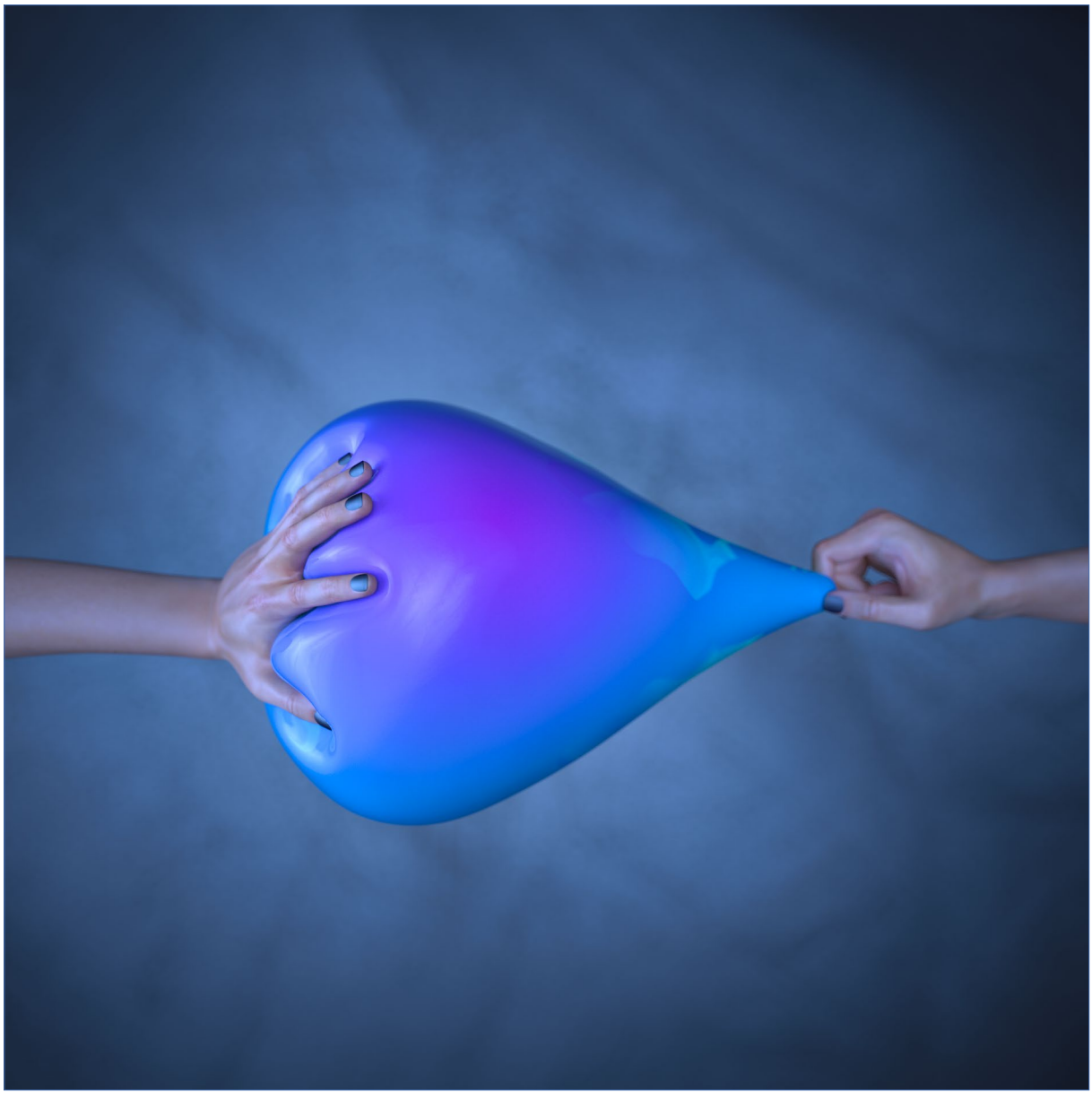
ISSN: 2792-520X

Anales de Química de la RSEQ

La revista de la Real Sociedad Española de Química

Vol. 121 • Nº 2 • www.analesdequimica.es



DOI: 10.62534/rseq.aq.121.2

RSEQ Real Sociedad Española de Química

Anales de Química de la RSEQ
Revista editada en Madrid por la Real Sociedad Española de Química

Editor General

Juan Ángel Casares González
Departamento de Química Física y Química Inorgánica, Universidad de Valladolid.

Editora Ejecutiva

Bibiana Campos Seijo

Comité Editorial

Fernando P. Cossío
IKERBASQUE Basque Foundation for Science, Bilbao, Bizkaia. Vicepresidente de la RSEQ.

Gabriel Cuevas González
Instituto de Química de la UNAM (México).

Luis Alverto Echegoyen
Institut Català d'Investigació Química (ICIQ). Profesor emérito de la Universidad de Tejas, El Paso.

Ana M. Geer
Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea (ISQCH), CSIC-Universidad de Zaragoza.

Carlos Martí-Gastaldo
Instituto de Ciencia Molecular (ICMol), Universidad de Valencia.

Gabriel Pinto Cañón
Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Madrid.

Alfonso Salinas Castillo
Departamento de Química Analítica, Universidad de Granada.

Miquel Solà
Instituto de Química Computacional y Catálisis. Universidad de Girona.

Rolando Ángel Spanevello
Universidad Nacional de Rosario (Argentina).

Uxue Uria
Departamento de Química Orgánica e Inorgánica de la Universidad del País Vasco.

Otilia Val-Castillo
IES Lluís Simarro Lacabra, Xàtiva (Valencia).

Secretaria Editorial

Patricia Yáñez-Sedeño
Real Sociedad Española de Química
Facultad de Ciencias Químicas. UCM
28040, Madrid

www.analesdequimica.es
administracion@analesdequimica.es

Entidad colaboradora

Miembros corporativos

Anales de Química de la RSEQ
Volumen 121 · Número 2 · abril-junio 2025

SUMARIO

Diseño y maquetación:
Ostraca Servicios editoriales

Ilustración portada:
Eugenio Vázquez Sentís

An. Quím. RSEQ, 121 (2), 2025, 75-115
ISSN: 2792-520X
e-ISSN: 2792-5250
D. L.: M-232-1958

Carta del editor

Juan Á. Casares 78

Investigación química

El modelo *Push-Pull* como estrategia de activación y estabilización molecular

Helena Corona, Nereida Hidalgo, Marina Pérez-Jiménez, Felipe de la Cruz-Martínez y Jesús Campos 79

Enseñanza de la química

Tecnecio: el metal que todos buscaban

Carmen González Galán y Carlos Romero Muñiz 87

Imágenes de la química

Gafas y pantallas de seguridad

Santiago Álvarez 93

Reseña 95

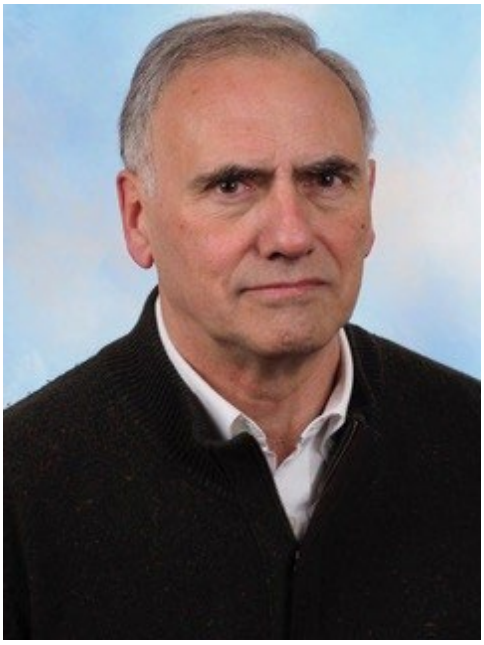
Noticias 96

Anales de Química de la RSEQ
An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (1), 78
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2048
La revista de la Real Sociedad Española de Química

Carta del editor

Juan Á. Casares

El segundo número de Anales de cada año llega con la alegría de la noticia de los premios que concede la RSEQ. Esta es, probablemente, la noticia más importante que publica Anales a lo largo de todo el año. Los premios desempeñan un papel muy importante como mecanismos de reconocimiento y legitimación en nuestra sociedad. Su importancia va más allá del mero estímulo individual (¡enhorabuena a todos los premiados!), ya que impacta en la definición de los valores institucionales que defiende la RSEQ y su proyección pública. En los últimos decenios la RSEQ ha consolidado un sistema de premios que reconoce distintos niveles y áreas de contribución en el campo de la química. Los premios de la RSEQ han adquirido un estatus institucional relevante dentro de la comunidad científica española, seguramente debido a su coherencia temporal y al claro y riguroso proceso de selección, que garantiza altos estándares de mérito académico.



Juan Á. Casares.

Los premios no solo reconocen méritos individuales, sino que reflejan –y en cierto modo definen– los valores de las instituciones que los otorgan. De forma deseada o no (probablemente de forma absolutamente accidental), al destacar ciertos tipos de contribuciones (innovación, trayectoria, impacto social, divulgación …), los premios construyen un discurso sobre lo que la RSEQ considera valioso en cada momento, sobre lo que es ser un científico, sobre lo que es haber aportado algo significativo al conocimiento o a la sociedad, y crean los referentes con los que los científicos más jóvenes empiezan a construir sus carreras. Estos reconocimientos consolidan la cohesión interna de la institución, fortalecen los vínculos entre generaciones de investigadores y posicionan a la RSEQ como una organización activa y comprometida con la ciencia y la sociedad.

Más allá del entorno científico, la concesión de premios tiene un impacto relevante en la sociedad general. La –cada vez mayor– visibilidad mediática que acompaña a estos galardones contribuye a reforzar la imagen pública de la química y a generar modelos de referencia social en los entornos próximos de los premiados. Siempre gusta tener como vecino de escalera, o haber tenido como profesor, a un científico premiado. La identificación de figuras científicas reconocidas por su trabajo puede influir en la percepción pública del valor de la investigación en química, así como en el fomento de vocaciones científicas entre los jóvenes, que nunca sobra. Los premios son, en sí mismos, una poderosa herramienta de comunicación y divulgación científica. Por todo esto dar a conocer los premios es muy importante, y por eso las noticias asociadas a ellos son siempre una parte importante de Anales, tanto la de su anuncio como las noticias de los actos de entrega de premios. Y también por todo ello la contribución que tienen los premiados a la revista Anales de Química de la RSEQ es especialmente valiosa. Cada artículo que firma un premiado prestigia nuestra revista y ayuda a definir lo que la RSEQ es. Muchísimas gracias a todos ellos por sus contribuciones. El esfuerzo que hacen al escribir artículos para Anales, y que les obliga a actuar fuera de su espacio de confort, no solo sirve para dar a conocer sus trabajos a las nuevas generaciones y a colegas de otras especialidades, sirve sobre todo para hacer mejor y más fuerte a la RSEQ.

Además de las noticias, en este número tenemos un interesante artículo del modelo *Pull-Push* y sus consecuencias en reactividad química. La portada expresa de forma gráfica el efecto *Pull-Push*, no siempre fácil de representar. También tenemos un interesante artículo sobre el tecnecio, su descubrimiento, su historia y su química, una reseña sobre el libro "Leyendas, mitos e historias ilustradas con experimentos de química y de física" y la siempre ilustrativa y deliciosa sección "Imágenes de la Química", esta vez dedicada a las gafas de seguridad de laboratorio.

Espero que la lectura les resulte agradable.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

CÓMO CITAR: J. Á. Casares. *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 78, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2048

Anales de Química de la RSEQ

An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (2), 79-86
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2018

La revista de la Real Sociedad Española de Química

INVESTIGACIÓN QUÍMICA

El modelo *Push-Pull* como estrategia de activación y estabilización molecular

The Push-Pull model as a strategy for molecular activation and stabilization

Helena Corona[1], Nereida Hidalgo[1,2], Marina Pérez-Jiménez[1,3], Felipe de la Cruz-Martínez[1,5], Jesús Campos[1,*]

[1] *Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Sevilla, España.*

[2] *Departamento de Química, Universidad de Yale, New Haven, Connecticut, EE.UU.*

[3] *Departamento de Química, Universidad de Princeton, Nueva Jersey, EE.UU.*

[4] *Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Química Inorgánica, Orgánica y Bioquímica-Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas, Ciudad Real, España.*

PALABRAS CLAVE:
Push-Pull
Donador-aceptor
Química Cooperativa
Activación molecular
Complejos Bimetálicos

RESUMEN:
En este trabajo revisamos el concepto de *Push-Pull* (donador-aceptor) como estrategia para activación de moléculas inertes o para la estabilización de fragmentos altamente reactivos. Este modelo se basa en la combinación de un centro rico y un centro pobre en electrones que, de manera concertada, son capaces de donar (*push*) y retirar (*pull*) densidad electrónica de otro fragmento molecular. En esta perspectiva se describen diversos ejemplos que demuestran el interés y aplicabilidad de esta estrategia, incluyendo tanto sistemas que permiten activar moléculas poco reactivas como CO_2 o N_2, como otros que permiten la estabilización de fragmentos muy reactivos como LiH o LiMe.

KEYWORDS:
Push-Pull
Donor-acceptor
Cooperative Chemistry
Small Molecule Activation
Bimetallic Complexes

ABSTRACT:
In this work, we review the concept of Push-Pull (donor-acceptor) as a strategy for the activation of inert molecules or the stabilization of highly reactive fragments. This model is based on the combination of an electron-rich and an electron-poor center that, in a concerted manner, can donate (push) and withdraw (pull) electron density from another molecular fragment. This perspective describes various examples that demonstrate the interest and applicability of this strategy, including systems that enable the activation of inert molecules such as CO_2 or N_2, as well as others that allow the stabilization of highly reactive fragments like LiH or LiMe.

El modelo *Push-Pull* en la activación de moléculas inertes

La activación y posterior funcionalización de moléculas especialmente inertes, como el dinitrógeno o el dióxido de carbono, constituye un reto sintético fundamental que ha captado la atención de la comunidad científica durante décadas. Estas moléculas se caracterizan por la presencia de enlaces extremadamente robustos, con energías de disociación de aproximadamente 226 y 127 kcal/mol para el N≡N y el O=CO, respectivamente, valores que superan incluso a los de los enlaces C–H (~85–115 kcal/mol) y C–C (~80–95 kcal/mol) que son la base de la química orgánica. Además, moléculas como el N_2 y el CO_2 presentan una geometría lineal y un carácter apolar, lo que dificulta aún más su activación y funcionalización. En cierta medida, este desafío puede considerarse análogo a la síntesis total como paradigma de la química orgánica, pero justo en la antípoda en cuanto a complejidad molecular. Así como la síntesis total ha atraído históricamente a muchos de los grupos más brillantes en síntesis química,[1] la funcionalización de moléculas aparentemente simples, pero químicamente inertes como el dinitrógeno o el dióxido de carbono, cautiva a numerosos investigadores precisamente por el desafío que representa.[2-4]

A pesar de las dificultades, existen numerosos ejemplos que describen estrategias exitosas para transformar estas moléculas. Sin embargo, el gran desafío radica en la capacidad de convertirlas en productos de mayor valor de manera sintética, económica y ecológicamente eficiente. Este reto científico tiene un impacto industrial y medioambiental de enorme relevancia, ya que muchos procesos químicos que involucran estas moléculas son cruciales para abordar los desafíos ambientales de nuestro siglo. Tal es el caso de la activación catalítica del N_2 en la síntesis de amoníaco mediante el proceso Haber-Bosh, esencial para alimentar a la población mundial, pero responsable de aproximadamente el 1–2% del consumo energético global, generando además grandes cantidades de dióxido de carbono.[5] También la conversión de CO_2, principal responsable del efecto invernadero, en combustibles y productos químicos de alto valor añadido tendría un impacto ambiental sin precedentes si se lograra implementar a gran escala, especialmente considerando que actualmente el uso del CO_2 antropogénico no

© 2025 Real Sociedad Española de Química

CÓMO CITAR: H. Corona, N. Hidalgo, M. Pérez-Jiménez, F. de la Cruz-Martínez, J. Campos. *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 79-86, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2018

* C-e: jesus.campos@iiq.csic.es

Manuscrito recibido: 05/02/2025 · aceptado: 06/05/2025

supera el 0.6%.[6] Los primeros pasos hacia el desarrollo de nuevas tecnologías basadas en estas moléculas, capaces de generar nuevos productos y almacenar energía renovable en enlaces químicos –como ocurre en la fotosíntesis artificial o en las celdas de combustible modernas–,[7,8] están en marcha, aunque queda mucho por hacer.

Desde un punto de vista químico, la primera etapa para la transformación de estas moléculas es su activación, que de manera general consiste en la polarización y elongación de los enlaces que la componen, así como la deformación de la estructura lineal en el caso del CO_2. Los metales de transición son la plataforma perfecta para conseguir este tipo de activaciones, y prueba de ello son los sistemas biológicos. Tras millones de años de evolución, las metaloenzimas presentes en numerosos organismos vivos, han sido capaces de activar y transformar estas moléculas mediante complejos mecanismos sinérgicos entre uno o varios cofactores que incluyen metales de transición. Por ejemplo, las enzimas fijadoras de nitrógeno, las nitrogenasas, están formadas por un cofactor organometálico de tipo FeM (donde M = Mo, V o Fe), capaz de coordinarse a la molécula diatómica como primera etapa antes de su reducción.[9-11] Por su parte, las CO-deshidrogenasas, basadas en cofactores de NiFe o CuMo, catalizan la conversión reversible y selectiva entre CO_2 y CO.[12,13]

La eficacia de los complejos de metales de transición para la activación de estas moléculas, sea en enzimas o en sistemas artificiales, puede explicarse por la presencia de orbitales *d* cercanos en energía y parcialmente ocupados. Así, un orbital *d* vacío puede recibir densidad electrónica de la molécula pequeña, mientras que otro orbital *d* lleno facilitará la retrodonación de densidad electrónica desde el metal hacia un orbital π antienlazante (π*) de esta última, debilitando su enlace e incrementando su reactividad (Figura 1a). De manera alternativa, la introducción de un ácido de Lewis (AL), es decir, una especie química capaz de aceptar electrones, puede contribuir decisivamente a debilitar los enlaces químicos de la molécula coordinada al centro metálico básico. En este modelo, conocido en inglés como *Push-Pull*, y traducido generalmente como "donador-aceptor", la densidad electrónica es donada desde el centro básico (metal de transición) hasta el sustrato y al mismo tiempo aceptada por el centro ácido (AL) desde ese mismo sustrato (Figura 1b). En definitiva, esta estrategia cooperativa permite aumentar la polarización (y con ello facilita la activación) de una molécula unida a un centro metálico mediante una interacción electrostática o covalente con una especie deficiente en electrones.[14-16]

Aunque generalmente se piensa en términos de reactividad mononuclear como la representada en la Figura 1a, el modelo de activación *Push-Pull* está muy extendido en sistemas biológicos. Por ejemplo, las enzimas mencionadas anteriormente exhiben bajos potenciales de reducción, lo que, en principio, podría impedir la activación de las moléculas de CO_2 y N_2 si se considerara un modelo basado únicamente en la participación de un centro metálico.[17] De hecho, la activación de tipo *Push-Pull* es un factor clave en algunas de las metaloenzimas comentadas, las cuales presentan fragmentos ácidos cercanos al centro metálico que se han propuesto como esenciales para su actividad y selectividad biológica bajo las condiciones de bajo potencial de reducción existentes.[18] Así, por ejemplo, la presencia de tioles próximos al centro activo en la enzima nitrogenasa parece desempeñar un papel clave en la fijación y activación de N_2 a través del modelo *Push-Pull*.[19,20]

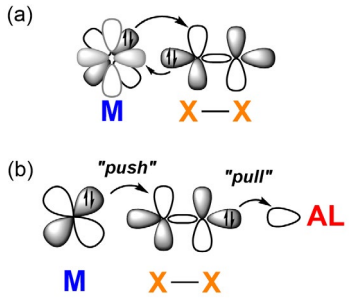


Figura 1. Representaciones esquemáticas de activación de una molécula diatómica mediante: (a) un sistema mononuclear basado en un metal de transición (M); o (b) una estrategia cooperativa de activación de tipo *Push-Pull* incorporando un ácido de Lewis (AL).

