mineral, disulfuro de molibdeno, Figura 5), que puede tener aplicaciones en electrónica y catálisis. Alguna publicación sobre la molibdenita se ha reseñado en *Anales de Química* **2012**, 108, 180.

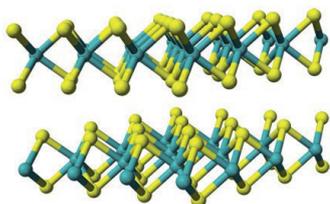


Figura 5. Estructura cristalina de la molibdenita.

Algunas publicaciones describiendo investigaciones con grafeno se indican a continuación:

1. Estudios de permeabilidad de agua a través de membranas basadas en grafeno: Geim y colaboradores, *Science* **2012**, 335, 442.
2. Condensadores electroquímicos: El-Kady *et al.*, *Science* **2012**, 335, 1326; Lee *et al.*, *ChemSusChem* **2012**, 5, 2328.
3. Síntesis química de fragmentos de grafeno y análogos: Alonzo *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 173; Götzhäuser, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, 51, 10936 (highlights).
4. Derivados funcionalizados del grafeno: Guldi y colaboradores, *Acc. Chem. Res.* **2012**, en prensa, DOI: 10.1021/ar300124z; Georgakilas *et al.*, *Chem. Rev.* **2012**, 112, 6156–6214 (revisión); Castelaín *et al.*, *Chem. Eur. J.* **2012**, 18, 4965.

5. Receptores artificiales derivados de óxido de grafeno: Chou *et al.*, *J. Am. Chem. Soc.* **2012**, 134, 16725.
6. Plasmones de grafeno: Chen *et al.*, *Nature* **2012**, 487, 77.
7. Transistores basados en grafeno: Britnell *et al.*, *Science*, **2012**, 335, 947.
8. Sensor de gases: Docherty *et al.*, *Nature Comm.* **2012**, 3, art 1228.
9. Interruptores moleculares: Yan *et al.*, *Asian J. Org. Chem.* **2012**, en prensa, DOI: 10.1002/ajoc.201200102.
10. Tribología: N'guessan *et al.*, *Nature Comm.* **2012**, 3, art 1242.
11. Sensores químicos: Kochmann *et al.*, *Trends Anal. Chem.* **2012**, 39, 87 (revisión).
12. Estudios estructurales: Fujii y Enoki, *Acc. Chem. Res.* **2012**, en prensa, DOI: 10.1021/ar300120y.
13. Toxicidad: Bussy *et al.*, *Acc. Chem. Res.* **2012**, en prensa, DOI: 10.1021/ar300199e.
14. Equipamiento nanofotónico: Kim *et al.*, *Nature Comm.* **2012**, 3, 1123.
15. Equipamiento termoacústico: Ruoff y colaboradores, *Adv. Materials* **2012**, 47, 6342.
16. Superconductividad: Profeta *et al.*, arXiv:1105.3736v1

3. Conociendo el genoma: proyecto ENCODE

En 2012, a través de varias decenas de artículos científicos, se presentó la “Enciclopedia de los Elementos del DNA” o proyecto ENCODE; una colaboración internacional coordinada a través del NIH de Estado Unidos, que ha logrado constituir una lista de elementos funcionales del genoma humano.

Con esta investigación se persigue, entre otros aspectos moleculares, redefinir y actualizar el concepto de gen; de caracterizar aquellos elementos que interaccionan a todos los niveles con la expresión génica, desde el propio DNA hasta las proteínas, pasando por las transcripciones que no acaban en una proteína, sino que constituyen ese emergente campo del RNA regulador, no codificante. Esto último permitiría entender incluso la evolución o cómo pequeñas variaciones en una secuencia del genoma pueden producir distintas especies.

Los resultados analizaron los detalles moleculares de cuatro millones de regiones reguladoras del genoma humano y se publicaron en revistas como *Nature*, *Science* o *Genome Research* (Figura 6). En perspectiva, estos resultados nos colocan en un punto de inflexión en la comprensión del imbricado proceso molecular que subyace tras un ser vivo.

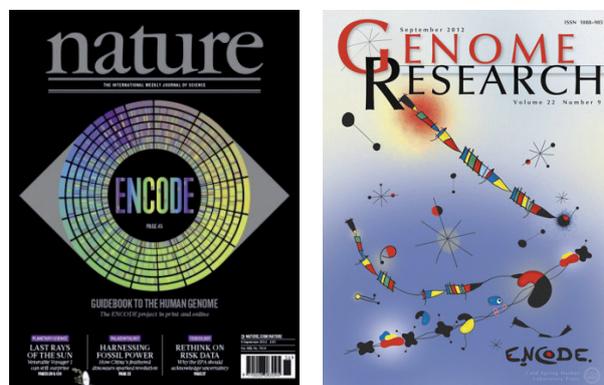


Figura 6. Portada de las revistas *Nature* y *Genome Research* en la que se publicaron resultados del proyecto ENCODE.

4. Avances en teoría de números

En el último año se ha avanzado considerablemente en la demostración de dos conjeturas de teoría de números que tienen que ver con el conocimiento de los números primos, la factorización de sumas de números primos y el Último Teorema de Fermat. Estos resultados tienen aplicaciones en criptografía.

La Conjetura de Goldbach (<http://bit.ly/dQ2q7m>), es uno de los problemas abiertos en matemáticas desde hace casi 300 años; que afirma que “todo número par mayor que dos se puede expresar como la suma de dos número primos”. En 2012, Terence Tao (un genio de las matemáticas, ganador de medallas de bronce, plata y oro en las Olimpiadas Internacionales de Matemáticas cuando tenía 11, 12 y 13 años respectivamente; actualmente profesor en UCLA y medallista Fields en 2006, <http://www.math.ucla.edu/~tao/>, Figura 7) ha demostrado que “cualquier número impar se puede expresar como la suma de un máximo de cinco números primos” (<http://bit.ly/xKULEZ>), lo que supone un avance hacia la demostración de la Conjetura Débil de Goldbach (“todo número primo mayor de siete puede expresarse como la suma de tres número primos impares”).



Figura 7. Terence Tao, en el centro, junto a parte de la delegación española en la 50ª Olimpiada Internacional de Matemáticas (2010, Bremen, Alemania).

En el último mes se ha anunciado la demostración de la Conjetura abc, que está relacionada con el Último Teorema de Fermat; aunque aún debe comprobarse la veracidad de la demostración, lo que puede llevar varios meses debido a lo complicado y extensión de la misma.

Estas noticias han sido comentadas con la inestimable ayuda de Miguel Ángel Morales (@gaussianos) y Moisés Herradón.

5. Avances en astronomía, astrofísica y astroquímica

Desde 1988 cuando se postuló la existencia de un planeta extrasolar (Campbell, Walker, Yang, *Astrophys. J.* **1988**, 331, 902), pasando por 1995 en que se confirmó experimentalmente (Mayor y Queloz, *Nature* **1995**, 378, 355–359), se han detectado casi 900 planetas extrasolares. Actualmente tenemos imágenes de muchos de ellos y conocemos datos sobre su atmósfera. Este tipo de investigaciones conducen a preguntas con profundas connotaciones filosóficas, como ¿existen planetas habitables? ¿existe vida en otros planetas?

Ésta es un área de investigación muy activa que necesita grandes instalaciones científicas, como telescopios potentes en la Tierra o telescopios en sondas espaciales (observatorios Kepler o Hubble, entre otros). Un exoplaneta se detecta estudiando el pequeño movimiento que provoca en la estrella que orbita. Para ello se necesitan técnicas científicas especiales como la óptica adaptativa, usada para eliminar las distorsiones provocadas por la atmósfera terrestre.

El Telescopio Europeo Extremadamente Grande (EELT) en Chile, en el que participan varios países europeos, será un instrumento adecuado para hacer este tipo de investigaciones. Confiamos en que España finalmente encuentre financiación para entrar en este proyecto.

Algunos hitos en esta área son el descubrimiento de un planeta formado principalmente por carbono (grafito y diamante) con posible agua en estado supercrítico en su interior. Este planeta es el 55 Cancri (Figura 8), que orbita una estrella en la constelación de Cáncer, a 40 años luz de la Tierra. Los resultados se han publicado en *Astrophys. J. Lett.* (<http://arxiv.org/abs/1210.2720>).

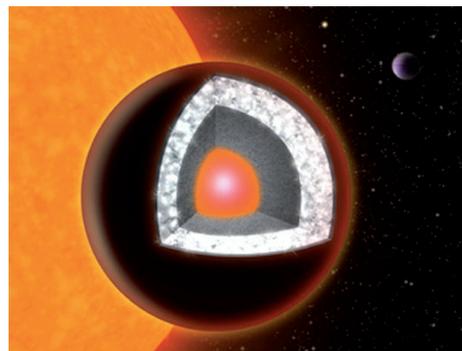


Figura 8. Simulación del planeta 55 Cancri, formado principalmente por carbono.