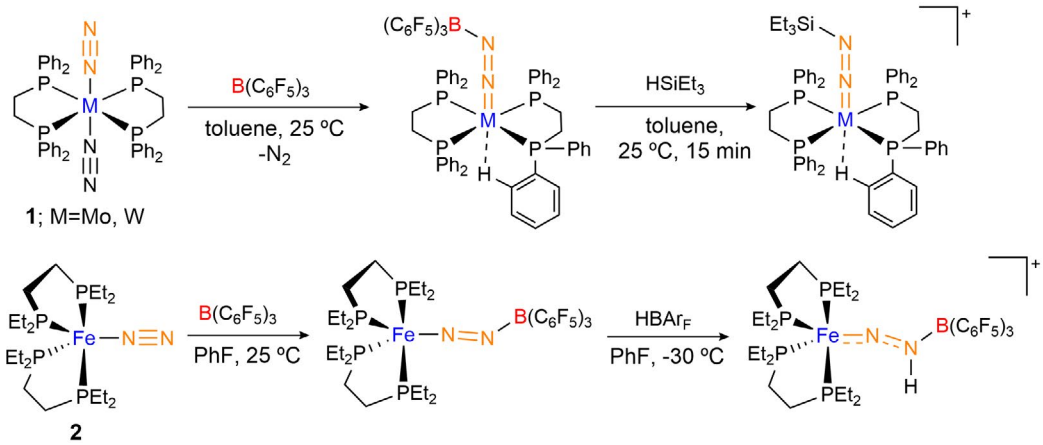
Más allá de los sistemas naturales, pero claramente inspirados en ellos, los ejemplos de activación de enlaces mediante el modelo *Push-Pull* son numerosos en sistemas artificiales, y su exploración se encuentra en auge. Esta aproximación a la química cooperativa se ha explotado desde diversas perspectivas, desde el diseño de sensores moleculares[21,22] o la generación de nuevos materiales,[23] hasta el desarrollo de los pares de Lewis frustrados,[24] cuya reactividad se define precisamente en base al modelo *Push-Pull*. En este trabajo se describirán algunos avances recientes en el área, analizando en particular detalle las contribuciones de nuestro grupo de investigación y haciendo especial énfasis en sistemas basados en metales de transición como centros dadores. Concretamente, se comenzará describiendo sistemas cooperativos basados en un metal de transición, seguidos de aquellos construidos en torno a dos metales de transición y, por último, se describirán complejos homobimetálicos con enlaces múltiple, los cuales también pueden llevar a modelos de interacción molecular de tipo *Push-Pull*.

Sistemas de tipo *Push-Pull* que contienen un metal de transición

Los boranos constituyen posiblemente el ejemplo más representativo de especies deficientes en electrones y, por ello, con potencial para cooperar con metales ricos en electrones.[25] La naturaleza electrofílica de los boranos, caracterizada por su orbital *p* vacante, los convierte en potentes ácidos de Lewis, capaces de aceptar pares de electrones de una amplia variedad de bases de Lewis. Son pues candidatos idóneos para poder activar moléculas pequeñas mediante estrategias de tipo *Push-Pull*. Un ejemplo representativo, que es a su vez un hito importante en el área, es la activación de la molécula de nitrógeno en cooperación con metales de transición. En 2017, en los estudios independientes de Symczak y Simonneau se demostró la activación y funcionalización de esta molécula con modelos *Push-Pull* basados en hierro, molibdeno y wolframio (compuestos **1** y **2** del Esquema 1).[20,26] En todos los casos, la elevada barrera asociada a la activación del triple enlace N≡N se supera gracias a la densidad electrónica que acepta el borano $B(C_6F_5)_3$, altamente ácido.

El análisis computacional que se llevó a cabo en el caso del hierro revela que la molécula de nitrógeno atrapada se polariza considerablemente, mientras que su orbital π* se estabiliza al aceptar electrones del metal, imitando el mecanismo de las enzimas nitrogenasas,[6] tal como ya se discutió en la sección anterior. Esta nueva coordinación se traduce en una elongación del enlace entre los átomos de nitrógeno de entre 0.04 y 0.10 Å, lo que junto a una drástica disminución de su característica frecuencia de tensión en el infrarrojo (130 – 230 cm^{-1}), da cuenta de que el enlace N≡N se ha debilitado notablemente, facilitando su posterior reactividad. De hecho, mientras que la protonación del N_2 se consiguió para el sistema de

© 2025 Real Sociedad Española de Química



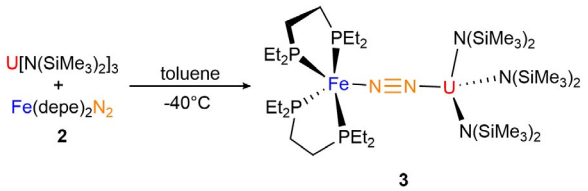
Esquema 1. Activación de dinitrógeno y funcionalización combinando bases de Lewis con metales de transición con $B(C_6F_5)_3$. Contraiones omitidos por claridad.

hierro utilizando un ácido muy fuerte ([H(OEt)$_2$][BAr^F] ([BAr^F]$^-$ = [B(C$_6$H$_3$-3,5-(CF$_3$)$_2$)$_4$B]$^-$)), los pares molibdeno/borano y wolframio/borano permiten las reacciones estequiométricas de borilación y sililación del N_2 en condiciones suaves (Esquema 1).

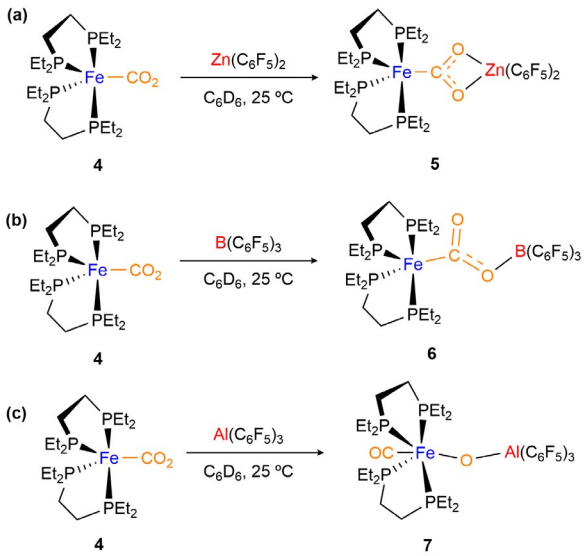
Considerando nuestro interés por el diseño de sistemas cooperativos bimetálicos,[27] y en colaboración con el grupo de Mazzanti, decidimos extrapolar la química de activación de N_2 a partir del complejo **2** pero utilizando fragmentos ácidos basados en elementos del bloque f, como uranio y lantánidos (Esquema 2).[28] De hecho, trabajos recientes del grupo de Peters ya habían demostrado el potencial del par Fe/Sm para la reducción de dinitrógeno a hidracina.[29] De manera similar a lo descrito por Symczak para el caso del $B(C_6F_5)_3$,[20] los compuestos del bloque f se coordinan a la molécula de dinitrógeno, tal como se describe para el compuesto de Fe/U **3**, uno de los ejemplos descritos en el trabajo. Tanto en este caso del uranio, como en los derivados de cerio, samario, disprosio, tulio e yterbio, se observa la elongación del enlace N≡N y la disminución de su característica frecuencia de tensión. Además, puede correlacionarse claramente un mayor debilitamiento del enlace de dinitrógeno a mayor acidez del fragmento metálico empleado, aunque en ningún caso llegando a los niveles del sistema de Symczak con $B(C_6F_5)_3$. Por su parte, mientras que el enlace es esencialmente electrostático en el caso de los lantánidos, hay un grado de covalencia importante para el compuesto **3** basado en uranio, lo que apunta a una potencial reactividad diferenciada que se encuentra en proceso de investigación.

El ejemplo anterior demuestra la posibilidad de utilizar tanto ácidos del bloque p como del bloque f para alcanzar reactividades complementarias a partir de un mismo fragmento metálico. Esto sugiere un gran potencial y capacidad de modulación en el uso de estrategias de tipo *Push-Pull* para activación de enlace. Esta capacidad es precisamente la que nuestro grupo de investigación exploró en el caso de la activación cooperativa de CO_2 a partir del mismo precursor de hierro(0), cuyo aducto de CO_2 era ya conocido.[30] Además, la posibilidad de activar la molécula de CO_2 mediante estrategias heterobimetálicas había mostrado recientemente resultados muy alentadores.[31,32,33] En nuestros estudios, exploramos la divergencia en la reactividad del CO_2 adicionando distintos ácidos de Lewis, concretamente $B(C_6F_5)_3$, $Al(C_6F_5)_3$ y $Zn(C_6F_5)_2$. Dependiendo de la acidez del fragmento empleado, se observaron tres tipos distintos de activación, llegando incluso a la rotura del enlace C–O con el fragmento más ácido (Esquema 3).[14,34]

Añadiendo $Zn(C_6F_5)_2$, se observa una coordinación *Push-Pull* de tipo μ-CO_2–1κC^1:2κO^1:O^2 para el CO_2 atrapado entre el átomo de hierro y el de zinc (compuesto **5** del Esquema 2a). La adición del $B(C_6F_5)_3$ presenta una reactividad similar, pero al tener un único orbital vacío disponible, la molécula de CO_2 activada presenta una coordinación de tipo μ-CO_2–1κC^1:2κO^1:O^2



Esquema 2. Ejemplo de activación de N_2 mediante un sistema de Fe/U.



Esquema 3. Activación divergente de CO_2 modulando el ácido de Lewis añadido a la base de Fe(0).

© 2025 Real Sociedad Española de Química

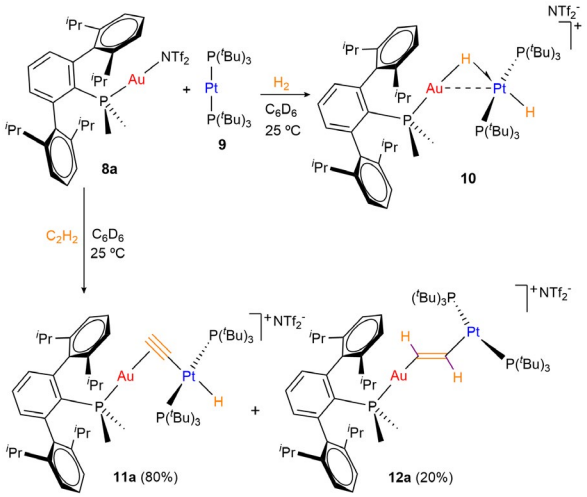
para el CO_2 atrapado entre el átomo de hierro y el de zinc (compuesto **5** del Esquema 2a). La adición del $B(C_6F_5)_3$ presenta una reactividad similar, pero al tener un único orbital vacío disponible, la molécula de CO_2 activada presenta una coordinación de tipo μ-CO_2–1κO^1:C^1:2κO^2 (**6**). Por su parte, el uso de $Al(C_6F_5)_3$ produce la rotura de uno de los enlaces C–O, obteniéndose un complejo Fe/Al con un grupo oxo puente y un ligando carbonilo (**7**). Aunque el mecanismo de activación de CO_2 mediante boro y aluminio transcurre por una ruta idéntica, la mayor acidez de la especie de aluminio facilita una barrera de activación más baja y, además, hace que el producto de rotura de un enlace C=O sea exotérmico, mientras que la formación de la especie análoga con el borano no está termodinámicamente favorecida. Esta reactividad divergente se traduce además en una funcionalización diferenciada al exponer los compuestos **6** y **7** a atmósfera de hidrógeno, lo que demuestra una vez más el potencial de modular estos pares cooperativos que funcionan mediante mecanismos *Push-Pull* para activar de manera específica moléculas tan inertes como el dióxido de carbono. Y no se trata de reacciones exclusivas de un único sistema particularmente reactivo. Recientemente se ha estudiado una reactividad similar a la recién discutida con $Al(C_6F_5)_3$ como ácido de Lewis con los complejos organometálicos de wolframio y molibdeno descritos en el Esquema 1 (compuestos **1**).[35] En este caso, la divergencia deriva del metal de transición, una vez más dando cuenta de la gran versatilidad existente. Mientras que el sistema de molibdeno conduce a compuestos similares al aducto **6**, el precursor de wolframio resulta en la rotura del enlace C=O del dióxido de carbono para generar compuestos similares a **7**.

Sistemas de tipo *Push-Pull* basados en dos metales de transición

La presencia de dos metales de transición abre un abanico de nuevas posibilidades en lo que respecta a los mecanismos involucrados en la activación de enlaces.[36] En los sistemas *Push-Pull*, introducir un segundo metal de transición como ácido de Lewis, presenta una serie de potencialidades entre las cuales se incluyen: una reactividad más amplia, por la presencia de orbitales *d* parcialmente ocupados; mayor diversidad estructural de los complejos organometálicos, debido a su amplia gama de números de coordinación; una capacidad de modulación superior, al existir una gran cantidad de ligandos con diversas propiedades estero-electrónicas que producen cambios en la reactividad, etc. Todas estas propiedades implican que los metales de transición sean candidatos idóneos para ser introducidos como ácidos de Lewis en sistemas de tipo *Push-Pull* y mejorar así la reactividad de las pequeñas moléculas inertes y sus aplicaciones catalíticas.

Tal como se describió en la sección inicial, los pares de Lewis frustrados constituyen el ejemplo más paradigmático de activación de tipo *Push-Pull*. Es por ello que un ejemplo representativo para la categoría que define este apartado es el primer par de Lewis frustrado basado en dos metales de transición, sistema que fue descrito por nuestro grupo de investigación en el año 2017.[37] Este sistema está formado por un compuesto de Au(I) como ácido de Lewis y un complejo de Pt(0) como fragmento básico (compuestos **8a** y **9**), ambos con ligandos muy voluminosos para evitar la formación de un aducto bimetálico y mantener intacta la capacidad de activación molecular de tipo *Push-Pull*. Por consiguiente, este sistema es capaz de activar moléculas como el dihidrógeno o el acetileno, rompiendo enlaces H–H y C–H bajo condiciones muy suaves, mientras que los fragmentos individuales por separado no presentan reactividad ante estas moléculas incluso en condiciones de alta temperatura y presión (Esquema 4).

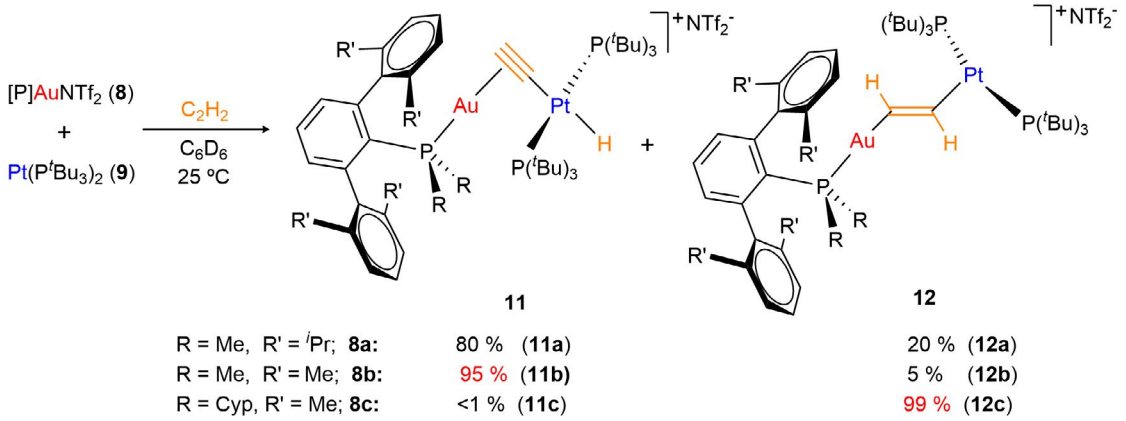
En el caso del dihidrógeno, la rotura heterolítica del enlace es seguida por la formación de un complejo heterobimetálico Au(I)/Pt(II) **10** con un hidruro puente y otro terminal. Nuestros estudios experimentales y computacionales apoyan la necesidad de mantener las especies monometálicas como entidades independientes que, de manera concertada, activan y rompen la molécula de H_2 mediante un mecanismo que encaja con el modelo de *Push-Pull*.[38] Así, al mismo tiempo que el orbital $\sigma(H_2)$ dona densidad electrónica a un orbital de tipo principalmente *s* del átomo de Au, el orbital $\sigma^*(H_2)$ recibe densidad electrónica de otro orbital lleno (de tipo *d*) del átomo de platino, proceso que ocurre mientras el enlace H–H se alarga y polariza.



Esquema 4. Ejemplo de activación de moléculas pequeñas mediante un mecanismo *Push-Pull* de tipo FLP con sistemas que contienen dos metales de transición.

Por su parte, la reactividad con acetileno conduce a dos posibles modos de activación: la desprotonacion del alquino, que da lugar a un acetiluro bimetálico, **11a**, y la formación de un vinileno puente entre los fragmentos metálicos, **12a**. En el estudio original, estos dos isómeros se formaron en una proporción 4:1. Posteriormente, decidimos investigar el efecto de diferentes fosfinas de terfenilo unidas al átomo de oro, con objeto de estudiar la influencia los efectos estéricos en la reactividad *Push-Pull*. De este modo, se prepararon otros dos compuestos análogos de oro, uno con una fosfina más pequeña, PMe_2Ar^{Xyl2} (Ar^{Xyl2} = C_6H_3-2,6-(C_6H_3-2,6-$Me_2)_2$), y otro con una fosfina más voluminosa, $PCyp_2Ar^{Xyl2}$ (Cyp = ciclopentilo).[39] Pudimos observar que la relación entre los isómeros mencionados es muy dependiente del perfil estérico de las fosfinas empleadas (Esquema 5). Tal como se ha descrito, el sistema original basado en PMe_2Ar^{Dipp2}, **8a**, produjo una mezcla 4:1 del σ,π-acetiluro **11a** y el vinileno **12a**, respectivamente. Por su parte, el complejo de Au menos voluminoso, $(PMe_2Ar^{Xyl2})Au(NTf_2)$ **8b**, hace que la regioselectividad se desplace hacia la formación del isómero acetiluro puente **11b** (relación 95:5), mientras que para el complejo más voluminoso, $(PCyp_2Ar^{Xyl2})Au(NTf_2)$, **8c**, se observa un cambio drástico, ya que se forma cuantitativamente el vinileno heterobimetálico, **12c**. Los datos obtenidos mediante espectroscopia de RMN a baja temperatura y los cálculos de DFT, establecen un mecanismo de tipo *Push-Pull*, donde el alquino se coordina al centro electrofílico de oro y es atacado por el centro básico de Pt. Este ataque puede ocurrir sobre un átomo de carbono o de hidrógeno del

© 2025 Real Sociedad Española de Química



Esquema 5. Estudio de la selectividad en función del perfil estérico del fragmento ácido de Au(I) para la activación de acetileno a partir de un mecanismo de tipo *Push-Pull*.

alquino activado, y es esto lo que determina la selectividad. En definitiva, es posible modular la selectividad en procesos de activación molecular mediante mecanismos de tipo *Push-Pull* variando de manera sutil las propiedades estereoelectrónicas de alguno de los fragmentos que componen el par cooperativo, lo que abre un sinfín de posibilidades por explorar.