Otras investigaciones han estudiado la formación de ozono (*Astrophys. J.* **2012**, 745, 103) o naftaleno (*PNAS* **2012**, 109, 53) en el espacio interestelar, o han detectado la presencia de moléculas pequeñas (agua, CO, CO₂, amoníaco, metano o ácido glicólico entre otros) en planetas lejanos. Todas estas investigaciones tienen repercusión en los medios de comunicación.

Hay que destacar que esta área científica cada vez usa más recursos de la química-física (espectroscopía en diversas regiones del espectro electromagnético) y ya debería llamarse astroquímica.

Otra investigación interesante sobre el origen de la Vía Láctea se publicó en *Nature* **2012**, 490, 24. Al parecer, galaxias grandes como la nuestra, la Vía Láctea, se han podido formar a partir de la fagocitosis o unión de otras previas más pequeñas. De ser así, debería de haber un buen número de galaxias menores alrededor de grupos de galaxias mayores, algo que no se ha podido observar y que difiere de las simulaciones realizadas hasta la fecha. En este sentido, el artículo publicado en *Nature* ha descrito una galaxia satélite oscura muy masiva junto a un grupo local de galaxias a diez mil millones de años luz, sugiriendo que el número de estos satélites es mayor del que se pensaba por las simulaciones. Esta galaxia oscura y pequeña tiene una masa similar a la

de Sagitario, satélite de nuestra Vía Láctea y podría servir para explicar la presencia de la materia oscura que, según las predicciones, formarían hasta el 25% de la masa del universo. Los autores concluyen que las galaxias se formaron mediante una estructura jerárquica en un universo compuesto básicamente por materia oscura fría, difícil de detectar.



Figura 9. Vista de la Vía Láctea desde el ESO (*European Southern Observatory*).

Estudios astrofísicos recientes han determinado que la relación entre las masas del protón y del electrón ha permanecido invariable al menos en los últimos siete mil millones de años (aproximadamente la mitad de la edad del universo). Han usado un radio telescopio de 100 metros para medir la absorción de la radiación por parte del metanol en el universo antiguo (en prensa en la revista *Science*).

Algunas conclusiones de estos estudios es que se va avanzando en el conocimiento de la energía y materia oscura; cuya confirmación y caracterización revolucionarán la ciencia; incluida, por supuesto, la química.

6. Nuevo virus emergente

Los *Orthobunyavirus* son agentes infecciosos que producen enfermedades en el ganado vacuno, transmitidas por picaduras de dípteros parecidos a mosquitos. En la pasada primavera un nuevo miembro de este género de virus apareció en vacas europeas. El análisis genómico a gran escala sirvió para identificar a este nuevo virus, aislado de la sangre de los animales afectados, denominado *Schmallenberg*, por la ciudad germana donde fue hallado en vacas. El virus produce, entre otros síntomas, fiebre, descenso de la producción láctea, diarreas, y lo que es peor, malformaciones en fetos y abortos. Además de a vacas, el virus infecta a ganado ovino y caprino, pudiendo llegar a provocar abortos y malformaciones congénitas. Tras su paso por Alemania, Reino Unido, Bélgica y Holanda, también se confirmó su presencia en Andalucía (<http://bit.ly/xK4aMg>).

7. Compuestos químicos que curan la ceguera

La retinitis pigmentosa (RP) y la degeneración macular provocada por el envejecimiento (AMD) son dos enfermedades degenerativas que provocan ceguera. La etiología es debida a la destrucción de los conos y los bastones. Aunque

el resto del sistema visual permanece intacto, el paciente es incapaz de responder a estímulos luminosos. En 2012 se ha publicado una interesante investigación en la que usando una sustancia química, AAQ (*acrylamide-azobenzene-quaternary ammonium*), con capacidad de isomerizarse fotoquímicamente (*photoswitch*), se ha podido revertir el proceso de manera temporal en experimentos realizados con ratones. Se ha encontrado que inyecciones intraoculares de AAQ es capaz de restaurar la sensibilidad a la luz de la retina. AAQ y moléculas relacionadas pueden constituir una estrategia adecuada en este campo terapéutico (*Neuron* **2012**, *75*, 271).