Push-Pull en compuestos con enlace múltiple M–M para estabilizar moléculas muy reactivas

Los enlaces múltiples metal–metal han atraído la atención de los químicos organometálicos desde sus inicios, desde la demostración del primer enlace simple entre dos átomos metálicos de Mn en el complejo de dimanganeso, $Mn_2(CO)_{10}$,[40] al primer enlace cuádruple entre los átomos de Re del anión $[Re_2Cl_8]$ [2,41] Es más, la búsqueda continua de sistemas con altos órdenes de enlace (más de 3) condujo al descubrimiento del primer enlace quíntuple entre dos átomos de Cr.[42] Tras este hallazgo, se han sintetizado numerosas moléculas tanto homo- como heterobinucleares con altos órdenes de enlace (4-5) entre los átomos metálicos.[43] Sin embargo, la reactividad de estas especies y su capacidad para la activación de otras moléculas no ha sido el principal objeto de estudio y su potencial permanece inexplorado en comparación con otros sistemas bimetálicos. Algunos estudios realizados por los grupos de Tsai y Kempe incluyen reacciones de carboaluminación del enlace quíntuple Cr–Cr, así como la activación de moléculas como el CO_2, SO_2, fósforo blanco, alquinos, cetonas o alenos.[44,45,46,47] Cabe destacar la reactividad de los complejos binucleares de Cr con alquinos, donde el enlace quíntuple Cr–Cr se rompe de manera reversible.[48] También se ha demostrado que complejos similares de dimolibdeno actúan como catalizadores en la ciclotrimerización de alquinos [2+2+2],[49] uno de los pocos ejemplos catalíticos para este tipo de compuestos.

Obviamente, los enlaces metal–metal en los sistemas mencionados no presentan polaridad, al tratarse de complejos homobimetálicos y con alta simetría, de modo que es difícil pensar en modelos de activación de tipo *Push-Pull*. Esto parece exclusivo de especies heterobimetálicas, que pueden también presentar enlaces múltiples, como ocurre por ejemplo en la activación de la molécula de hidrógeno en sistemas con enlace triple Zr–Co y donde el concepto de *Push-Pull* se aplica intrínsicamente.[50] No obstante, en los últimos años, nuestro grupo de investigación ha demostrado que esta capacidad no es exclusiva de complejos heterobimetálicos. Concretamente, nuestros estudios se han centrado en la reactividad de complejos con enlaces cuádruple entre átomos de molibdeno, revelando que a pesar del carácter homobimetálico, funcionan también como promotores de activaciones de tipo *Push-Pull*. El precursor principal en estas investigaciones ha sido un complejo de dimolibdeno que presenta dos ligandos de tipo amidinato y dos grupos de tipo hidruro (Figura 2). Se trata de una especie muy reactiva frente a moléculas insaturadas como alquenos, alquinos o heterocumulenos (CO_2 y CS_2).[51,52]

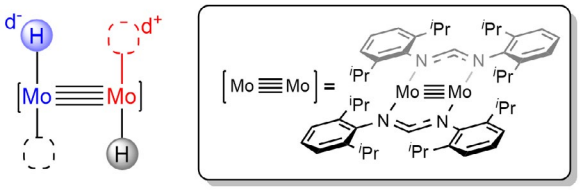
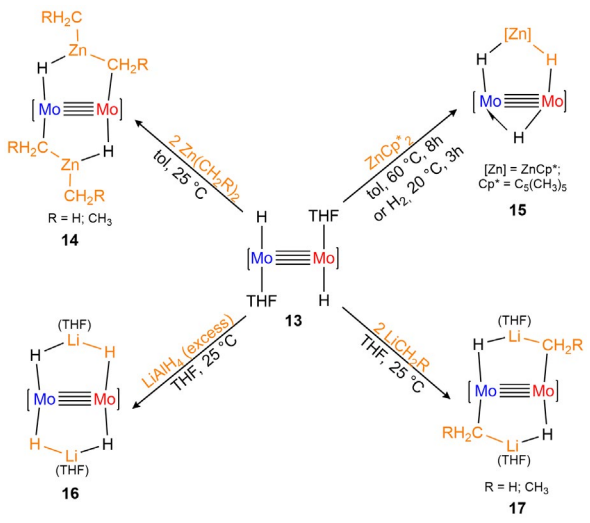


Figura 2. Complejo de dimolibdeno con enlace cuádruple metal-metal y ligandos de tipo hidruro activo en procesos de activación molecular de tipo *Push-Pull*.

Pero, más allá de esta reactividad, el aspecto posiblemente más interesante es su carácter ambifílico ácido base. Esto es así porque el enlace Mo–H se encuentra polarizado, con un carácter de hidruro (formalmente H^-) muy acusado, y a su vez muy próximo a una vacante de coordinación en el átomo de Mo adyacente, con carácter electropositivo (Figura 2). En conjunto, se trata de una disposición electrónica y geométrica ideal para activación molecular vía interacciones *Push-Pull*, algo que hemos explorado para enlaces polares E–H y E–C, donde E es un elemento de grupo principal (Li, Mg, Al o Zn). Gracias a estas interacciones, las unidades E–H o E–C quedan atrapadas por el complejo de dimolibdeno, formando anillos de cinco miembros, estabilizados mediante interacciones de 3 centros y 2 electrones.[53] La coordinación (*Pull*) del enlace E–C o E–H a uno de los átomos de Mo (aquel que presenta una vacante de coordinación) no sería posible sin la presencia del Mo adyacente a través de la interacción con el enlace polarizado Mo–H (*Push*).

En este contexto, hemos estudiado la coordinación de enlaces Zn–C de las moléculas de dietil zinc, dimetil zinc y difenil zinc al centro de dimolibdeno, aislando los compuestos representados en la Esquema 6.[54] Estas especies, donde el enlace Zn–C se debilita debido a la interacción con el centro bimetálico se consideran intermedios de reacción en los procesos de transmetalación, donde el enlace Zn–C se rompe para formar

© 2025 Real Sociedad Española de Química



Esquema 6. Reactividad del complejo **13** para activar enlaces E–H y E–C (E = Zn, Li) mediante interacciones *Push-Pull*.

un nuevo enlace metal–carbono. La reactividad del complejo de dimolibdeno frente a otras moléculas como el zincoceno o el dizincoceno da lugar a la formación de los complejos **14** y **15**, en los que de nuevo la plataforma de dimolibdeno es responsable de la estabilización de unidades altamente inestables y reactivas. Se trata de fragmentos moleculares que no han sido posibles de aislar como moléculas independientes, como "Cp*ZnH" o "Cp*Zn–ZnH" (Cp* = $C_5(CH_3)_5$),[55] pero sí en nuestros estudios gracias a la estabilización *Push-Pull*.

Esta estrategia también se utilizó para coordinar uno, dos y hasta tres enlaces de Li–H al centro bimetálico de dimolibdeno. La coordinación del enlace Li–H es posible gracias a la interacción con el enlace Mo–H que compensa la insaturación del átomo de Li. En el caso de la coordinación de tres entidades de LiH, observamos la inmediata y espontánea trimerización de la especie monomérica, formando complejos de tipo clúster, $Mo_6Li_9H_{18}$, cuya estructura se demostró mediante difracción de rayos X. Mediante estudios de RMN y cálculos computacionales de DFT analizamos la naturaleza del enlace entre las unidades de hidruro de litio y el centro de dimolibdeno, demostrando que las interacciones donador/aceptor entre los enlaces Mo–H y los átomos de Li son clave para la estabilización de estas moléculas, así como la donación de densidad electrónica desde el enlace múltiple metal–metal hacia el átomo electropositivo de Li.[56]

Como extensión al estudio anterior, realizamos una investigación complementaria con los enlaces Li–C, donde cabe destacar que su coordinación a centros metálicos es prácticamente inexistente, con la excepción de algunos precedentes en los trabajos pioneros de Wilke y colaboradores.[57] Exploramos la reactividad del complejo dihidruro de dimolibdeno frente a las moléculas de metil litio, etil litio y fenil litio, demostrando que las propiedades electrónicas y de *Push-Pull* de la plataforma de dimolibdeno permiten incorporar monómeros de estas especies altamente reactivas, impidiendo que formen agregados a través de los enlaces Li–C–Li.[58] Las estructuras de las moléculas de **16** y **17** fueron caracterizadas mediante difracción de rayos X en estado sólido y mediante técnicas de RMN (^{7}Li, ^{13}C) en disolución, demostrando por primera vez un grado de covalencia apreciable entre los átomos de Li y C,[59] lo que nos permitió describir este tipo de estructuras como complejos de tipo σ-LiC.[60]

Conclusiones

El modelo *Push-Pull* se ha consolidado como una estrategia versátil y poderosa para la activación de moléculas pequeñas, especialmente aquellas particularmente inertes, permitiendo imitar mecanismos biológicos con un alto grado de control y eficiencia en condiciones suaves. Este enfoque ha revolucionado la síntesis química y la catálisis, abriendo nuevas posibilidades en el diseño de sistemas cooperativos. Una prueba de ello ha sido el descubrimiento y desarrollo del concepto de par de Lewis frustrado, cuya reactividad se basa en el modelo *Push-Pull*. Es más, la integración de especies ácidas y básicas basadas en metales de transición, ha permitido extender este concepto hacia sistemas bimetálicos, que ofrecen incluso una mayor versatilidad estructural y de reactividad y, con ello, con un altísimo potencial de futuro.

Pero la capacidad del modelo *Push-Pull* va más allá de la activación de enlaces en moléculas de todo tipo. Este modelo también puede extenderse a la estabilización de especies e intermedios altamente reactivos y permitir así explorar vías mecanicistas inéditas, posicionando a esta estrategia como una herramienta clave en el desarrollo de nuevas tecnologías químicas. A medida que se profundiza en la comprensión de estas interacciones cooperativas, es previsible que este campo experimente un crecimiento significativo, impulsando innovaciones en el ámbito académico y, posiblemente, también en aplicaciones industriales.

Bibliografía

[1] R. F. Service, *Science* **1999**, *285*, 184-187, https://doi.org/10.1126/science.285.5425.184.
[2] D. R. MacFarlane, A. N. Simonov, T. M. Vu, S. Johnstona, L. M. Azofra, *Faraday Discuss.* **2023**, *243*, 557-570, https://doi.org/10.1039/d3fd00087g.
[3] D, Singh, W. R. Buratto, J. F. Torres, L. J. Murray, *Chem. Rev.* **2020**, *120*, 5517-5581, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00042.
[4] S. Kim, F. Loose, P. J. Chirik, *Chem. Rev.* **2020**, *120*, 5637-5681, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00705.
[5] C. J. M. van der Ham, M. T. M. Koper, D. G. H. Hetterscheid, *Chem. Soc. Rev.* **2014**, *43*, 5183-5191, https://doi.org/10.1039/c4cs00085d.
[6] R. M. Andrew, G. P. Peters, **2022**, The Global Carbon Project's fossil CO2 emissions dataset (2022v27) https://doi.org/10.5281/zenodo.7215364.
[7] M. Y. Darensbourg, A. Llobet, *Inorg. Chem.* **2016**, *55*, 371-377, https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.5b02925.
[8] B. Milani, G. Licini, E. Clot, M. Albrecht, *Dalton Trans.* **2016**, *45*, 14419-14420, https://doi.org/10.1039/C6DT90140A.
[9] O. Einsle, D. C. Rees, *Chem. Rev.* **2020**, 120, *12*, 4969-5004, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.0c00067.
[10] L. C. Seefeldt, Z.-Y. Yang, D. A. Lukoyanov, D. F. Harris, D. R. Dean, S. Raugei, B. M. Hoffman, *Chem. Rev.* **2020**, *120*, 5082-5106, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00556.
[1] K. Tanifuji, Y. Ohki, *Chem. Rev.* **2020**, *120*, 5194-5251, https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.9b00544.
[12] J. H. Jeoung, H. Dobbek, *Science* **2007**, *318*, 1461-1464, https://doi.org/10.1126/science.1148481.
[13] Y. Li, M. Gomez-Mingot, T. Fogeron, M. Fontecave, *Acc. Chem. Res.* **2021**, *54*, 4250-4261, https://doi.org/10.1021/acs.accounts.1c00461.
[14] M. Perez-Jimenez, H. Corona, F. de la Cruz-Martínez, J. Campos, *Chem. Eur. J.* **2023**, e202301428, https://doi.org/10.1002/chem.202301428.
[15] A. J. Ruddy, D. M. C. Ould, P. D. Newman, R. L. Melen, *Dalton*

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Trans. **2018**, *47*, 10377-10381, https://doi.org/10.1039/c8dt01168k.
[16] D. Specklin, M-C. Boegli, A. Coffinet, L. Escomel, L. Vendier, M. Grellier, A. Simmoneau, *Chem. Sci.* **2023**, *14*, 14262-14270, https://doi.org/10.1039/D3SC04390H.
[17] A. Braaksma, H. Haaker, H. J. Grande, C. Veeger, *Eur. J. Biochem.* **1982**, *121*, 483-491, https://doi.org/10.1111/j.1432-1033.1982.tb05813.x.
[18] A. S. Borovik, *Acc. Chem. Res.* **2005**, *38*, 54-61, https://doi.org/10.1021/ar030160q.
[19] T. Spatzal, K. A. Perez, O. Einsle, J. B. Howard, D. C. Rees, *Nature* **2014**, *345*, 1620-1623, https://doi.org/10.1126/science.1256679.
[20] J. B. Geri, J. P. Shanahan, N. K. Szymczak, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 5952-5956, https://doi.org/10.1021/jacs.7b01982.
[21] X. Zheng, I. Zulkifly, A. Heilmann, C. McManus, S. Aldridge, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2021**, *60*, 16416-16419, https://doi.org/10.1002/ange.202106413.
[22] Z. Mo, E. L. Kolychev, A. Rit, J. Campos, H. Niu, S. Aldridge, *J. Am. Chem. Soc.* **2015**, *137*, 12227-12230, https://doi.org/10.1021/jacs.5b08614.
[23] J. Sinclair, G. Dai, R. McDonald, M. J. Ferguson, A. Brown, E. Rivard, *Inorg. Chem.* **2020**, *59*, 10996-11008, https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.0c01492.
[24] D. W. Stephan, G. Erker, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2015**, *54*, 6400-6441, https://doi.org/10.1002/anie.201409800.
[25] A. J. Ruddy, D. M. C. Ould, P. D. Newman, R. L. Melen, *Dalton Trans.* **2018**, *47*, 10377-10381, https://doi.org/10.1039/c8dt01168k.
[26] A. Simonneau, R. Turrel, L. Vendier, M. Etienne. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 12268-12272, https://doi.org/10.1002/anie.201706226.
[27] M. Navarro, J. J. Moreno, M. Pérez-Jiménez, J. Campos, *Chem. Commun.* **2022**, *58*, 11220-11235, https://doi.org/10.1039/D2CC04296G.
[28] N. Jori, J. J. Moreno, R. A. K. Shivaraam, T. Rajeshkumar, R. Scopelliti, L. Maron, J. Campos, M. Mazzanti, *Chem. Sci.* **2024**, *15*, 6842-6852, https://doi.org/10.1039/D4SC01050G.
[29] E. A. Boyd, J. C. Peters *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 14784-14792, https://doi.org/10.1021/jacs.3c03352.
[30] M. Hirano, M. Akita, K. Tani, K. Kumagai, N. Kasuga, A. Fukuoka, S. Komiya. *Organometallics* **1997**, *16*, 4206-4213, https://doi.org/10.1021/om960743m.
[31] L. Escomel, I. Del Rosal, L. Maron, E. Jeanneau, L. Veyre, C. Thieuleux, C. Camp, *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 4844-4856, https://doi.org/10.1021/jacs.1c01725.
[32] S. Sinhababu, M. R. Radzhabov, J. Tesler, N. P. Mankad. *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 3210-3221, https://doi.org/10.1021/jacs.1c13108.
[33] C. McManus, J. Hicks, X. Cui, L. Zhao, G. Frenking, J. M. Goicoechea, S. Aldridge, *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 13458-13468, https://doi.org/10.1039/D1SC04676D.
[34] H. Corona, M. Pérez-Jiménez, F. de la Cruz-Martínez, I. Fernández, J. Campos, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202207581, https://doi.org/10.1002/ange.202207581.
[35] L. Escomel, Q. Le Dé, M. Benonie, L. Vendier, A. Simonneau, *Chem. Commun.*, **2024**, *60*, 13235-13238, https://doi.org/10.1039/d4cc02349h.
[36] J. Campos, J. *Nat. Rev. Chem.* **2020**, *4*, 696, https://doi.org/10.1038/s41570-020-00226-5.
[37] J. Campos, *J. Am. Chem. Soc.* **2017**, *139*, 8, 2944-2947, https://doi.org/10.1021/jacs.7b00491.
[38] N. Hidalgo, J. J. Moreno, M. Pérez-Jiménez, C. Maya, J. López-Serrano, J. Campos, *Chem. Eur. J.* **2020**, *26*, 5982-5993, https://doi.org/10.1002/chem.201905793.
[39] N. Hidalgo, J. J. Moreno, M. Pérez-Jiménez, C. Maya, J. López-Serrano, J. Campos, *Organometallics* **2020**, *39*, 2534-2544, https://doi.org/10.1021/acs.organomet.0c00330.
[40] L. F. Dahl, E. Ishishi, R. E. Rundle, *J. Chem. Phys.* **1957**, *26*, 1750-1751, https://doi.org/10.1063/1.1743615.
[41] F. A. Cotton, N. F. Curtis, C. B. Harris, B. F. G. Johnson, S. J. Lippard, J. T. Mague, W. R. Robinson, J. S. Wood, *Science* **1964**, *145*, 1305-1307, https://doi.org/10.1126/science.145.3638.1305.
[42] T. Nguyen, A. D. Sutton, M. Brynda, J. C. Fettinger G. J. Long, P. P. Power, *Science* **2005**, *310*, 844-847, https://doi.org/10.1126/science.1116789.
[43] N. V. S. Harisomayajula, A. K. Nair, Y.-C. Tsai, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 3391-3412, https://doi.org/10.1039/c3cc48203k.
[44] A. Noor, G. Glatz, R. Müller, M. Kaupp, S. Demeshko, R. Kempe, *Nat. Chem.* **2009**, *1*, 322-325, https://doi.org/10.1038/nchem.255.
[45] A. Noor, S. Qayyum, T. Bauer, S. Schwarz, B. Weber, R. Kempe, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 13127-13130, https://doi.org/10.1039/C4CC05071A.
[46] C. Schwarzmaier, A. Noor, G. Glatz, M. Zabel, A. Y. Timoshkin, B. M. Cossairt, C. C. Cummins, R. Kempe, M. Scheer, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2011**, *50*, 7283-7286, https://doi.org/10.1002/anie.201102361.
[47] J. Shen, G. P. A. Yap, K. H. Theopold, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 2579-2581, https://doi.org/10.1039/C3CC48746F.
[48] Y.-S. Huang, G.-T. Huang, Y.-L. Liu, J.-S. K. Yu, Y.-C. Tsai, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 15427-15431, https://doi.org/10.1002/ange.201709583.
[49] H. Z. Chen, S.-C. Liu, C.-H. Yen, J.-S. K. Yu, Y.-J. Shieh, T.-S. Kuo, Y.-C. Tsai, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 10342-10346, https://doi.org/10.1002/anie.201205027.
[50] K. M. Gramigna, D. A. Dickie, B. M. Foxman, C. M. Thomas, *ACS Catal.* **2019**, *9*, 3153-3164, https://doi.org/10.1021/acscatal.8b04390.
[51] M. Pérez-Jiménez, J. Campos, J. López-Serrano, E. Carmona, *Chem. Commun.* **2018**, *54*, 9186-9189.
[52] M. Pérez-Jiménez, N. Curado, C. Maya, J. Campos, E. Ruiz, S. Álvarez, E. Carmona, *Chem. – Eur. J.* **2021**, *27*, 6569-6578, https://doi.org/10.1002/chem.202004948.
[53] J. C. Green, M. L. H. Green, G. Parkin, *Chem. Commun.* **2012**, *48*, 11481-11503, https://doi.org/10.1039/C2CC35304K.
[54] M. Pérez-Jiménez, J. Campos, J. Jover, S. Álvarez, E. Carmona, *Organometallics* **2022**, *41*, 3225-3236, https://doi.org/10.1021/acs.organomet.2c00216.
[55] P. Jochmann, D. W. Stephan, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, *52*: 9831-9835, https://doi.org/10.1002/anie.201303968.
[56] M. Pérez-Jiménez, N. Curado, C. Maya, J. Campos, J. Jover, S. Álvarez, E. Carmona, *J. Am. Chem. Soc.* **2021**, *143*, 5222-5230, https://doi.org/10.1021/jacs.1c01602.
[57] K. Fischer, K. Jonas, P. Misbach, R. Stabba, G. Wilke, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1973**, *12*, 943-953, https://doi.org/10.1002/anie.197309431.
[58] V. Gessner, C. Däschlein, C. Strohmann, *Chem. – Eur. J.* **2009**, *15*, 3320-3334, https://doi.org/10.1002/chem.200900041.
[59] M. Pérez-Jiménez, J. Campos, J. Jover, S. Álvarez, E. Carmona, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202116009, https://doi.org/10.1002/anie.202116009.
[60] M. Perez-Jimenez, J. Campos, *Polyhedron* **2023**, *244*, 116610, https://doi.org/10.1016/j.poly.2023.116610.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Helena Corona García de Leaniz

Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Sevilla, 41092 Sevilla, España

C-e: helena.corona@iiq.csic.es
ORCID: 0000-0002-7407-5561

Helena Corona obtuvo el grado en Química en 2021 en la Universidad de Sevilla, donde también completó su máster en 2022 en estudios avanzados en química. Actualmente, se encuentra realizando el doctorado en el grupo de investigación dirigido por Jesús Campos, centrando su trabajo en la funcionalización de pequeñas moléculas mediante el uso de compuestos bimetálicos.

Nereida Hidalgo

Departamento de Química, Universidad de Yale, New Haven, Connecticut, EE.UU.

C-e: nereidahidalgo13@gmail.com
ORCID: 0000-0001-6966-3556

Nereida obtuvo en 2021 el título de doctora en Química Inorgánica, bajo la dirección del Dr. Jesús Campos Manzano en el Instituto de Investigaciones Químicas (CSIC-US). Comenzó su etapa como investigadora postdoctoral en el grupo del Dr. Didier Bourissou en el Laboratoire Hétérochimie Fondamentale et Appliquée en Toulouse, con una beca Margarita Salas. Nereida recibió una Marie Curie Global Postdoctoral Fellowship, que le permitió continuar su investigación en la Universidad de Sevilla y en la Universidad de Yale, donde se encuentra desde 2023 en la primera fase de esta beca, desarrollando el proyecto en el grupo del Prof. Patrick Holland.

Marina Pérez-Jiménez

Departamento de Química, Universidad de Princeton, Nueva Jersey, EE.UU.

C-e: mp6413@princeton.edu
ORCID: 0000-0001-7891-4273

Marina Pérez Jiménez obtuvo el doctorado en Química en la Universidad de Sevilla en 2021 bajo la supervisión del profesor Ernesto Carmona y el doctor Jesús Campos, investigando la síntesis y reactividad de complejos de dimolibdeno con enlace cuádruple. En 2022, comenzó su etapa postdoctoral en el Imperial College London en el grupo del profesor Mark Crimmin donde investigó sistemas heterometálicos que incorporan elementos de grupo principal. Posteriormente, continuó su etapa postdoctoral en el grupo del profesor Paul Chirik en la Universidad de Princeton, donde trabaja actualmente desarrollando catalizadores basados en metales abundantes de la primera serie de transición.

Felipe de la Cruz-Martínez

Universidad de Castilla-La Mancha, Departamento de Química Inorgánica, Orgánica y Bioquímica-Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas, 13071-Ciudad Real, España

C-e: Felipe.Cruz@uclm.es
ORCID: 0000-0003-3720-9345

Felipe de la Cruz-Martínez estudió química en la Universidad de Extremadura. Se trasladó a la Universidad de Castilla-La Mancha, donde obtuvo su doctorado en valorización química de CO_2 en el grupo del Prof. Agustín Lara. También realizó una estancia predoctoral en la Universidad de York, en el grupo del Prof. Michael North, centrada en síntesis de carbamatos a partir de CO_2. En 2021, se incorporó al grupo del Dr. Jesús Campos como investigador postdoctoral, trabajando en el desarrollo de pares bimetálicos para la activación de pequeñas moléculas. Desde septiembre de 2022, trabaja en la Universidad de Castilla-La Mancha como Profesor Ayudante Doctor.

Jesús Campos

Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), Consejo Superior de Investigaciones Científicas y Universidad de Sevilla, 41092 Sevilla, España

C-e: jesus.campos@iiq.csic.es
ORCID: 0000-0002-5155-1262

Jesús Campos se doctoró bajo la supervisión de E. Carmona (Universidad de Sevilla), realizando una estancia con M. Brookhart (UNC). Realizó sus investigaciones posdoctorales en las universidades de Yale (R. Crabtree) y Oxford (S. Aldridge). En 2017 obtuvo una plaza de científico titular del CSIC en el IIQ, promocionando a investigador científico en 2022. En este período ha obtenido dos proyectos ERC (Starting y Consolidator Grants) para el diseño de sistemas bimetálicos cooperativos desde distintas aproximaciones. Ha sido distinguido con varios reconocimientos, incluyendo el Premio a Investigadores Jóvenes Lilly/RSEQ o el Premio GEQO a la Excelencia Investigadora.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Anales de Química de la RSEQ

An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (2), 87-91
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2026

La revista de la Real Sociedad Española de Química

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

Tecnecio: el metal que todos buscaban

Technetium: the metal everyone was searching for

Carmen González Galán, Carlos Romero Muñiz*

Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Sevilla

PALABRAS CLAVE:

Tecnecio
Isótopos
Isómeros nucleares
Radioactividad
Gammagrafía

RESUMEN:

El tecnecio (Tc), cuyo número atómico es 43, es un elemento metálico de la tabla periódica que pertenece al grupo 7 y al periodo 5. No fue identificado correctamente hasta 1937 cuando Carlo Perrier y Emilio Segrè lo caracterizaron como resultado de reacciones nucleares del recién inventado ciclotrón. Posee una química rica y versátil ya que forma multitud de compuestos y complejos especialmente con estado de oxidación +7. Su principal uso actual es en imagen médica, concretamente en tomografía y gammagrafía, donde se usa el isótopo ^{99m}Tc. También se emplea en la fabricación de aleaciones y como catalizador. A pesar de ser considerado un elemento sintético, en realidad puede encontrarse en la naturaleza en concentraciones muy pequeñas.

KEYWORDS:

Technetium
Isotopes
Nuclear isomers
Radioactivity
Scintigraphy

ABSTRACT:

Technetium (Tc) is a metallic element with atomic number 43, which occupies the group 7 and period 5 in the periodic table. It was not properly identified until 1937, when Carlo Perrier and Emilio Segrè characterized it as a product of nuclear reactions in the recently invented cyclotron. Its chemistry is rich and versatile due to the large number of existing compounds and complexes, especially with oxidation state +7. Its main application is in medical imaging, such as tomography and scintigraphy. For this purpose, the isotope ^{99m}Tc is widely used. It is also employed in the manufacture of alloys and as a catalyst. Despite being considered a synthetic element, it can be found in nature but only in trace amounts.

El tecnecio es un elemento químico metálico que se caracteriza por ser el más ligero que no posee ningún isótopo estable. A su vez, es el primer elemento sintético que se encuentra en la tabla periódica. Es un metal plateado (véase la pieza mostrada en la figura 1a) cuyas propiedades físicas y químicas son similares a las del manganeso y el renio, elementos de su mismo grupo.

En la década de 1860 Mendeléyev ya había predicho la existencia del tecnecio, elemento de número atómico 43, cuando confeccionó su tabla periódica, y le asignó el nombre de *ekamanganeso*, como hizo con otros elementos desconocidos en esa fecha. Aunque también hizo predicciones incorrectas de elementos que no se llegaron a descubrir nunca, en los siguientes años muchos de los que faltaban en la tabla periódica de Mendeléyev se fueron descubriendo y caracterizando; sin embargo, el elemento 43 se resistió muchos años, hasta bien entrado el siglo XX.

Esta demora en su descubrimiento se debió a que el tecnecio no podía encontrarse en la naturaleza, o al menos no en cantidades fácilmente apreciables. Se trataba de un elemento sintético cuya obtención se da exclusivamente a partir de reacciones nucleares como les ocurría a los elementos transuránidos, elementos químicos cuyo número atómico es superior a 92 (número atómico del uranio). Lo que ocurre es que, a diferencia de estos, cuya existencia se predijo en la década de 1930, tan solo unos años antes de su descubrimiento, el tecnecio se estuvo buscando durante casi 80 años. En ese periodo tan largo, hubo varios intentos fallidos de aislarlo, que luego se demostraban que eran identificaciones erróneas de otros metales de transición. Durante el siglo XIX se habían identificado algunos metales que equivocadamente habían sido designados como elementos químicos y que por sus propiedades podrían ser el tecnecio. Por ejemplo, el *polinium*, el *ilmenio*, el *pelopio*, el *davyo* o el *lucium* que resultaron ser en realidad, iridio, aleaciones de niobio-tántalo (el segundo y el tercero), una combinación de iridio, rodio y trazas de hierro, e itrio con otras tierras raras, respectivamente.[1] Más tarde, en 1908, el científico japonés Ogawa anunció el descubrimiento del elemento 43, al que llamó *nipponium*, pero se trataba en realidad del elemento 75,[2] del mismo grupo y tan escaso en la corteza terrestre que fue el último elemento estable natural en ser aislado oficialmente en 1925. Fue en ese año cuando Berg, Noddack y Tacke publicaron un estudio sobre el elemento de número atómico 75,[3] junto con un nuevo intento de desenmascarar al elemento 43. Al primero lo llamaron renio en honor a la región alemana de Renania y su río Rin, donde se habían encontrado las muestras que se analizaron, y al segundo le dieron el nombre de *masurio*. Dicha "aparición" fue el resultado de bombardear muestras de columbita con un haz de electrones. Se afirmó haber detectado una leve señal de rayos X a la longitud de onda correspondien-

CÓMO CITAR: C. González, C. Romero. *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 87-91, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2026

* C-e: crmuniz@us.es

Manuscrito recibido: 10/03/2025 · aceptado: 11/06/2025

© 2025 Real Sociedad Española de Química

te al elemento 43. Sin embargo, este hallazgo fue considerado erróneo durante muchos años al no ser reproducible por otros investigadores de la época y de detección dudosa.[1,4]

El tecnecio se obtuvo por fin en 1937 en Palermo (Italia) por Segrè y Perrier mediante métodos de radioquímica al analizar la actividad de una pieza de molibdeno que había sido irradiada durante tiempos prolongados con un haz de deuterio en el nuevo ciclotrón instalado en el Berkeley National Laboratory,[5,6] dirigido por aquel entonces por el profesor Ernest Lawrence. El molibdeno metálico está constituido por siete isótopos estables del mismo elemento en proporciones significativas que carecen de propiedades radioactivas. Segrè y Perrier se percataron de que la muestra emitía radioactividad procedente de varios radionúclidos con periodos de semidesintegración de varios meses. Mediante un exhaustivo análisis químico descartaron la posibilidad de que esa radiación procediera de isótopos inestables de elementos de transición conocidos (molibdeno, rutenio, zirconio, etc.) sino que se trataba inequívocamente de isótopos con número atómico 43. Habían descubierto varios isótopos del tecnecio (concretamente ^{95m}Tc y ^{97m}Tc), como ellos mismos acabaron llamando a este elemento diez años después por ser un vocablo de raíz griega que significa artificial. En los siguientes años continuaron las investigaciones sobre este nuevo elemento y se describieron nuevos isótopos del mismo. Actualmente se conocen más de cincuenta radionúclidos del tecnecio. Los más comunes se muestran en la tabla 1. Algunos de ellos poseen tiempos de semidesintegración extremadamente largos, del orden del millón de años como el ^{98}Tc (4,2 millones de años), el ^{97}Tc (2,6 millones de años) o el ^{99}Tc (212 miles de años), mientras que otros poseen tiempos de semidesintegración mucho más cortos que oscilan entre los pocos segundos y los pocos meses. Asimismo, podemos destacar la existencia de múltiples núcleos metaestables que se caracterizan por ser estados excitados de otros radionúclidos y que se denotan añadiendo la letra m a su número másico, como hemos visto en los casos del ^{95m}Tc y ^{97m}Tc, los primeros en describirse. Radionúclidos como estos no deben confundirse con el estado no excitado correspondiente, es decir ^{97m}Tc y ^{97}Tc no son el mismo radionúclido, aunque sean el mismo isótopo. Sus estados energéticos son distintos y dan lugar a características nucleares muy distintas, incluyendo el tipo de

Tabla 1. Propiedades de algunos de los principales radionúclidos del tecnecio: periodos de semidesintegración ($T_{1/2}$), el modo de decaimiento y el elemento al que decaen.

	$T_{1/2}$	Decaimiento	Hijo
^{95m}Tc	61 días	EC γ IT	^{95}Mo -- ^{95}Tc
^{96}Tc	4,3 días	EC γ	^{96}Mo --
^{97}Tc	$2{,}6\cdot10^6$ años	EC	^{97}Mo
^{97m}Tc	90 días	IT	^{97}Tc
^{98}Tc	$4{,}2\cdot10^6$ años	β^- γ	^{98}Ru --
^{99}Tc	$2{,}12\cdot10^5$ años	β^-	^{99}Ru
^{99m}Tc	6,02 horas	IT γ	^{99}Tc --

EC = captura electrónica β = beta
IT = transición isométrica γ = gamma

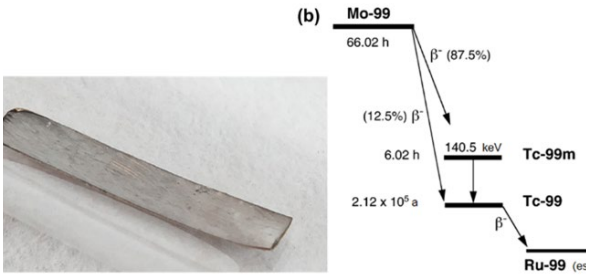


Figura 1. (a) Una pieza de tecnecio metálico. (b) Diagrama de desintegración del ^{99}Mo, isótopo del que se obtiene el ^{99m}Tc para sus aplicaciones en medicina nuclear.

modo de decaimiento. Se dice que el par metaestable excitado y el no excitado son isómeros nucleares, término que difiere del habitual en química orgánica e inorgánica para referirse a isómeros químicos estructurales.

De lo dicho anteriormente se extrae una conclusión muy importante que a veces puede parecer poco intuitiva, y es que, pese a que el tecnecio es un elemento artificial y no posee isótopos estables, como existen isótopos de muy larga vida, una vez que es producido este elemento perdura indefinidamente en el tiempo, al menos para nuestra escala temporal. Así, se pudo determinar la estructura cristalina del tecnecio en estado metálico, que se puede describir sobre la base de un empaquetamiento hexagonal compacto o su espectro característico de rayos X.[7-8] Por ello, el tecnecio no solo es que sea un metal de transición como los demás, sino que posee una química extremadamente rica y una enorme facilidad para formar complejos de coordinación con multitud de ligandos como podemos apreciar en la extensa monografía de K. Schwochau.[9] El tecnecio puede adoptar una gran variedad de estados de oxidación, lo que le permite formar diversos compuestos. Esto lo hace muy interesante desde el punto de vista de la química de coordinación y la formación de complejos:

- Tc(VII): En este estado de oxidación, el tecnecio forma principalmente como pertecnetato (TcO_4^-), para dar lugar a sales de elementos alcalinos y de otros metales, así como otros complejos. El Tc(VII) también forma complejos con ligandos como el ácido oxálico, aunque la estabilidad de estos compuestos puede ser influenciada por el entorno químico.
- Tc(VI) y Tc(V): Son estados de oxidación menos frecuentes pero existen oxoaniones tales como $Tc^{VI}O_4^{2-}$, $Tc^{V}O_4^{3-}$ o $Tc^{V}O_3^-$, que forman sales con elementos como sodio o litio, así como otros iones más complejos y con mayor carga. También existen complejos con ligandos como el ácido fosfórico.
- Tc(IV): En este estado de oxidación, el tecnecio forma complejos con varios ligandos y que resultan ser más estables en soluciones ácidas, como por ejemplo el $[TcCl_4(H_2O)_2]$. Asimismo, existen oxoaniones como el TcO_3^{2-} que aparece en multitud de sales.
- Tc(III) y Tc(II): En estos estados de oxidación, el tecnecio forma complejos de coordinación con ligandos como el cloruro y el agua. Los compuestos en estos estados suelen ser menos comunes, pero tienen importancia en química de coordinación.

También es propenso a formar óxidos (TcO_2 y Tc_2O_7 los más comunes), haluros, calcogenuros y demás sales binarias, así como otras oxosales de estructura más compleja.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

De entre todos los isótopos conocidos del tecnecio hay uno que merece una especial atención debido a su relevancia en algunas aplicaciones médicas. Se trata del ^{99m}Tc, un radionúclido cuyo periodo de semidesintegración es de 6 horas y emite radiación gamma con una energía de 140 keV. Fue caracterizado poco después del descubrimiento del tecnecio por Seaborg y el mismo Segrè.[10,11] Proviene del isótopo ^{99}Mo, un emisor β^- con un periodo de semidesintegración mayor, de 66,02 horas, como vemos en el esquema de desintegración de la figura 1b. El periodo de semidesintegración del ^{99}Mo sí es lo suficientemente largo como para permitir el transporte de este isótopo, aunque haya que hacerlo de forma diaria.