8. Observando simultáneamente la dualidad onda-partícula de los fotones

La dualidad onda-partícula es la base de la mecánica cuántica. Los sistemas cuánticos exhiben comportamiento de onda o de partícula dependiendo del instrumental de medida usado para determinarlo. Sin embargo, el comportamiento simultáneo de ambas facetas no había sido observado hasta este año, en que dos grupos independientes, usando técnicas experimentales muy sofisticadas (chip fotónico cuántico), han sido capaces de describir el comportamiento simultáneo como onda y partícula de los fotones. Los resultados se han publicado en dos artículos en *Science* **2012**, *338*, 634 y *Science* **2012**, *338*, 637.

Hay que recordar que el Premio Nobel de Física de 2012 ha sido otorgado a Haroche y Wineland por sus investigaciones independientes de la manipulación experimental de sistemas cuánticos (<http://bit.ly/Okngzn>). Todas las investigaciones experimentales de fenómenos cuánticos suponen un progreso en el conocimiento del comportamiento de la materia y, desde un punto de vista práctico, nos acerca a la computación cuántica.

9. La nanotecnología al servicio de la salud humana

La aplicación de sistemas miniaturizados en salud humana es un reto científico que supondrá un progreso considerable en nuestro bienestar. El área emergente de la nanobiomedicina es una de las ramas científicas con mayor proyección de futuro. En 2012 se han producido avances notables en este campo.

Un hito destacado ha sido la aplicación de un nanorrobot construido con moléculas de DNA que es capaz de transportar y liberar fármacos de manera controlada en células cancerosas específicas (Figura 10). El nanorrobot está “construido” de fragmentos cortos de oligonucleótidos (aptámeros de DNA) que pueden unirse a antígenos específicos. Cuando el robot encuentra un antígeno en la superficie de una célula, se une al aptámero, produciéndose un cambio estructural en el Nanorrobot (como si abriese una puerta), liberando el fármaco que transporta. En los resultados publicados en *Science* **2012**, *335*, 831, el robot transporta anticuerpos capaces de reconocer células cancerosas y provocar su muerte. La estrategia es útil en otras áreas terapéuticas.

Otro avance significativo en este campo han sido el uso de nanopartículas “inteligentes” capaces de liberar selectivamente fármacos con potencial utilidad en cáncer, enfermedad de Parkinson o enfermedad de Alzheimer. Los resultados se publicaron en *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 10556.

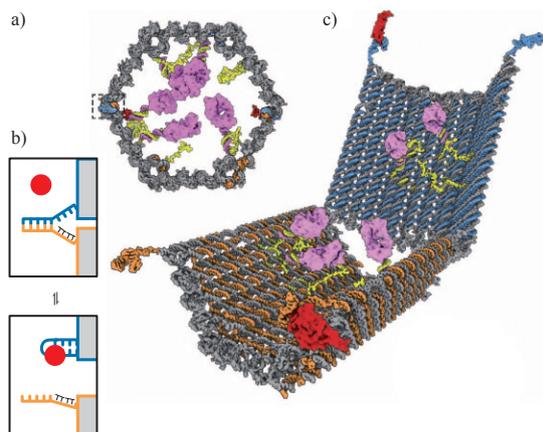


Figura 10. Estructura del nanorrobot construido con aptámeros de DNA. La figura A muestra el nanorrobot “cerrado” conteniendo su “carga”. La figura B muestra el mecanismo de interacción con la superficie de la célula y liberación de la “carga”. En la figura C se muestra la estructura del nanorrobot “abierto”.

Una estrategia similar se ha descrito en *Nano Lett.* **2012**, *12*, 5475; en la que se usan estructuras basadas en nanotubos de carbono (CNTs) para transportar fármacos a las células objetivo. Los nanotubos empleados son muy grandes, alrededor de 40 nm de diámetro (los CNTs tradicionales tienen alrededor de 1 nm de diámetro); por lo que pueden transportar moléculas en su interior. De hecho, en la publicación se describe el transporte de dos fármacos anticáncer simultáneamente, el taxol y la ceramida C-6, que se cargan al nanotubo usando un hidrogel sensible al calor. Los fármacos son transportados y liberados haciendo uso de campos magnéticos.

En otro interesante avance, se han conseguido nanofármacos quimioterapéuticos para combatir el cáncer. En este caso, la activación selectiva del fármaco se logra fototérmicamente. Los resultados se publicaron en *Dalton Trans.* **2012**, *41*, 9286 y fueron comentados en la sección “Noticias Científicas Relevantes” de *Anales de Química* **2012**, *108*, 279.