La obtención del ^{99m}Tc se basa en el uso de un generador de ^{99}Mo/^{99m}Tc como se esquematiza en la figura 2 que consta de una columna de cromatografía que permite extraer el ^{99m}Tc en forma de pertecnetato ($^{99m}TcO_4^-$) a partir del ^{99}Mo que se encuentra en forma de molibdato ($^{99}MoO_4^-$). Este dispositivo se desarrolló durante la década de 1950 en el Brookhaven National Laboratory de Estados Unidos. En este proceso, el ^{99}Mo (radionúclido padre) se carga sobre una columna de alúmina acidificada. Como este presenta una mayor afinidad por la alúmina, queda retenido en la columna mientras que el ^{99m}Tc, el radionúclido hijo que se va produciendo constantemente, puede ser eluido fácilmente y extraído de forma continua. Como la fase móvil debe ser biocompatible para su posterior aplicación intravenosa, suele emplearse una disolución isotónica de NaCl al 0,9% en peso. Como resultado, el producto de la elución contiene una disolución de $Na^{99m}TcO_4$ que se usa como reactivo de partida para la elaboración *in situ* de radiofármacos. Actualmente los generadores comerciales cuentan con un sistema de blindaje de plomo u otro metal pesado para proteger de la radiación, así como con un sistema de vacío para llevar a cabo la cromatografía como se esquematiza en la figura 2.

El uso del ^{99m}Tc en diagnóstico médico ha revolucionado la forma en que los profesionales pueden obtener imágenes detalladas del interior del cuerpo humano,[12] aunque es cierto que también se emplean otros radionúclidos.[13] Se trata de un radionúclido ideal para un tipo de pruebas diagnósticas por imagen médicas llamadas gammagrafías. Esto se debe a tres factores. En primer lugar, la combinación de una emisión gamma de baja energía que no es tan perjudicial para los organismos vivos con un periodo de semidesintegración corto que permite que su actividad desaparezca al cabo de pocos días. En segundo lugar, se puede obtener con relativa facilidad a partir del ^{99}Mo, un subproducto de la fisión del ^{235}U que se da en los reactores nucleares. Es cierto que puede obtenerse también a partir de la irradiación con neutrones del isótopo estable ^{98}Mo, de forma similar a lo que hicieron Segrè y Perrier inicialmente, pero este método no es el más eficiente. Y, en tercer lugar, tal y como puede consultarse en la monografía de Schwochau, existen infinidad de complejos de tecnecio que permiten que el radiofármaco inyectado se acumule en el órgano o tejido deseado, que es lo que va a permitir la formación de la imagen.

Las gammagrafías se realizan en un dispositivo que se llama gammacámara, lo que se muestra en la figura 3a, y que consigue capturar imágenes de los órganos internos del cuerpo mediante un procedimiento poco invasivo. Al paciente se le inyecta una pequeña cantidad de ^{99m}Tc que se encuentra en forma de un compuesto o complejo que se acumula de forma específica a algún órgano (riñón, cerebro, pulmón, etc.) o tejido (óseo, tumoral, etc.). Mediante a un sistema de detectores de radiación gamma se puede construir una imagen bidimensional gracias a la radiación emitida por los órganos o los tejidos afectados por el radioisótopo. A partir de varias proyecciones o cortes bidimensionales se puede realizar una reconstrucción

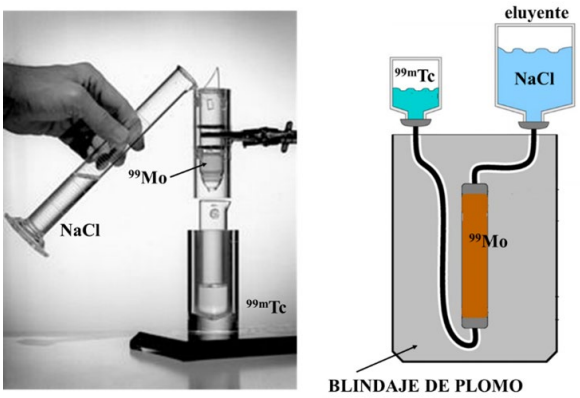


Figura 2. Fotografía del primer generador de ^{99m}Tc desarrollado en el Brookhaven National Laboratory de Estados Unidos en 1958 acompañado del esquema de un generador comercial actual.

tridimensional que es lo que se denomina un SPECT (tomografía computarizada por emisión de monofotones). Gracias a esta técnica se genera una imagen o gammagrafía que puede ser de utilidad en el diagnóstico de muchos tipos de enfermedades ya que permite un análisis de carácter funcional (circulación sanguínea o linfática, funcionamiento de tiroides, riñones, etc. o aparición y evolución de tumores) que complementa el análisis anatómico obtenido con otras técnicas de imagen médica.

El ^{99m}Tc se usa habitualmente para evaluar la función del corazón mediante estudios de perfusión miocárdica. En estos estudios, el isótopo se introduce en el cuerpo a través de una inyección intravenosa, y se utiliza para observar cómo fluye la sangre a través del corazón, permitiendo detectar áreas con suministro sanguíneo insuficiente, como por ejemplo en el caso de enfermedades coronarias o infartos. También se utiliza en el diagnóstico de enfermedades renales, como la evaluación de la función renal y la detección de obstrucciones en las vías urinarias. Un ejemplo de esto es el uso de ^{99m}Tc-DMSA (ácido dimercaptosuccínico), que se acumula en los riñones y permite obtener una imagen clara de su anatomía y función. En algunos casos, el ^{99m}Tc se puede utilizar para localizar tumores, ya que existe la posibilidad de diseñar un complejo que se adhiera a las células cancerosas, lo que permite su visualización a través de imágenes. Aunque este uso no es tan común como los anteriores, sigue siendo relevante en algunos diagnósticos oncológicos.

En la figura 3b podemos ver un ejemplo de gammagrafía ósea,[14] donde se usa un complejo con ligandos hidroximetileno difosfonatos (^{99m}Tc-HMDP), aplicada en un paciente que presenta lesiones que, en la parte izquierda de las costillas, son claramente visibles en la gammagrafía. Después de un tratamiento de quimioterapia los tumores remiten y dejan de observarse en la imagen. Estas técnicas de imagen se integran en una disciplina médica que recibe el nombre de medicina nuclear y se calcula que el radioisótopo ^{99m}Tc está presente de alguna forma en el 80% de los millones de pruebas que se realizan anualmente a nivel mundial en esta especialidad y que día de hoy se siguen desarrollando nuevos radiofármacos.[12] Hay que destacar que los radiofármacos de ^{99m}Tc empleados en las gammagrafías deben sintetizarse directamente en los centros médicos debido a su corto periodo de semidesintegración como hemos comentado.

Por último, es interesante mencionar que, aunque se dice que el tecnecio es un elemento artificial y no se encuentra en la naturaleza, estrictamente hablando sí puede encontrarse en la corteza terrestre en trazas detectables ya que es un producto de la fisión del uranio como habían demostrado Segré

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2026

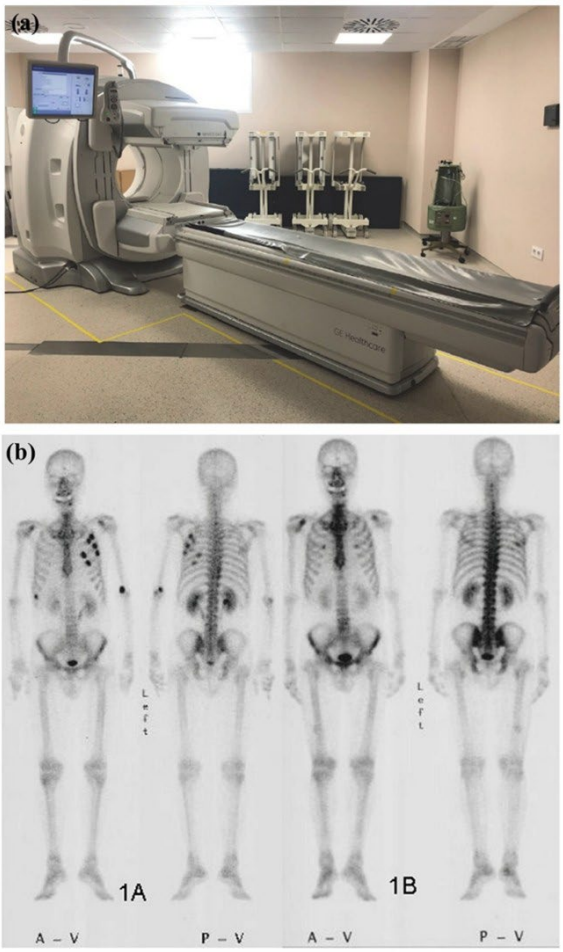


Figura 3. (a) Una gammacámara Optima NM/CT 640 de General Electric instalada en el Hospital Universitario Virgen del Rocío de Sevilla. (b) Una gammagrafía ósea hecha con ^{99m}Tc-HMDP a un paciente oncológico que presentaba lesiones en las costillas izquierdas, que tras un tratamiento con quimioterapia remiten, de la ref. [14].

y Wu en 1940.[15] Este proceso se puede dar en la naturaleza de forma espontánea en la fisión inducida por neutrones en el ^{235}U, aunque sea con una probabilidad muy baja dando lugar a proporciones extremadamente bajas de sus productos de fisión. Pese a que esta cantidad de tecnecio natural presente es muy baja e insignificante en comparación con la que se produce como subproducto en las centrales nucleares, lo que sí es de interés en investigación es conocer la distribución y localización exactas de los isótopos de tecnecio en el ambiente.[16] También se detectó la presencia de tecnecio en las estrellas, lo que alimenta la teoría de que estas se han podido formar a partir de elementos pesados. En efecto, el tecnecio fue uno de los primeros elementos en ser detectados en las estrellas en el año 1952 por el astrónomo P. W. Merrill,[17] a través de la observación de las líneas espectrales de dicho elemento en el espectro de una gigante roja. La presencia de tecnecio en las estrellas ayuda a los astrónomos a comprender mejor la historia de la nucleosíntesis y la evolución de las estrellas. Dado que el tecnecio tiene una vida media relativamente corta, su detección en las estrellas también puede ofrecer pistas sobre la edad y las condiciones evolutivas de estas. En el caso de estrellas más viejas, el tecnecio puede ser utilizado como un indicador de los procesos nucleares de generaciones anteriores de estrellas.

Todo lo expuesto en este artículo pone de manifiesto que el tecnecio es un elemento muy singular, con una historia fascinante y que está mucho más presente en nuestras vidas de lo que parece. Sin embargo, da la impresión de que tanto en las monografías académicas de química como en los planes de estudio universitarios pasa desapercibido pese a sus muchas y relevantes aplicaciones. Esperamos que esta reseña contribuya a popularizar este elemento tan peculiar y que aparezca más a menudo en las aulas de química y en la producción de divulgación científica.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias a una ayuda del programa Ramón y Cajal del Ministerio de Ciencia e Innovación (Ref. RYC2021-031176-I). Asimismo, agradecemos al profesor José María Gavira Vallejo de la UNED la lectura del manuscrito y sus sugerencias.

Bibliografía

[1] R. Zingales, *J. Chem. Educ.* **2005**, *82*, 221-227, https://doi.org/10.1021/ed082p221.
[2] H. K. Yoshihara, *Spectrochim. Acta A Mol. Biomol. Spectrosc.* **2004**, *59*, 1305-1310, https://doi.org/10.1016/j.sab.2003.12.027.
[3] W. Noddack, I. Tacke, O. Berg, Naturwissenschaften **1925**, *13*, 567-574, https://doi.org/10.1007/BF01558746.
[4] F. A. A. de Jonge, E. K. J. Pauwels, *Eur. J. Nucl. Med.* **1996**, *23*, 336-344, https://doi.org/10.1007/BF00837634.
[5] C. Perrier, E. Segrè, *Nature* **1937**, *140*, 193, https://doi.org/10.1038/140193b0.
[6] C. Perrier, E. Segrè, *J. Chem. Phys.* **1937**, *5*, 712-716, https://doi.org/10.1063/1.1750105.
[7] R. C. L. Mooney, *Acta Cryst.* **1948**, *1*, 161-162, https://doi.org/10.1107/S0365110X48000466.
[8] L. E. Burkhart, W. F. Peed, B. G. Saunders, *Phys. Rev.* **1948**, *73*, 347-349, https://doi.org/10.1103/PhysRev.73.347.
[9] K. Schwochau, *Technetium: Chemistry and Radiopharmaceutical Applications. Wiley-VCH (2000)* https://doi.org/10.1002/9783527613366.
[10] E. Segrè, G. T. Seaborg, *Phys. Rev.* **1938**, *54*, 772, https://doi.org/10.1103/PhysRev.54.772.2.
[11] G. T. Seaborg, E. Segrè, *Phys. Rev.* **1939**, *55*, 808-814, https://doi.org/10.1103/PhysRev.55.808.
[12] M. Riondato, D. Rigamonti, P. Martini, C. Cittanti, A. Boschi, L. Urso, L. Uccelli, *J. Med. Chem.* **2023**, *66*, 14582, https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.3c00148.
[13] S. Zhang, X. Wang, X. Gao, X. Chen, L. Li, G. Li, C. Liu, Y. Miao, R. Wang, K. Hu, *Signal Transduct. Target. Ther.* **2025**, *10*, 1, https://doi.org/10.1038/s41392-024-02041-6.
[14] K. Mado, Y. Ishii, T. Mazaki, M. Ushio, H. Masuda, T. Takayama, *World J. Surg. Onc.* **2006**, *4*, 3, https://doi.org/10.1186/1477-7819-4-3.
[15] E. Segrè, C. S. Wu, *Phys. Rev.* **1940**, *57*, 552, https://doi.org/10.1103/PhysRev.57.552.3.
[16] M. García-León, *J. Nucl. Radiochem. Sci.* **2005**, *6*, 253-259, https://doi.org/10.14494/jnrs2000.6.3_253.
[17] P. W. Merrill, *Astrophys. J.* **1952** 116 21, https://doi.org/10.1086/145589.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Carmen María González Galán
Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Sevilla
C-e: cgonzalez10@us.es
ORCID: 0000-0003-4320-7418

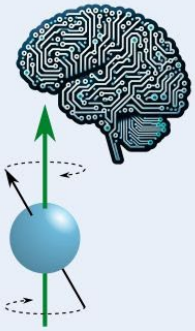
C. González-Galán estudió el grado en Química en la Universidad de Huelva, obteniendo el Premio Extraordinario Fin de Carrera. Tras esto, inició el Máster de Biotecnología Sanitaria en la Universidad Pablo de Olavide, institución en la que también realizó su tesis doctoral (dentro del programa de Biotecnología, Ingeniería y Tecnología Química). Tras finalizar esta, con la mención internacional y la distinción 'Cum Laude', estuvo trabajando en el Departamento de Química Analítica de la Universidad de Córdoba. Actualmente, se encuentra en el Departamento de Física de la Materia Condensada de la Universidad de Sevilla realizando cálculos DFT en tierras raras

Carlos Romero Muñiz
Departamento de Física de la Materia Condensada, Universidad de Sevilla
C-e: crmuniz@us.es
ORCID: 0000-0001-6902-1553

Es licenciado en Física e ingeniero de materiales (Universidad de Sevilla), graduado en Química (UNED) y doctor en Física de la Materia Condensada por la Universidad Autónoma de Madrid. Tras varios periodos posdoctorales en la Universidad Autónoma de Madrid y en la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, actualmente es investigador Ramón y Cajal de la Universidad de Sevilla. Su investigación la realiza aplicando cálculos cuánticos de primeros principios a distintos temas de interés en química física y ciencia de materiales, como el desarrollo y optimización de materiales magnéticos o la interpretación teórica de espectros vibracionales.

2025 AUTUMN GERMN DAY

AI AND COMPUTATIONAL METHODS FOR NMR



16th October 2025, 10:00-17:30
Residència d'Investigadors
c/Hospital, 64, Barcelona

Vladislav Orekhov, University of Gothenburg
Margarida Julià, Universidad Autónoma de Barcelona
Antonio Hernández Daranas, IPNA-CSIC
Marcel Swart, Universitat de Girona
Flemming Hansen, University College London

Roundtable Discussion:
AI and NMR, opportunities and threats

Carla García, Mariola Ferreras and Laura Díaz
2022 and 2023 NMR Thesis Awards

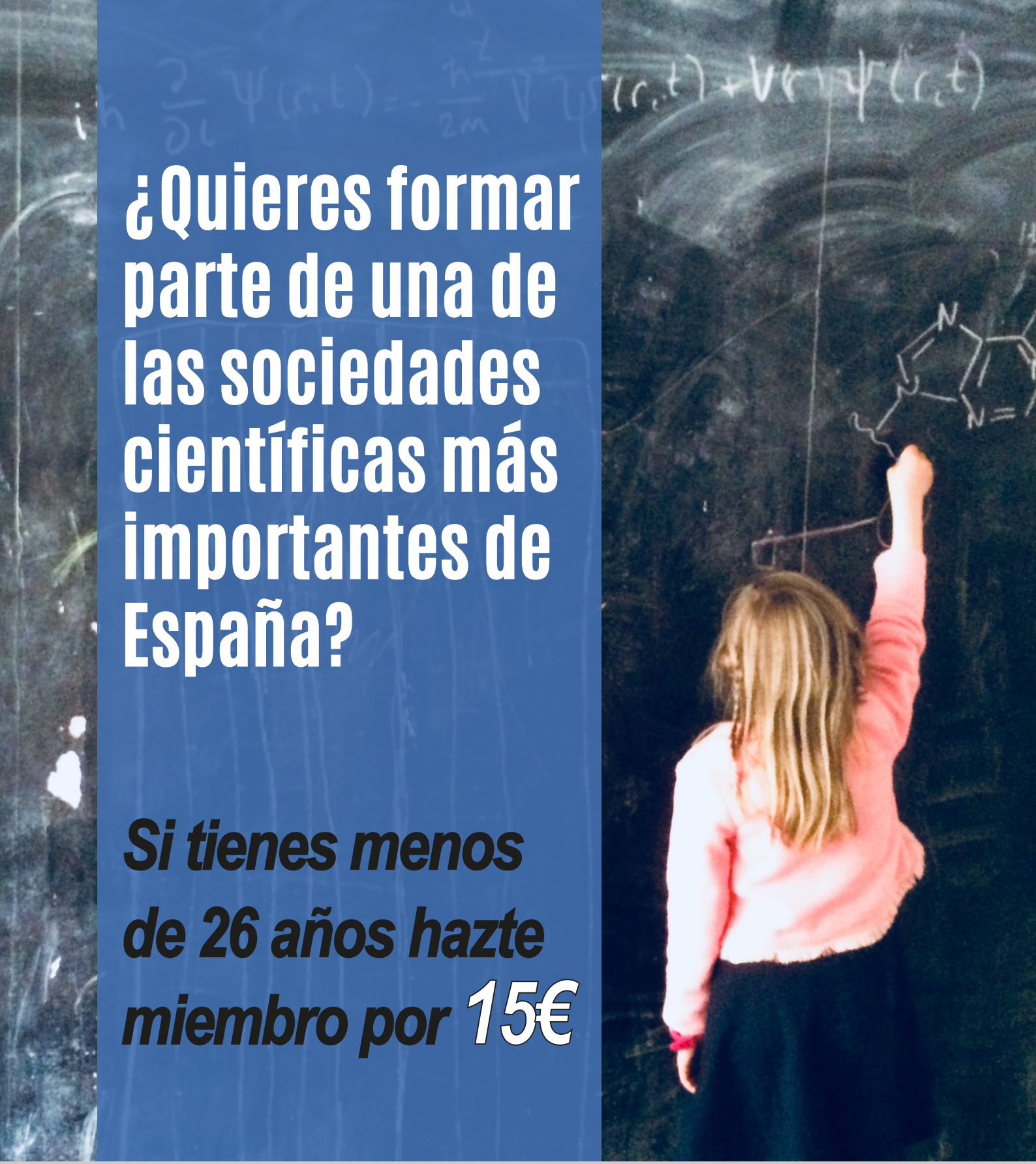
More info about registration at

https://germn.rseq.org/autumn-germn-nmr-day-ai-and-computational-methods-for-nmr/

geRMN grupo especializado de resonancia magnética nuclear
STCAT RSEQ Sección Territorial de Cataluña Secció Territorial de Catalunya
BRUKER
MOLDRUG AI Systems

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2026



¿Quieres formar parte de una de las sociedades científicas más importantes de España?

Si tienes menos de 26 años hazte miembro por 15€

RSEQ

Real Sociedad Española de Química

www.rseq.org

Anales de Química de la RSEQ
An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (2), 93-94
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2042
La revista de la Real Sociedad Española de Química

IMÁGENES DE LA QUÍMICA

Gafas y pantallas de seguridad

Safety goggles and screens

Santiago Álvarez*

Catedrático Emérito de Química Inorgánica.
Departament de Química Inorgànica i Orgànica, Secció de Química Inorgànica; Institut de Química Teòrica i Computacional UB; Universitat de Barcelona.

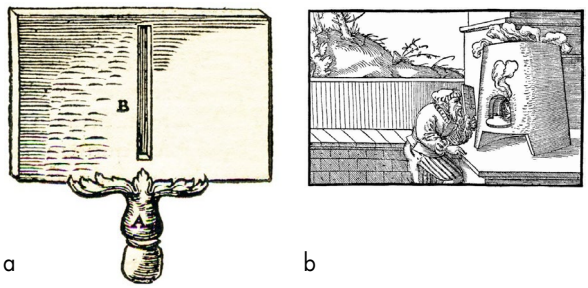
> Cuando el operario esté ensayando el mineral, para evitar que el gran calor del fuego dañe sus ojos, le será útil tener siempre a mano una tablilla delgada de madera, de dos palmos de ancho, con un mango con el que sostenerlo, y con una hendidura vertical en el centro a través de la cual pueda mirar como por una rendija, pues le será necesario observar el interior del horno frecuente y cuidadosamente para considerar todo lo que en él ocurre.
>
> Georg Agricola[1]

Introducción

Si alguien piensa que las gafas de seguridad para el laboratorio son un invento de los químicos estadounidenses del siglo XX, es conveniente que lea este artículo, empezando por la entradilla, una cita literal tomada del "libro VII" de los doce que componen la obra *De re metallica*, publicada en 1556, un año después de la muerte de su autor. Allí se habla ya de la protección de los ojos frente a las reacciones químicas (Figura 1).

Tal vez existan precedentes en fechas anteriores, pero ésta es la imagen más antigua de la que yo tengo constancia.

Cierto es que el uso generalizado –e incluso obligatorio– de gafas de seguridad ("goggles" en inglés, no confundir con "Google") en el laboratorio químico se aprecia prominentemente en fotografías y en publicidad en revistas norteamericanas (Figura 2). Pero eso no debe hacernos perder de vista que artilugios empleados con el mismo propósito habían sido diseñados en Europa hace casi seis siglos, y no podemos descartar que también los alquimistas árabes, chinos o hindúes hubieran tenido a mano alguna forma de protección ocular frente a las reacciones exotérmicas o explosivas.



a b

Figura 1. (a) Pantalla para proteger los ojos durante el ensayo de minerales, descrita por Agricola en 1556, con un mango (A) y una rendija vertical (B). (b) En el mismo libro se muestra un laborante en plena acción ante un horno de ensayos redondo (derecha). Referencia [1].

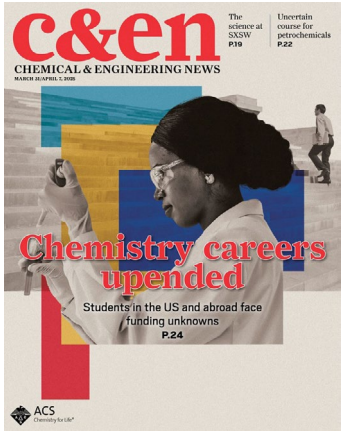


Figura 2. Portada de la revista Chemical & Engineering News, 2025, de la American Chemical Society, mostrando una química con gafas de seguridad. Reproducido de Ref. [2].

Casi un siglo después encontramos un químico calcinando antimonio mediante la luz solar concentrada por un espejo cóncavo, usando unas gafas protectoras bien ajustadas a la cara, en el conocido tratado de química de Nicaise Lefèvre (Figura 3).[3] El autor explica así la necesidad de usar gafas: «Debe tener, además, unas gafas de vidrio verde, a fin de dirigir los rayos sobre el antimonio, y que lo pueda remover a medida

Figura 3. Operario con gafas de seguridad procediendo a la calcinación de antimonio, según grabado de Abraham Boss incluido en el *Traité de la Chimie* de Nicaise Lefèvre en 1669. Reproducido de Ref. [3].

CÓMO CITAR: S. Álvarez. *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 93-94, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2042

* C-e: santiago.alvarez@qi.ub.es

© 2025 Real Sociedad Española de Química

que lo calcina, de lo contrario la vivacidad de esa luz dañaría y arruinaría su vista».

También Johann Joachim Becher, en su "laboratorio portátil" incluye entre numerosos adminículos una tableta protectora, en este caso con una rendija horizontal.[4] Vale la pena anotar aquí el título completo de ese libro: *Copa Becheriana, o laboratorio portátil, en el que se pueden realizar todas las tareas químicas imaginables y prácticas con poco gasto, en poco tiempo y con un manejo agradable*.

En 1772, la Academia de Ciencias francesa nombró una comisión para comprobar si el calor destruía realmente los diamantes y, en caso afirmativo, si se debía a su evaporación o a una combustión. Lavoisier decidió probar de conseguir temperaturas más altas que las que se podían generar con un horno convencional, aprovechando la radiación solar concentrada mediante una lente de Tschirnhausen. Ésta era una especie de lupa gigante, un auténtico horno solar, cuyo diseño fue modificado por Lavoisier, reemplazando las lentes de vidrio macizo por otras de vidrio vacío relleno de alcohol. Lavoisier realizó este experimento en París, cerca del Louvre, y fue todo un espectáculo público, en el cual consiguió quemar un diamante con su horno solar (Figura 4).[5]

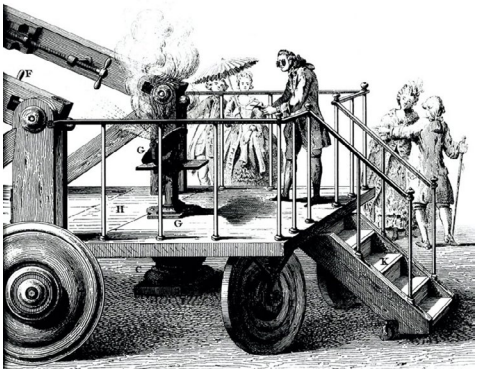


Figura 4. Antoine Lavoisier realizando en público, en París, la demostración de que el diamante sufre una reacción de combustión a temperaturas elevadas conseguidas mediante la concentración de luz solar usando una lupa de Tschirnhausen.

Además, Lavoisier comprobó que el gas desprendido era "aire fijo", es decir, dióxido de carbono.[6] El detalle que nos interesa está en la cara de Lavoisier, que con unas gafas oscuras tiene un aspecto de rockero moderno. De la misma época es la máscara de piel con dos vidrios ahumados que utilizaba Lavoisier en su laboratorio y que se conserva en el Musée des Arts et Métiers de París (Figura 5).

Faraday, en Chemical Manipulation,[7] dedica una sección a "Pantallas y máscaras para los ojos y la cara". Primero propone usar un trozo de tela metálica que cubra la cara, aunque reconoce que dificulta la visión y que permite a los líquidos traspasarla. La segunda opción es una máscara de vidrio corona que, aunque se podría romper por una explosión, se puede reforzar con mica. La tercera propuesta son unas gafas con vidrios frontales y laterales.

Figura 5. Gafas de seguridad con montura de cuero del laboratorio de Lavoisier, Musée des Arts et Métiers, París.

Por esos tiempos, también Violette clama por medidas de seguridad y recomienda tres tipos de protección ocular.[8] La primera (Figura 6a) es una pantalla como las que hemos visto anteriormente, con la que «se puede vigilar de muy cerca una operación sin temer lo resultados de una explosión». La pantalla tiene el inconveniente de que no se puede disponer de las dos manos para realizar las operaciones necesarias, pues una debe usarse para sostenerla. Se puede trabajar con las dos manos usando unas gafas con aspecto de antifaz (Figura 6b), hechas con un trozo de cartón delgado recortado convenientemente, con dos agujeros recubiertos de pequeños discos de vidrio blanco para permitir ver, y provisto lateralmente de dos hilos de latón que se sujetan tras las orejas. Por último, propone una pantalla de cartón de 30x40 cm, sin ranuras, que se sostiene sobre un disco de madera y se puede colocar cerca de los aparatos en que se producen las reacciones (Figura 6c).

Cada vez que hagas el gesto mecánico de ponerte las gafas al entrar en el laboratorio, recuerda cuánta historia hay detrás de cada una de las piezas que las componen.

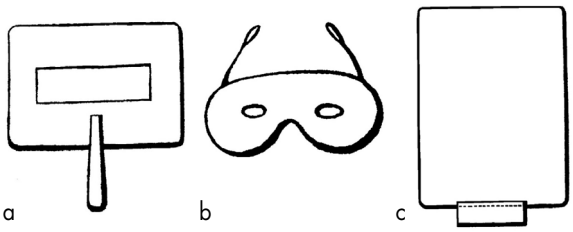
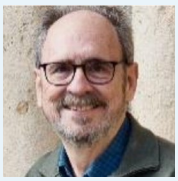


Figura 6. Protectores de la vista propuestos por Violette: (a) pantalla con mango y rendija, (b) gafas con montura de cartón y (c) pantalla con soporte y sin rendija. Referencia [8].

Bibliografía

[1] G. Agricola, *De re metallica*, Frobenius, Basilea,**1556**.
[2] *Chem. Eng. News*, 103 (9), **2025**.
[3] N. Lefèvre, *Traité de la Chymie*, Corneille Driehuysen, Leiden, **1669**, vol. 2.
[4] J. J. Becher, *Scyphus Becherianus, sive Laboratorium portatile*, Johann Daniel Tauber, Nuremberg, **1719**.
[5] A. L. Lavoisier, Mem. *Acad. Sci.* **1772**, 564, 591.
[6] S. Álvarez, en *De mujeres, hombres y moléculas*, Editions de la Universitat de Barcelona, Barcelona, **2020**, pp 95-107.
[7] M. Faraday, *Chemical Manipulation: being Instructions to Students in Chemistry on the Methods of Performing experiments of Demonstration or Research*, with Accuracy and Success, John Murray, Londres, **1842**.
[8] H. Violette, *Nouvelles manipulations chimiques simplifiées*, L. Mathias, París, **1847**.
[9] V. Hugo, *Nuestra Señora de París*, Gaspar y Roig, Madrid, **1846**.



Santiago Álvarez
Catedrático Emérito de Química Inorgánica. Departament de Química Inorgànica i Orgànica, Secció de Química Inorgànica; Institut de Química Teòrica i Computacional UB
C-e: santiago.alvarez@qi.ub.es
ORCID: 0000-0002-4618-4189

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Anales de Química de la RSEQ
An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (2), 95
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2047
La revista de la Real Sociedad Española de Química

Reseña

Leyendas, mitos e historias ilustradas con experimentos de química y de física

Josep Corominas Viñas

Acaba de publicarse el libro "Leyendas, mitos e historias ilustradas con experimentos de química y de física", de Josep Corominas, autor bien conocido, a nivel nacional e internacional, por sus aportaciones a la enseñanza y la divulgación de las ciencias en general, y de la física y la química en particular. La obra es fiel reflejo de la actividad educativa y divulgadora del profesor Corominas, en una trayectoria ejemplar que abarca más de cuatro décadas. Licenciado en Química por la Universitat de Barcelona (1977), ha sido profesor en la Escuela Pía de Sitges y colaborador para la formación del profesorado y el diseño de secuencias experimentales en diversas instituciones, como el *Col·lectiu per a la Recerca en Educació Cientificotecnològica i Matemàtica* (CRECIM) de la Universitat Autònoma de Barcelona y el *Centre de Recursos Pedagògics Específics de Suport a la Innovació i a la Recerca Educativa* (Departament d'Educació de Catalunya). Asiduo participante en decenas de ferias científicas (Ciencia en Acción por toda la geografía española, *Ciència al Carrer* de Lleida, el *Pati de la Ciència* de Alicante, Disfrutar Divulgando Desinteresadamente, *Science on Stage* en varias ciudades europeas…), es autor de numerosas publicaciones y colaborador habitual del *Col·legi Oficial de Doctors i Llicenciats en Filosofia i Lletres i en Ciències de Catalunya*. Su labor ha sido reconocida con multitud de premios, como seis distinciones del festival Ciencia en Acción, el premio «Salvador Senent» (2017) al mejor artículo sobre didáctica o historia de la física o de química,[1] el premio de la RSEQ a las tareas educativas y divulgativas para profesores preuniversitarios (2018), y el premio a la excelencia en educación de la Societat Catalana de Química (2024).

Buena parte de toda esta actividad la ha condensado en este libro, donde recoge experimentos sencillos de realizar, con materiales accesibles en cualquier centro escolar o el propio hogar, y que tienen la garantía de que han sido probados por el autor. La mayor parte requiere un mínimo de cuidado, pero, en algún caso, se especifica que debe realizarse por una persona responsable con conocimientos de química. En vez de limitarse a detallar experiencias, estas van precedidas de una leyenda, historia o relato mitológico (71 en total), lo que constituye una forma original de contextualización. La obra se divide en bloques, por el origen de los relatos: Antigua Grecia, Europa, América, Lejano Oriente y África, la Biblia, creencias populares, y de libros y películas. Cada capítulo incluye uno o dos experimentos (objetivo, material necesario y procedimiento) y, además, se recogen precauciones de seguridad y direcciones web para completar la información o visualizar vídeos de las experiencias. Para facilitar las búsquedas, se incluye una clasificación de experimentos según los conceptos implicados: fuerzas y movimiento, leyes de Newton; óptica y ondas; electricidad y magnetismo; presión y fluidos; propiedades características de las sustancias, separación de mezclas y equilibrios; reacciones de precipitación y de formación de complejos; reacciones ácido-base; reacciones de combustión; reacciones redox y electroquímica (pilas y electrólisis).

Fecha de publicación: 2025.
ISBN: 9788410458307
ISBN e Book: 9788410458857
Editorial: Aula Magna (McGraw-Hill Interamericana).

En las tablas de índices y en el texto, se incluyen iconos para señalar si son productos fácilmente accesibles y se puede hacer en casa, si se requieren conocimientos de bachillerato, o si se necesita material específico o condiciones especiales de seguridad.

La obra, con abundancia de ilustraciones, es ideal para docentes (en ejercicio y en formación) de todas las etapas y áreas educativas, para estudiantes, titulados y, en suma, para cualquier persona con gusto por la cultura. Es especialmente idónea para el diseño y puesta en práctica de las "situaciones de aprendizaje", tan relevantes en el proceso educativo actual. Y todo ello no sirve únicamente para aprender ciencias; como indica el autor en la introducción, aparte de su propia experiencia, el libro pretende dar respuesta a una inquietud que le han transmitido otros colegas de áreas de Humanidades: la dificultad de los estudiantes en comprender el contexto de muchas obras de arte que reflejan escenas bíblicas o mitológicas. Se incluye bibliografía, tanto sobre los relatos como sobre los experimentos, con libros (como uno de los clásicos divulgativos de Tissandier del siglo XIX) y direcciones web (como el blog del propio autor). Por poner algún ejemplo, con la lectura del libro, desentrañaremos la creencia popular de que una cucharita en el cuello de una botella de cava evita que se pierda gas, relacionaremos un relato bíblico o una preciosa leyenda irlandesa con tres formas de hacer "arcoíris", se evocará la divinidad india Ganesha con la fabricación de una tinta, o se introducirá con la clásica experiencia química de "la serpiente del faraón" a la deidad azteca Quetzalcóatl. En resumen, se trata de un libro muy original, muy sugerente para todos, y de forma especial para profesorado de todas las ramas del saber. Todo ello lo hace, sin ninguna duda, altamente recomendable.

Bibliografía

[1] J. Corominas, *An. Quím.* **2018**, *114(2)*, 88-99.

Gabriel Pinto Cañón, Manuela Martín Sánchez y Marisa Prolongo Sarria
Grupo Especializado en Didáctica e Historia de la Física y la Química, de las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ).

CÓMO CITAR: G. Pinto, M. Martín. M. Prolongo. *An. Quím. RSEQ* **2025**, 121, 95, https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2047

* C-e: gabriel.pinto@upm.es

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Anales de Química de la RSEQ
An. Quím. RSEQ, 2025, 121 (2), 96-114
https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046
La revista de la Real Sociedad Española de Química

Noticias de la RSEQ

PREMIOS RSEQ

Miquel Solà Puig, Medalla de la RSEQ 2025

Miquel Solà (Fonteta, Baix Empordà, 1964) se formó como químico en la Universidad Autónoma de Barcelona, donde se licenció en 1986 con el Premio Extraordinario de Licenciatura. Su tesis doctoral, desarrollada en la misma universidad y dirigida por los Profs. Joan Bertrán y Agustín Lledós, obtuvo el Premio Extraordinario de Doctorado y el Premio San Albert otorgado por el Colegio de Químicos de Cataluña. Después de trabajar 18 meses como consultor informático en una empresa privada, en 1993 ingresó como técnico de investigación en la Universidad de Girona (UdG). Durante los años 1994 y 1995 hizo estancias postdoctorales en los laboratorios de los Profs. Evert Jan Baerends en Amsterdam y Tom Ziegler en Calgary. En 1997 consiguió una plaza de profesor titular en el Departamento de Química de la UdG. En el año 2001 recibió la Distinción de la Generalidad de Cataluña para la Promoción de la Investigación Universitaria (categoría de jóvenes científicos). Desde el año 2003 es catedrático en el Departamento de Química de la UdG. Ha sido director del Instituto de Química Computacional y Catálisis (2004-07, 2023-24), director del Departamento de Química (2007-10) y director de la Escuela de doctorado de la UdG (2010-14, 2018-22). Ha publicado más de 500 artículos en revistas internacionales, 42 capítulos de libro y un libro. A destacar su rol de mentor con 27 tesis doctorales defendidas (+ 4 en curso), cinco de las cuales con Premio Extraordinario de Doctorado de la UdG, y con 16 de los 27 antiguos doctorandos siguiendo carrera académica. Entre estos 16, muchos han recibido importantes ayudas y premios de investigación. Ha sido galardonado con el premio ICREA Academia en las ediciones de los años 2009, 2014 y 2024 y en el 2013 recibió el Premio Bruker en Química Física concedido por la Real Sociedad Española de Química. Fue nombrado

Prof. Miquel Solà.

miembro honorario de la Sociedad Polaca de Química por su trabajo de investigación y su apoyo a los químicos polacos y a la Sociedad Polaca de Química en el año 2019 y en el 2023 *Fellow de la Royal Society of Chemistry*. Es miembro del Comité Editorial de las revistas *Chemical Science, Theoretical Chemistry Accounts, ACS Omega, Frontiers in Chemistry* y Anales de Química. Trabaja en el campo de la química teórica y computacional en i) el estudio de la aromaticidad molecular; ii) el análisis de la naturaleza del enlace químico; iii) la investigación de mecanismos de reacción orgánicos y organometálicos, con especial énfasis en las reacciones [2 + 2 + 2] catalizadas por metales de transición y la reactividad de fullerenos y metalofullerenos endoédricos; y iv) procesos de transferencia de carga. ORCID: 0000-0002-1917-7450.