En una reciente publicación (*Nature Nanotechnology* **2012**, *7*, 825–832), se han obtenido biomateriales que pueden usarse como piel artificial. El desarrollo se basa en un material compuesto por un polímero, micropartículas nanoestructuradas de níquel y urea. La piel humana es capaz de responder a estímulos mecánicos, como el tacto o la presión, en forma de impulsos nerviosos eléctricos. Crear un material mimético de la piel humana que reúna estas condiciones y, además, sea capaz de repararse a temperatura ambiente, supone un gran reto científico. Estos resultados se comentan más ampliamente en la sección “Noticias Científicas Relevantes” de *Anales de Química* **2012**, *108*, 374.

10. Descubren en una cueva de Cantabria un nuevo mineral único en el mundo

Un nuevo mineral, la zaccagnaita-3R (<http://bit.ly/HGiHhD>), se ha descubierto en la cueva El Soplao (Cantabria). Se trata del primer caso descrito de una zaccagnaita formada en una cueva, lo que convierte a esta especie en un nuevo mineral espeleotémico y a El Soplao en una cavidad única por albergarlo. El hallazgo se publicó en *American Mineralogist* **2012**, *97*, 513–523 (Figura 11).

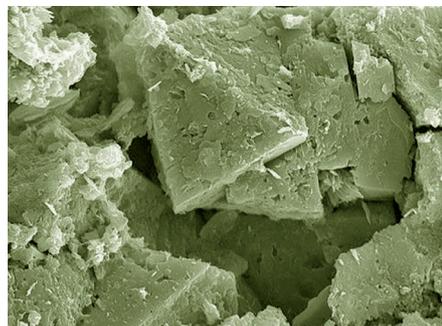


Figura 11. Cristales de zaccagnaita-3R.

El nuevo mineral espeleotémico de El Soplao se distingue también por su peculiar morfología octaédrica y un zonado de fluorescencia, desconocidos en hidrotalcitas naturales (grupo al que pertenece la zaccagnaita).

La zaccagnaita es un mineral del grupo de las hidrotalcitas, minerales relativamente raros que tienen un gran interés por sus aplicaciones prácticas, especialmente como catalizadores en procesos industriales, en tratamiento de aguas y en farmacia (<http://bit.ly/V4FdJK>). Algunos usos farmacéuticos son antiácido, antiséptico, tratamientos de deficiencia de hierro, así como excipiente y estabilizador en pomadas y cataplasmas para la protección de pieles dañadas. Las aplicaciones industriales incluyen su uso como estabilizador de PVC, en el tratamiento de aguas residuales, absorción de óxidos de azufre, retardante de llama, intercambiador de iones y tamiz molecular.

La composición química de la zaccagnaita incluye, principalmente, zinc, aluminio, aniones carbonato y agua. Hay que destacar que la zaccagnaita de El Soplao es más rica en aluminio que otros minerales del grupo. Una característica única de este mineral es que se trata de un politipo (el 3R, que es trigonal) desconocido previamente. Los diferentes politipos que puede tener una especie mineral tienen composición química y elementos estructurales básicos similares, pero su estructura cristalina es diferente.

11. ¿Censura o precaución virológica?

Si el virus de la denominada gripe aviar (H5N1) llegara a contagiarse entre humanos con la virulencia vista hasta la fecha, estaríamos hablando de un riesgo real muy serio para la salud humana mundial. En este sentido, investigadores del *Eramus Medical Center* de Rotterdam, en los Países Bajos, estudiaron en hurones las mutaciones que convertirían al H5N1 aviar en infeccioso para nuestra especie. Se caracterizaron las secuencias genéticas implicadas en transmisión y virulencia. Esto hizo que la revista *Science* tuviera que esperar a que el Consejo Asesor Científico Nacional para la Bioseguridad de Estados Unidos diera su visto bueno, total o parcial, a la publicación del artículo. El riesgo a que la información pudiera caer en manos de grupos bioterroristas pesó mucho. ¿Se puede embargar, ocultar o manipular información de interés científico en aras de la supuesta bioseguridad? Al final, los datos vieron la luz con una fuerte “autocensura” de los grupos participantes. Se evitaron detalles demasiado precisos, susceptibles de servir para fines espurios (*Science* **2012**, *336*, 1534).



Alrededor de la Química

- **Cossío, Fernando P.**
La atracción de talento como eje de la gestión de la *I + D*: El caso de la Fundación Ikerbasque • **2012, 108(2)**, 160–165.
- **Lucena, Rafael**
Véase, Valcárcel, Miguel
- **Marchal, Antonio**
¡Estáis hechos unos Elementos! Algo más que una historia teatralizada de la tabla periódica para la Noche de los Investigadores • **2012, 108(2)**, 149–153.
- **Mulet, José M.**
Historia contra la quimiofobia alimentaria • **2012, 108(3)**, 263–267.
- **Pinto, Gabriel**
Una propuesta de divulgación científica: actividades festivas para niños y jóvenes... ¡cumple con la química! • **2012, 108(4)**, 344–351.
- **Prolongo-Sarria, María Luisa**
Véase Pinto Cañón, Gabriel
- **Valcárcel, Miguel**
La responsabilidad social de la ciencia y tecnología • **2012, 108(2)**, 156–159.

Aula y Laboratorio de Química

- **García-Granda, Santiago**
Véase Torre-Fernández, Laura
- **Torre-Fernández, Laura**
La Química en el Cine: Ficción o realidad • **2012, 108(1)**, 44–48.

Enseñanza de la Química

- **Martín-Sánchez, Manuela**
Véase Pinto, Gabriel
- **Martín-Sánchez, María Teresa**
Véase Pinto, Gabriel
- **Martínez-Pons, José Antonio**
La corona de Gerión y el Eureka de Arquímedes • **2012, 108(2)**, 119–125.
- **Pinto, Gabriel**
Sistema Internacional de Unidades: resumen histórico y últimas propuestas • **2012, 108(3)**, 236–240.

Historia de la Química

- **Acuña, A. Ulises**
Histoquímica • **2012, 108(2)**, 114–118.
- **Alemañ Berenguer, Rafael Andrés**
El concepto de equilibrio químico. Historia y controversia • **2012, 108(1)**, 49–56.
- **Bustelo Lutzardo, José Antonio**
Los elementos perdidos de la tabla periódica: sus nombres y otras curiosidades • **2012, 108(1)**, 57–64.
- **Elguero, José**
Véase Acuña, A. Ulises
- **Fernández, Eduardo J.**
El icono de los químicos: la tabla periódica de los elementos • **2012, 108(4)**, 314–321.

- **Fernández, Julio**
Véase Fernández, Eduardo J.
- **García-Martínez, Javier**
Véase Bustelo Lutzardo, José Antonio
- **Martínez-Reina, Marlon**
Filatelia y sistema internacional de unidades • **2012, 108(3)**, 215–224.
- **Martínez-Ripoll, Martín**
¿Cómo aprendimos a “ver” átomos y moléculas después de Von Laue? • **2012, 108(3)**, 225–235.
- **Martín-Sánchez, Manuela**
Aportaciones de Alan Turing al ámbito de la química: Teoría de la morfogénesis e interpretación de algunas reacciones químicas • **2012, 108(4)**, 322–327.
- **Martín-Sánchez, María Teresa**
Véase Martín Sánchez, Manuela
- **Pinto, Gabriel**
Véase Martín Sánchez, Manuela
- **Román-Polo, Pascual**
– *Véase* Bustelo Lutzardo, José Antonio
– *Véase* Martínez-Ripoll, Martín

Investigación Química

- **Avendaño López, M^a del Carmen**
La paradoja farmacéutica. Anticancerosos basados en la hipoxia celular. Inhibidores PARP • **2012, 108(4)**, 290–297.
- **Blanco-Lomas, Marina**
Interruptores moleculares biomiméticos • **2012, 108(2)**, 92–99.
- **Botas, Juan A.**
Véase Orcajo, M. Gisela
- **Calleja, Guillermo**
Véase Orcajo, M. Gisela
- **Campos, Pedro J.**
Véase Blanco-Lomas, Marina
- **Cañas Montalvo, Benito**
Véase Gómez Gómez, M^a Milagros
- **Cerón-Carrasco, José Pedro**
Claves teóricas de la mutación espontánea en el ADN • **2012, 108(3)**, 197–204
- **De las Rivas, Matilde**
Véase Blanco-Lomas, Marina
- **Delgado-Martín, Julio**
Las moléculas de agua, la química y la vida • **2012, 108(2)**, 100–105.
- **Elguero, José**
¿Divulgar? • **2012, 108(1)**, 39–39.
- **Gándara, Felipe**
Metal-organic frameworks: nuevos materiales con espacios llenos de posibilidades • **2012, 108(3)**, 190–196.
- **Granja, Juan R.**
Véase Otero, Jorge
- **Gómez Gómez, M^a Milagros**
Estrategias bioanalíticas en estudios metalómicos de fármacos de platino • **2012, 108(1)**, 21–28.
- **Jacquemin, Denis**
Véase Cerón-Carrasco, José Pedro
- **Mena Fernández, M^a Luz**
Véase Gómez Gómez, M^a Milagros
- **Merino, Sonia**
Véase Romero Nieto, Carlos