Premios de Reconocimiento a una Carrera Distinguida de la RSEQ, 2025

José Manuel González Díaz (Gijón, 1959), doctor en Química por la Universidad de Oviedo (UO) bajo la dirección de los Dres. Barluenga, Asensio y Campos. Estancia postdoctoral en la Universidad de California en Berkeley en el seno del grupo del Prof. Vollhardt (becario Fulbright-MEC, 1988-1990). Se reincorporó a la UO a finales de 1990. En 1993 se estabilizó como profesor titular. En 2007 se habilitó como catedrático: Desde junio de 2008 es catedrático de química orgánica en la UO.

En sus aportaciones contribuyó a ampliar el valor sintético de sales de yodonio y de compuestos de yodo hipervalente en

© 2025 Real Sociedad Española de Química

estrategias de formación de enlaces C-C y procesos de funcionalización C-H. Junto a aplicaciones específicas de dichas reacciones estequiométricas, algunas con incidencia en el entorno productivo y, partiendo de la misma orientación conceptual, documentó nuevas transformaciones catalíticas utilizando tanto complejos de oro(I) como elementos abundantes (catálisis con iones sililio). Sus aportaciones, que abordaron diferentes problemas abiertos, han destacado en mayor medida considerando su oportunidad temporal, la originalidad del planteamiento, la atención a los mecanismos implicados y/o su utilidad que por su número. Ha impartido con cierta regularidad conferencias en universidades, centros de investigación, congresos y simposios de prestigio, tanto nacionales como internacionales. Ha dirigido 17 tesis doctorales y supervisado 8 colaboradores postdoctorales. Se muestra profundamente agradecido a sus colaboradores por la impronta que imprimieron en sus contribuciones, su compromiso y el ambiente que generaron, dotando de personalidad a una línea de investigación que, de otra manera, habría sido menos diferencial y visible. Se siente también afortunado por la colaboración mantenida con la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (UIMP), asociada al impulso y liderazgo del Profesor José Barluenga y gozando del concurso habitual del Profesor Echavarren. Al producirse el cambio de siglo y ampliar la UIMP sus horizontes, la Química tuvo presencia destacable en aquel entorno privilegiado. Contando con la participación de científicos de primer nivel, nacionales e internacionales, se difundió conocimiento avanzado y se ofreció una cierta inmersión en exigentes estándares internacionales a una nueva generación de investigadores. Es gratificante observar las trayectorias de un buen número de aquellas entonces jóvenes personas en formación. Dirigió el Instituto Universitario de Química Organometálica "Enrique Moles" durante más de 8 años. Entre 2015 y enero de 2018 sirvió como secretario general de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ). Es miembro del *International Advisory Board del European Journal of Organic Chemistry* (desde 2017). En 2020 recibió la Medalla "Felix Serratosa", otorgada por el Grupo Especializado de Química Orgánica de la RSEQ. ORCID: 0000-0002-7869-9873.

Prof. José Manuel González Díaz.

José M. Pingarrón obtuvo su doctorado (1981) en la Universidad Complutense de Madrid. Entre 1982 y 1983 realizó una formación postdoctoral en la *École Nationale Supérieure de Chimie* de Paris. Desde 1994 es Catedrático de Química Analítica en la Universidad Complutense de Madrid (España) y en 1997 fue Profesor Visitante en la Universidad de Cornell, Estados Unidos.

El perfil de investigación del Prof. Pingarrón (Scopus Author ID: 7005489861, Google Scholar: Xf2VkgEAAAAJ), muestra una actividad científica, en líneas de investigación como Electroanálisis, sensores electroquímicos, nanomateriales, detección electroquímica, biosensores, bioanálisis y epigenética, que incluye, al día de la fecha, 536 publicaciones en revistas internacionales indexadas, 39 capítulos de libros, 3 libros de texto, 12 patentes de invención y 15 publicaciones de carácter divulgativo. Además, ha impartido más de 80 conferencias invitadas/plenarias en diversos congresos científicos. Ha liderado más de 30 proyectos de investigación competitivos (autonómicos, nacionales, internacionales y colaborativos con empresas) y ha liderado el Grupo de investigación "Electroanálisis y (Bio)Sensores Electroquímicos" de la Universidad Complutense de Madrid (Grupo de investigación GEBE-UCM, calificado como EXCELENTE por la Agencia Estatal de Investigación) desde su creación hasta 2020, fecha en que la incompatibilidad con el cargo de Secretario General de Universidades hizo que pasara la dirección del grupo a la Dra. Susana Campuzano Ruiz. Asimismo, ha dirigido o codirigido 33 tesis doctorales. Ha sido editor para Europa de la revista *Electroanalysis* (Wiley-VCH) hasta 2019, y miembro de los consejos asesores editoriales de varias revistas científicas internacionales.

Prof. José Manuel Pingarrón.

Está incluido en el "*Ranking of the World Scientists: World's Top 2% Scientist*", elaborado por la Universidad de Standford, tanto en la lista del último año (2023), como en la lista de toda la carrera. Ocupa la posición 538 (2023) y 757 (de toda la carrera) de los 122.576 que aparecen en la subespecialidad "Química Analítica", lo que significa estar por debajo del 1 % de los científicos más citados en esta especialidad.

Ha recibido varios premios y distinciones académicas como *Fellow de la International Society of Electrochemistry* (2017) y ocupado diversos cargos de gestión como: Presidente del Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación (2017-2018); Secretario Ejecutivo de la división de I+D+i de la CRUE (Conferencia de Rectores de Universidades Españolas) (2016-2018) y Secretario General de Universidades en los Ministerios de Ciencia, Innovación y Universidades, y de Universidades en el Gobierno de España (2018-2024). ORCID: 0000-0003-2271-1383.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Premios a la Excelencia Investigadora

Gonzalo Abellán Sáez es Profesor Titular de Química Inorgánica en la Universidad de Valencia y director del grupo "*Two-dimensional Chemistry Lab*" en el Instituto de Ciencia Molecular (ICMol), formado por más de 20 miembros. Su investigación se caracteriza por un marcado enfoque multidisciplinar centrándose en la química de materiales bidimensionales con un fuerte enfoque en aplicaciones relacionadas con la energía. Gonzalo se licenció en Químicas en la Universidad de Valencia y completó su tesis doctoral sobre hidróxidos dobles laminares en el ICMol bajo la dirección de los profesores Antonio Ribera y Eugenio Coronado en 2014, recibiendo el premio extraordinario de doctorado, entre otros reconocimientos. Ese mismo año se incorporó al grupo del profesor Andreas Hirsch (*Marie Curie Fellowship*, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Alemania), donde trabajó en la química orgánica y supramolecular del grafeno, así como de otros alótropos sintéticos del carbono. En 2017 comenzó su carrera científica independiente trabajando en materiales bidimensionales del grupo 15 de la tabla periódica (P, As, Sb y Bi), siendo distinguido con una *ERC Starting Grant* (2018). En 2018 se reincorporó a la Universidad de Valencia tras conseguir una Ramón y Cajal, un CIDEGENT, una *Junior Leader Incoming* La Caixa y una subvención de excelencia SEJI. Desde entonces ha obtenido más de 20 proyectos de investigación como IP, incluyendo 2 *ERC Proof of Concept* (2022 y 2024), un proyecto RIA como coordinador y numerosos proyectos con empresas privadas. Ha publicado más de 110 artículos, ha obtenido 8 patentes (la mayoría licenciadas, y dos en producción comercial). Gonzalo ha recibido, entre otros, el Premio RSEQ Sigma-Aldrich para Investigadores Noveles (2019), el Premio BASF-ICIQ en Innovación y Emprendimiento (2024) y el Premio Cinco Días a la Iniciativa Empresarial más Innovadora (2024).

Dr. Gonzalo Abellán Sáez.

Además de su trabajo científico, es cofundador y CTO de la empresa Matteco, *spin-off* de la Universidad de Valencia, que desarrolla novedosos catalizadores para la producción de hidrógeno verde. Ésta cuenta con una planta de 10.000 m^2 y una plantilla de más de 40 personas, incluyendo 10 doctores. Ha sido cofundador y presidente de ACCENT (Asociación de Científicas y Científicos de Excelencia del Plan GenT). ORCID: 0000-0003-1564-6210.

Jesús Campos se licenció en Química por la Universidad de Sevilla en 2007 y realizó sus estudios de máster en la Universidad de Mánchester (2008) trabajando con el Prof. John Sutherland. Se doctoró en Química Organometálica en el grupo del Prof. Ernesto Carmona, incluyendo una estancia en los laboratorios del Prof. Maurice Brookhart (North Carolina, EEUU) y la realización de un segundo Master en Cristalografía por la Universidad Internacional Menéndez Pelayo (2010). Ha trabajado como investigador postdoctoral en los grupos del Prof. Robert H. Crabtree (Yale, EE.UU.) en el área de catálisis sostenible y del Prof. Simon Aldridge (Oxford, UK) en química de grupos principales. Se reincorporó a la Universidad de Sevilla en 2016 como investigador Talentia y consiguió un proyecto Marie Curie IF en el mismo año.

Dr. Jesús Campos.

En 2018 obtuvo una plaza de Científico Titular del CSIC en el Instituto de Investigaciones Químicas de Sevilla, promocionando a Investigador Científico en 2022. Desde su incorporación al CSIC comenzó su carrera independiente, centrándose especialmente en el desarrollo de sistemas moleculares cooperativos para activación de enlace y catálisis bajo el paraguas de un proyecto *ERC Starting Grant* (2017). Desde ese momento, gran parte de sus investigaciones se han centrado en el diseño de modelos nuevos o poco usuales de cooperatividad química, con énfasis en sistemas bimetálicos, tanto de metales de transición, como de los grupos principales. Más recientemente, ha conseguido un *ERC Consolidator Grant* (2024) para extender este tipo de diseños cooperativos a la funcionalización de gases inertes.

Es autor de unas 100 publicaciones científicas, miembro de la Academia Joven de España y ha sido investigador visitante Fulbright en la Universidad de California Berkeley (2024). Su trayectoria investigadora ha sido distinguida con varios reconocimientos, incluyendo el Premio a Investigadores Jóvenes Lilly/RSEQ, el *Organometallics Distinguished Author Award*, o el Premio GEQO a la Excelencia Investigadora. ORCID: 0000-0002-5155-1262.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Óscar Millet (Barcelona, 1971) se incorporó a CIC bioGUNE en 2006 y actualmente es responsable del Laboratorio de Medicina de Precisión y Metabolismo. Previamente, completó su periodo de formación predoctoral y posdoctoral: Doctor en Ciencias Químicas por la Universitat de Barcelona (1999), con estancias predoctorales en las Universidades de Lausana (Suiza, 4 meses) y Columbia (EE. UU., 1 año); estancia posdoctoral con el Prof. Lewis Kay (Toronto, 2000-2004); y reincorporación como investigador Ramón y Cajal en el Parc Científic de Barcelona (2004-2006), puesto cuya ejecución finalizó en el CIC bioGUNE.

Tras su incorporación al centro, participó activamente en el diseño, creación y consolidación de la Plataforma de RMN del CIC bioGUNE, inaugurada en 2007 y que actualmente constituye un laboratorio de referencia en resonancia magnética nuclear biomolecular tanto a nivel nacional como internacional.

Dr. Óscar Millet.

Sus líneas de investigación se han centrado en la aplicación de la resonancia magnética nuclear al estudio de proteínas y metabolitos. La investigación en enfermedades raras ha derivado en la creación de una empresa *spin-off* (ATLAS Molecular Pharma S.L.) y ha permitido identificar un fármaco reposicionado (ciclopirox), activo frente a la porfiria eritropoyética congénita y potencialmente útil para otras formas de porfiria. Ciclopirox ha sido reconocido como medicamento huérfano por la Agencia Europea del Medicamento (enero de 2018) y la FDA (abril de 2018), y actualmente se encuentra en Fase II de ensayo clínico en Estados Unidos.

Otra línea de investigación desarrollada en su laboratorio es el análisis metabolómico de muestras para la detección precoz de biomarcadores en enfermedades raras (cribado neonatal) y el estudio del síndrome metabólico (cribado en población adulta). Estas líneas constituyen una parte importante de la investigación actual del grupo y han recibido financiación de agencias internacionales, incluyendo H2020 (4 proyectos) y NIH (2 proyectos R01).

El doctor Millet es coautor de más de 140 artículos científicos y ha dirigido 18 tesis doctorales. Actualmente es colaborador de la AEI en el área de Biomedicina. Ha sido galardonado con el premio de la Real Sociedad Española de Química (jóvenes investigadores, 2004), el premio del Grupo Especializado de RMN (GERMN, 2020) y el premio Elhuyar-Goldschmidt otorgado por la Sociedad Química Alemana (GDCh, 2022). ORCID: 0000-0001-8748-4105.

Mariola Tortosa obtuvo la licenciatura en Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en 1999, recibiendo el Premio Extraordinario. En este año se incorporó al grupo del Dr. Fernández de la Pradilla en el Instituto de Química Orgánica General (CSIC) en Madrid, dónde realizó su tesis doctoral trabajando en síntesis asimétrica. En 2004, recibió el premio Lilly para estudiantes de doctorado. En 2005 se trasladó a *The Scripps Research Institute* en Florida (EE.UU.), para trabajar en el grupo del Prof. William Roush. Su investigación en esta etapa estuvo dirigida al diseño de una ruta sintética para completar la síntesis total del antitumoral Superstolide A. En 2008 regresó al Instituto de Química Orgánica General (Madrid) con un contrato Juan de la Cierva, y en 2011 inició su investigación independiente en la Universidad Autónoma de Madrid con un contrato Ramón y Cajal.

La investigación realizada en su grupo se centra en el desarrollo de nuevas metodologías sintéticas para construir complejidad molecular de forma sostenible y con una tridimensionalidad definida. Entre las líneas de investigación abiertas destaca el desarrollo de nuevas estrategias no convencionales para introducir ésteres borónicos en moléculas orgánicas, la utilización de aminas como bloques de construcción para preparar moléculas más funcionalizadas, y la preparación de bioisósteros de anillos aromáticos. Su investigación ha sido financiada a través de distintos proyectos, entre los que destacan tres proyectos europeos (una *ERC Starting Grant*, una *ERC Consolidator Grant* y una *ERC Proof of Concept Grant*). Ha recibido diversos premios y distinciones como la Medalla Barluenga (2021), *Thieme Journal Award*, (2025), *Eli Lilly Young Researcher Award* (2014) y Premio Jóvenes Investigadores RSEQ (2014). Desde 2019 es editora asociada de la revista *Organic Letters* y es actualmente la representante española del Grupo Especializado de Química Orgánica de la Sociedad Europea de Química (EuChemS). ORCID: 0000-0002-5107-0549.

Dra. Mariola Tortosa.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Premios Joven Investigador – Modalidad "Líder de Grupo"

José J. Baldoví (Xàtiva, 1986) es Investigador Distinguido de Excelencia del Plan Gen-T de la Generalitat Valenciana, director del 2D Smart Materials Lab en el Instituto de Ciencia Molecular (ICMol) de la Universitat de València (UV) e investigador principal de un proyecto *ERC Starting Grant*. También es el presidente de la Asociación de Científicas y Científicos de Excelencia del Plan GenT (ACCENT), académico de número de la Academia Joven de España y personal docente e investigador del Departamento de Química Física de la UV y representante de España en el Comité de Gestión de la Acción COST SuperQumap.

Se licenció en Química por la UV en 2009, y posteriormente completó un máster y un doctorado en el grupo del profesor Eugenio Coronado en el ICMol de la UV, obteniendo el premio extraordinario en todas las etapas de su vida académica. Su tesis doctoral fue elegida mejor tesis en Química de su promoción. En 2017 se trasladó a la Universidad del País Vasco y, acto seguido, fue investigador postdoctoral Marie Sklodowska-Curie en el Instituto Max Planck para la Estructura y Dinámica de la Materia en Hamburgo (Alemania). En 2020 retornó a la Comunitat Valenciana gracias al Plan GenT de la Generalitat, y desde 2024 es investigador distinguido de excelencia.

Su investigación se centra en el desarrollo de marcos teóricos y computacionales para el diseño químico de dispositivos inteligentes moleculares y bidimensionales para tecnologías de la información. Este trabajo integra física, química y ciencia de materiales para explorar aplicaciones emergentes en campos como la magnónica, la espintrónica, la computación cuántica y los dispositivos de detección. En su grupo, supervisa en la actualidad a un postdoctorado Marie Sklodowska-Curie, dos investigadores postdoctorales, cinco tesis doctorales y dos

Dr. José J. Baldoví.

estudiantes de grado, de cinco nacionalidades diferentes. Ha publicado más de 80 artículos en revistas internacionales, un capítulo de libro y tres artículos de divulgación científica, además de haber impartido alrededor de 40 ponencias invitadas en congresos internacionales y 18 seminarios.

Entre otros reconocimientos, ha sido galardonado con el XVII Premio Científico-técnico «Ciudad de Algemesí» para jóvenes investigadores (2022), Premio "La Costera" otorgado por el Rotary Club Xàtiva (2023) y Premio 9 d'Octubre de Xàtiva (2024). Ha visitado 61 países y habla con fluidez seis idiomas. Además, posee un Máster en Comunicación Científica que le ha permitido transmitir el valor de la ciencia a la sociedad a través de la divulgación científica. ORCID: 0000-0002-2277-3974.

Irene Marco-Rius (Barcelona, 1987) dirige el grupo de Imagen Molecular para Medicina de Precisión en el Instituto de Bioingeniería de Cataluña (IBEC) y es actualmente receptora de una *ERC Starting Grant*. Su investigación se centra en el desarrollo de tecnologías avanzadas de imagen por resonancia magnética hiperpolarizada para el estudio no invasivo del metabolismo celular en tiempo real.

Dra. Irene Marco-Rius.

Licenciada en Física por la Universidad Autónoma de Barcelona (2009), realizó un máster en Física Médica y Óptica Biomédica en Heidelberg con una beca de la Caixa (2010) y obtuvo el doctorado en Bioquímica en la Universidad de Cambridge con una beca Marie Curie ITN (2014), bajo la dirección del Prof. Kevin Brindle. Completó estancias postdoctorales en la Universidad de California, San Francisco bajo la supervisión del Prof. Dan Vigneron y en Cambridge con el Dr. Arnaud Comment, especializándose en métodos de hiperpolarización y su aplicación en imagen metabólica.