- **Moreno Gordaliza, Estefanía**
Véase Gómez Gómez, M^a Milagros
- **Orcajo, M. Gisela**
Materiales MOF para el almacenamiento de hidrógeno • 2012, 108(1), 13–20.
- **Otero, Jorge**
Aprendiendo de la naturaleza: reacciones en cascada en síntesis • 2012, 108(2), 106–113.
- **Palacios Corvillo, M^a Antonia**
Véase Gómez Gómez, M^a Milagros
- **Parra, Alejandro**
El Sueño de Brønsted: Ácidos Fosfóricos Quirales • 2012, 108(1), 5–12.
- **Puga, Alberto V.**
Líquidos iónicos como electrolitos estables para baterías de litio y otros dispositivos de almacenamiento de energía • 2012, 108(4), 298–305.
- **Requena, Alberto**
Véase Cerón-Carrasco, José Pedro
- **Rivado-Casas, Laura**
Véase Blanco-Lomas, Marina
- **Rodríguez López, Julián**
Véase Romero Nieto, Carlos
- **Romero Nieto, Carlos**
Fosfoles como nuevos materiales luminiscentes • 2012, 108(1), 29–38.
- **Sampedro, Diego**
Véase Blanco-Lomas, Marina
- **Sánchez-Sánchez, Manuel**
Véase Orcajo, M. Gisela
- **Suárez, Andrés**
Reacciones de cicloadición 1,3-dipolares a alquinos catalizadas por cobre • 2012, 108(4), 306–313.
- **Vila, Carlos**
Véase Riojas Parra, Alejandro.
- **Zúñiga, José**
Véase Cerón-Carrasco, José Pedro

Laboratorio de Química

- **Correa-Duarte, Miguel A.**
Véase Vázquez-Vázquez, Carmen
- **De Prada-Pérez de Azpeitia, Fernando Ignacio**
Nuevos pictogramas de productos químicos peligrosos • 2012, 108(3), 247–253.
- **Pérez-Lorenzo, Moisés**
Véase Vázquez-Vázquez, Carmen
- **Salgueiriño, Verónica**
Véase Vázquez-Vázquez, Carmen
- **Vázquez-Vázquez, Carmen**
Fabricación de cápsulas inorgánicas: Introducción experimental al desarrollo de estructuras nanométricas funcionales • 2012, 108(3), 241–246.

Química y Medio Ambiente

- **Galán, Maribel**
Véase Izquierdo, José Felipe
- **Gil, María J.**
Véase Martínez- Merino, Víctor
- **Izquierdo, José Felipe**
Revalorización de la glicerina para producir aditivos de combustibles mediante eterificación con olefinas C₅ • 2012, 108(1), 40–43.

- **Jutglar, Luis**
Véase Izquierdo, José Felipe
- **Martínez- Merino, Víctor**
Fuentes renovables para la producción de materias • 2012, 108(3), 205–214.
- **Villarrubia, Miguel**
Véase Izquierdo, José Felipe

Recordando el AIQ

- **Aguayo, Alberto**
El Año Internacional de la Química. Una celebración útil para la docencia de la Química en la educación secundaria • 2012, 108(2), 126–134.
- **Ayora-Cañada, María José**
Un año con química en la Universidad de Jaén • 2012, 108(2), 139–143.
- **Bardají, Manuel**
“La Química a escena” en el Museo de la Ciencia de Valladolid, una tabla periódica interactiva 3D y mucho más • 2012, 108(4), 328–333.
- **Blázquez, Manuel**
Véase Marinas, Alberto
- **Busto, J. Héctor**
El Año Internacional de la Química en La Rioja: un año en nuestra vida, una apuesta para nuestro futuro • 2012, 108(4), 340–343.
- **Campos, Pedro J.**
Véase Busto, J. Héctor
- **Domínguez-Vidal, Ana**
Véase Ayora-Cañada, María José
- **Donoso, Josefa**
Véase Gómez, Enrique
- **Fernández-Liencres, M. Paz**
Véase Ayora-Cañada, María José
- **Ferrando, Laura**
Un año del CSIC entre moléculas • 2012, 108(3), 258–262.
- **Frau, Juan**
Véase Gómez, Enrique
- **García-Martínez, Javier**
El experimento global del año internacional de la química. Agua: Una solución química • 2012, 108(2), 135–138.
- **Gómez, Enrique**
La química, protagonista en las Islas Baleares durante el año 2011 • 2012, 108(3), 254–257.
- **Gutiérrez, Covadonga**
Véase Aguayo, Alberto
- **Llera, Laura**
Véase Ferrando, Laura
- **Marchal, Antonio**
Véase Ayora-Cañada, María José
- **Marinas, Alberto**
Córdoba celebra la Química • 2012, 108(4), 324–339.
- **Michán, Carmen**
Véase Marinas, Alberto
- **Ramírez de Arellano, Carmen**
Valencia en el Año Internacional de la Química • 2012, 108(2), 144–148.
- **Rodríguez, Inés**
Véase Bardají, Manuel
- **Roldán-Arjona, Teresa**
Véase Marinas, Alberto
- **Tigeras, Pilar**
Véase Ferrando, Laura

B2 Q0 S1 3

Bienal
Química
Santander



Playa de Liencres (Cantabria)

XXXIV

REUNIÓN BIENAL

Real Sociedad Española de Química

Santander 15-18 septiembre 2013

Web: rseq2013.unican.es



SIMPOSIA

Adsorción y Catálisis Heterogénea (ADS)
Educación, Historia y Divulgación de la Ciencia (EHD)
Estructura y Reactividad: de la Teoría al Experimento (ESTR)
Ingeniería Química (IQ)
Medio Ambiente y Energía (MAMB)
Nanociencia y Nanotecnología (NANO)
Química Analítica, Aplicaciones en Alimentos y Química Agrícola, Sensores (QA)
Química en la Frontera con la Biología (QBIO)
Química Inorgánica, Química de Estado Sólido y Cristalografía (INOR)
Química Organometálica y Catálisis Homogénea (ORGM)
Síntesis (SIN)

EVENTOS SATÉLITE

Institutos de Investigación
Centros Tecnológicos
Servicios Científico-Técnicos/Grandes Instalaciones/Instrumentación
Innovación y Empleo para Jóvenes Investigadores

CALENDARIO

Diciembre 2012: apertura de registro
1 abril 2013: fin reserva de alojamiento económico
15 abril 2013: fin envío de resúmenes
30 abril 2013: comunicación aceptación de resúmenes
15 mayo 2013: fin inscripción temprana

CONFERENCIAS PLENARIAS

Prof. Dr. Richard Darton
Presidente de la European Federation of Chemical Engineering (EFCE)
University of Oxford, Reino Unido

Prof. Dr. Alois Fürstner
Max-Planck-Institut, Alemania

Prof. Dr. Robert H. Grubbs
PREMIO NOBEL QUÍMICA 2005
California Institute of Technology (Caltech), EEUU

Prof. Dr. Kazuyuki Tatsumi
PRESIDENTE IUPAC
Research Center for Materials Science, Nagoya University, Japón

Prof. Dr. Nazario Martín León
Universidad Complutense de Madrid, España

Prof.ª Dr.ª María Vallet-Regí
Universidad Complutense de Madrid, España

INSCRIPCIÓN

Categoría	Temprana (€)	Ordinaria (€)	En sede (€)
Socios RSEQ/SPQ	300	350	400
No socios RSEQ/SPQ	370	420	470
Estudiantes Socios RSEQ/SPQ	150	200	250
Estudiantes No Socios RSEQ/SPQ	200	250	300

*Inscripción: registro y documentación del congreso. Límite: 2 comunicaciones/inscripción.

Alojamiento a precio reducido en La Magdalena: **30 € por persona y noche**

Organizan:



Colaboran:



Patrocinan:



PROQUINORTE, S.A.



The New Aldrich Sure/Seal™ System



The Ideal Solution for Anhydrous
Solvents and Air-Sensitive Reagents

For more information on the new Aldrich Sure/Seal System and related products, visit

aldrich.com/sureseal.