En 2018 se incorporó al IBEC con una beca "la Caixa" *Junior Leader*, iniciando su línea de investigación independiente. Desde 2021, Irene dirige su propio grupo de investigación con un enfoque interdisciplinar que integra física, química y bioingeniería.

En 2021 cofundó la empresa Vitala Technologies, una *spin-off* de IBEC orientada a la transferencia de tecnología en imagen por resonancia magnética hiperpolarizada. Compagina su actividad científica con la formación de jóvenes investigadores y la divulgación de tecnologías de imagen biomédica.

En 2025 ha sido galardonada con el Premio Anatole Abragam de la Sociedad Internacional de Resonancia Magnética por su trabajo pionero en el desarrollo de métodos de resonancia magnética para el estudio de modelos de órgano-en-chip. ORCID: 0000-0001-5076-8526.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Nishant Singh (1989, Varanasi) es *GenT Distinguished Researcher* y líder del grupo *Dynamic Materials and Self-assembling Systems* (DyMSaS) en el Instituto de Materiales Avanzados (INAM) de la *Universitat Jaume I* (Castellón, España). Su grupo trabaja en sistemas de autoensamblaje fuera del equilibrio impulsados por ciclos de reacción, músculos artificiales activados por luz y gotículas líquidas coacervadas como plantillas para la formación de estructuras jerárquicas y complejas, incluyendo células sintéticas y procesos de nucleación no-clásica.

Realizó sus estudios de grado y master en *IISER Pune* (India), donde recibió el premio a la excelencia académica. Obtuvo su doctorado en la *Universitat Jaume I* como investigador Marie Skłodowska-Curie bajo la dirección de Beatriu Escuder. Su tesis fue reconocida con el Premio Extraordinario de Doctorado. Nishant también tiene experiencia en el desarrollo de polímeros bioderivados para aplicaciones antifúngicas, anticancerígenas y antibióticas, adquirida durante su estancia postdoctoral en la Universidad de Nottingham (Reino Unido) con Cameron Alexander. Posteriormente, fue Marie Skłodowska-Curie investigador individual en el *Institut de Science et d'Ingénierie Supramoléculaires* (ISIS), en Estrasburgo (Francia), donde se especializó en autoensamblaje no-equilibrado con Thomas Hermans. Recientemente, ha sido nominado como *Emerging Researcher* por la revista *ChemSystemsChem* y ha sido entrevistado por *Angewandte Chemie* por sus contribuciones científicas. ORCID: 0000-0003-2218-566X.

Dr. Nishant Singh.

Manuel Souto Salom (Valencia) es Profesor de Investigación Oportunius e Investigador Principal en el Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS) de la Universidade de Santiago de Compostela. También es profesor visitante en la Universidad de Aveiro. Obtuvo una doble licenciatura en Química e Ingeniería Química por la Universitat de València y la ECPM de Estrasburgo, respectivamente, y un Máster en Química Molecular y Supramolecular (2011) en la Universidad de Estrasburgo.

Dr. Manuel Souto Salom.

Se doctoró en Ciencia de Materiales en el Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC) en 2016, financiado con una beca FPU bajo la supervisión del Prof. Jaume Veciana. Durante su tesis realizó dos estancias de investigación en la *National University of Singapore* y en la Universidad de Amberes. Posteriormente, obtuvo un contrato Juan de la Cierva para trabajar como investigador postdoctoral en el Instituto de Ciencia Molecular (ICMol-UV).

En 2019 comenzó su carrera investigadora independiente como *Assistant Professor* en el Departamento de Química de la Universidad de Aveiro y CICECO – *Aveiro Institute of Materials*. En 2022 fue ascendido a Investigador Principal (Investigador Permanente) en la misma institución. Sus intereses de investigación abarcan la electrónica molecular, los polímeros electroactivos y las baterías orgánicas. Su interés actual es el diseño y la síntesis de nuevos materiales electroactivos funcionales (COF y MOF) basados en bloques de construcción orgánicos redox-activos para aplicaciones en almacenamiento de energía. En 2021 obtuvo un proyecto *ERC Starting Grant* (ELECTROCOFS), cuyo objetivo es diseñar una nueva generación de electrodos orgánicos porosos basados en elementos abundantes para diferentes tipos de baterías recargables. Ha recibido, entre otras distinciones, el premio de doctorado NanoMatMol (GENAM), el Premio Extraordinario de Doctorado, el Premio Europeo de Tesis Doctoral sobre Magnetismo Molecular y es miembro de la Academia Joven de Europa. ORCID: 0000-0003-3491-6984.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Premios Joven Investigador – Modalidad "Investigador Postdoctoral"

Javier Corpas (Madrid, 1994) se graduó en Química por la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) en 2016, recibiendo el Premio Extraordinario y el Premio al Recién Graduado, otorgado por el Colegio de Químicos de Madrid. Posteriormente, realizó el máster en Química Orgánica por la UAM con Premio Extraordinario, trabajando en el grupo del Prof. Juan C. Carretero. Javier realizó su tesis doctoral (2017-2022) disfrutando de un contrato FPU bajo la supervisión del Prof. Ramón G. Arrayás y el Prof. Pablo Mauleón (UAM), durante la cual también realizó una estancia predoctoral en 2019 en el grupo del Prof. Paul J. Chirik (Universidad de Princeton, EE.UU.). Su tesis (*cum laude* y mención internacional) se centró en el desarrollo de métodos para la combinación de catálisis organometálica y fotocatálisis y fue reconocida con varios premios, entre ellos el XX Premio Lilly/RSEQ, Premio Extraordinario de Doctorado en Química Orgánica (UAM, 2023), el Premio "Mª Cruz Moreno Bondi" a la Mejor Tesis Doctoral en Química en la Comunidad de Madrid (RSEQ-STM, 2023), el Premio a la Mejor Tesis Doctoral del Grupo Especializado de Jóvenes Químicos de la RSEQ, el Premio de Investigación Margarita Salas 2023 en la categoría de Ciencias Básicas, concedido por el Ayuntamiento de Madrid (accésit), y el Premio BASF/ICIQ a la Mejor Tesis Doctoral en Innovación y Emprendimiento (2024).

Tras finalizar su tesis doctoral, Javier se incorporó al grupo del Prof. Daniele Leonori en la Universidad RWTH Aachen (Alemania) entre 2022 y 2025 como investigador postdoctoral Marie Curie (MSCA-IF). Durante este período, Javier se centró en explorar diversos campos en lugar de realizar avances incrementales en un único ámbito de investigación, trabajando en aplicaciones sintéticas de radicales borilo, fotobasicidad de compuestos aromáticos y fotocatálisis. Desde febrero de 2025, Javier trabaja como investigador postdoctoral senior en el grupo de la Prof. Mariola Tortosa (UAM) trabajando en la activación fotocatalítica de enlaces C-N. ORCID: 0000-0002-8598-578X.

Dr. Javier Corpas.

Giulia Lavarda se graduó en Química por la *Università degli Studi di Padova* (Italia), donde también obtuvo su máster en 2014, tras realizar una estancia Erasmus de investigación en el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica del CSIC. Posteriormente, se incorporó al grupo del Prof. Tomás Torres en la Universidad Autónoma de Madrid, donde obtuvo su doctorado en química orgánica en 2021. Durante su tesis, financiada por un contrato FPU, Giulia desarrolló arquitecturas moleculares basadas en subftalocianinas para aplicaciones en conversión de energía solar. Durante esta etapa, realizó estancias de investigación en los grupos del Prof. A. Osuka (*Kyoto University*) y del Prof. D. M. Guldi (*Friedrich-Alexander-University Erlangen-Nürnberg*). Su tesis doctoral fue reconocida con varios premios, entre ellos el Premio Extraordinario de Doctorado (UAM), el Premio a la Mejor Tesis Doctoral de la Sección Territorial de Madrid de la RSEQ, primer accésit en los Premios a las Mejores Tesis Doctorales del Grupo Especializado de Nanociencia y Materiales Moleculares de la RSEQ y el tercer Premio de Investigación Margarita Salas en la categoría de Ciencias Básicas.

Dra. Giulia Lavarda.

Tras su doctorado, obtuvo un contrato Marie Skłodowska-Curie IF para incorporarse como investigadora postdoctoral en el grupo del Prof. E. W. (Bert) Meijer en la *Eindhoven University of Technology* (Países Bajos), donde desarrolló nuevos materiales supramoleculares fotoactivos. Durante esta etapa, realizó dos estancias de investigación en el grupo del Prof. Richard Friend en la Universidad de Cambridge. Su trayectoria postdoctoral ha sido reconocida con un accésit del *Women Interactive Materials Award* otorgado por el *DWI Leibniz-Institute for Interactive Materials*.

Ha publicado 24 artículos científicos en revistas de alto impacto (incluyendo *JACS* y *Angew. Chem.*), dos de ellos como autora de correspondencia. Desde febrero de 2025, la Dra. Lavarda es *Group Leader* en el *Max Planck Institute for Polymer Research* (Departamento de Electrónica Molecular), donde lidera el grupo de Sistemas Supramoleculares Quirales. ORCID: 0000-0003-2171-008X.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Javier Mateos (1994) nació en Vilafranca del Penedès, en el corazón de la comarca vinícola del Penedès, en Cataluña. Se graduó en Química por la Universidad de Barcelona, donde también cursó el Máster en Química Orgánica, especializándose en este campo.

Dr. Javier Mateos.

En 2017 se trasladó a Italia para realizar su tesis doctoral en la Universidad de Padua, bajo la supervisión del Prof. Luca Dell'Amico. Su investigación se centró en el estudio mecanístico de reacciones fotoquímicas y en el desarrollo de nuevos fotocatalizadores orgánicos con propiedades redox equilibradas. Obtuvo el título de doctor a principios de 2022.

Ese mismo año, se incorporó como investigador postdoctoral en el *Max-Planck-Institut für Kohlenforschung* (Mülheim an der Ruhr, Alemania), en el grupo del Prof. Tobias Ritter. Durante esta etapa, trabajó en el aprovechamiento de nitratos para abordar desafíos sintéticos, con especial atención a estrategias de reducción aplicadas a la química de arildiazonios.

Desde octubre de 2024, el Dr. Mateos es profesor asistente en etapa de *tenure-track* en el Instituto de Química Orgánica de la Universidad de Viena, donde lidera un grupo de investigación independiente centrado en el estudio de nuevas transformaciones orgánicas impulsadas por elementos del bloque p, así como en el desarrollo de metodologías fotoquímicas con aplicaciones en síntesis y catálisis homogénea.

Hasta la fecha, el Dr. Mateos es coautor de 17 artículos publicados en revistas de alto impacto, entre ellas *Science, Nature Synthesis, Journal of the American Chemical Society* y *Angewandte Chemie*, entre otras. Orcid: 0000-0002-2358-9183.

Thomas Rigotti (Trento, 1991) se graduó en Química Industrial por la Universidad de Bolonia (Italia) en 2013, completando un Máster en Química Industrial en la misma universidad en 2015. En noviembre de 2015 se trasladó a España para empezar sus estudios predoctorales en el Departamento de Química Orgánica de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM) bajo la supervisión del Prof. José Alemán. En esta etapa, Thomas desarrolló nuevas reacciones fotocatalíticas y nuevos fotocatalizadores, obteniendo su doctorado (*cum laude*) en abril de 2020 y recibiendo el Premio Extraordinario de la UAM a la mejor tesis doctoral del Departamento de Química Orgánica. Sucesivamente, Thomas realizó una estancia postdoctoral en el grupo del Prof. Thorsten Bach en la Universidad Técnica de Múnich (Alemania), financiado por una beca postdoctoral de la Fundación de la Universidad Técnica de Múnich (TUFF). En este periodo pudo adquirir nuevas competencias en el ámbito de la fotocatálisis enantioselectiva, trabajando con uno de los pioneros de este campo y pudiendo desarrollar sus propios proyectos de investigación. En noviembre de 2022, Thomas retornó a la Universidad Autónoma de Madrid, uniéndose al grupo de la Prof. Mariola Tortosa, financiado desde 2024 por una beca postdoctoral del programa Marie Skłodowska-Curie (MSCA-PF) bajo el programa *Horizon Europe* de la Comisión Europea. Desde entonces, Thomas está liderando y codirigiendo varios proyectos en el laboratorio de la Prof. Tortosa para el desarrollo de nuevas estrategias enantioselectivas finalizadas a la preparación de bioisósteros de anillos aromáticos. Estas moléculas enantioenriquecidas se han empleado para la construcción de análogos saturados de fármacos con mejores propiedades. ORCID: 0000-0001-9189-0018.

Dr. Thomas Rigotti.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Premio a la Tarea Educativa

Nuria Muñoz Molina es Licenciada en Ciencias Químicas por la Universidad de Granada, con especialidad en Química Industrial. Su compromiso con la educación científica se ha materializado durante más de dos décadas como profesora de Física y Química en el Colegio La Inmaculada de Algeciras, donde actualmente ejerce como directora pedagógica tras haber sido jefa de estudios de Secundaria y Bachillerato.

Más allá del aula, la profesora Muñoz Molina ha desarrollado una intensa y reconocida labor en la divulgación científica. Es socia fundadora de la Asociación Amigos de la Ciencia Diverciencia, que organiza la Feria Internacional de Ciencia en la Calle de Algeciras desde 2006. Ha formado parte de su junta directiva desde su constitución en 2011, siendo vicepresidenta desde 2014 a 2022, momento en el que asume la presidencia durante un año. En la actualidad, es vocal de la junta directiva y coordina las becas de investigación para alumnado de bachillerato organizadas junto a la Fundación Campus Tecnológico de Algeciras, fomentando la vocación científica entre los jóvenes.

Desde 2021 es embajadora en España de *Science on Stage*, la mayor plataforma europea de profesorado STEM, y miembro de la Real Sociedad Española de Química, integrándose en el Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, del que es vocal de su junta de gobierno desde 2022. Además, participa en el comité científico del certamen Ciencia en Acción para *Science on Stage*.

Su trayectoria incluye la autoría y colaboración en diversas publicaciones especializadas como Alambique, Faraday, Almoraima y Bezmiliana, así la participación en un grupo de trabajo internacional para la elaboración de materiales didácticos como *Food, Cooking & STEM*, publicados por *Science on Stage*. Ha participado como ponente en numerosos congresos nacionales e internacionales y ha sido galardonada en certámenes de gran prestigio como Ciencia en Acción, Diverciencia, *Open Science Cambre* y *Jóvenes Investigadores Ciudad de Algeciras*, entre otros.

Entre sus reconocimientos destacan la Medalla de Honor y Diploma de *Ciencia en Acción* (2016), el Segundo Premio a la Innovación Educativa en Física y Química en tiempos de pandemia (2021) y el Primer Premio a la "Experiencia más valorada" en el I Encuentro PRACTICA de la Confederación de Sociedades Científicas de España (2022).

Nuria Muñoz Molina.

Chemistry Europe
European Chemical Societies Publishing

WILEY VCH

The Journal for Excellence in Chemistry, Open to All

Why publish with *ChemistryEurope*?

- Fully open access for global reach and impact
- No article publication charges until June 2026
- Highest publishing standards backed by a team of academic Editors-in-Chief and expert in-house editors
- Rapid dissemination of your research through fast editorial decisions and efficient article processing

The flagship journal of the Chemistry Europe publishing association

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Premio Madinaveitia-Lourenço

Luís Carlos (Coimbra, 1964) se doctoró en Física por la Universidad de Évora (Portugal) en 1995, donde estudió los electrolitos poliméricos fotoluminiscentes que incorporan sales de lantánidos trivalentes. Es catedrático del Departamento de Física de la Universidad de Aveiro y ha sido profesor visitante en Brasil, Francia, Polonia y China. Fue vicedirector (2009-2019) de CICECO - Instituto de Materiales de Aveiro y es miembro de las Academias de Ciencias de Lisboa y Brasil. Ha sido distinguido con el Premio a la Excelencia FCT (2004), una Cátedra Visitante Nanjing Tech (2016) y el Premio ICOM 2022.

En 2000, fundó el grupo de investigación Phantom-g en Aveiro, centrado en híbridos fotónicos y nanomateriales. Su trabajo se centra en materiales ópticos basados en iones Ln^{3+}, incluidos complejos de coordinación, silicatos microporosos, MOFs, nanopartículas y vidrios, con aplicaciones en iluminación, óptica integrada, concentradores solares y detección. Ha contribuido al desarrollo de imanes luminiscentes de un solo ion, ferroeléctricos moleculares y materiales memristivos, así como a conceptos teóricos como la polarizabilidad por solapamiento de enlaces y las transiciones dipolares magnéticas ópticas. Pionero en nanotermometría de luminiscencia, ha explorado el mapeo de la temperatura intracelular, los flujos de calor a nanoescala, el movimiento balístico de nanocristales y el comportamiento anómalo del agua.

Es autor de 593 artículos científicos (31.200 citas), seis patentes y ha impartido más de 200 conferencias invitadas (47 plenarias) en congresos internacionales. Fue incluido en el top 2 % de los científicos más influyentes en las listas Stanford/Elsevier 2020-2024. Ha coordinado varios proyectos de investigación nacionales y de la UE, incluidas las iniciativas Marie Skłodowska-Curie y FET-OPEN, y es editor de múltiples revistas internacionales.

Como mentor, ha supervisado a 34 posdoctorados (incluidos dos becarios Marie Curie), 31 estudiantes de doctorado y 17 estudiantes de máster. Alrededor del 30 % de sus antiguos alumnos ocupan ahora puestos académicos; tres de ellos han obtenido becas de consolidación del ERC. ORCID: 0000-0003-4747-6535.

Prof. Luís Carlos.

Premios RSEQ-Lilly 2025

Un año más, la excelencia investigadora en el ámbito de la química ha sido reconocida con los galardones que otorgan la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y Lilly. Esta edición, correspondiente a los XXIII Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado, ha premiado tesis doctorales relevantes en las áreas de Química Orgánica, Farmacéutica y Analítica. También, se ha resuelto la concesión del *Premio Early Career Researcher*, que distingue al mejor proyecto desarrollado por un investigador menor de 40 años. En esta ocasión, la galardonada ha sido Isabel Abánades Lázaro, investigadora del grupo *Defect Engineering of Responsive Advanced Materials* (DREAM) del Instituto de Ciencia Molecular de la Universidad de Valencia.

De izq. a dcha. y de arriba a abajo: Isabel Abánades, Julio Puigcerver, María Martín y Helena Fernández.

El trabajo de Abánades se centra en el desarrollo de materiales porosos avanzados, en particular redes metal-orgánicas (MOFs, por sus siglas en inglés), con aplicaciones en liberación controlada de fármacos anticancerosos, purificación y tratamiento de aguas, la catálisis y la separación de gases. La joven investigadora comenta que *"durante mi doctorado desarrollé técnicas pioneras de modificación superficial de MOFs para mejorar su eficacia en aplicaciones farmacológicas, estableciendo protocolos pioneros para una liberación más eficiente y dirigida de fármacos anticancerígenos"*.

Por su parte, los alumnos de Doctorado premiados han sido Helena Fernández, de la Universidad de Oviedo; Julio Puigcerver, de la Universidad de Murcia y María Martín, de la Universidad Autónoma de Madrid.

La tesis de Helena Fernández está centrada en el desarrollo de nuevas metodologías sintéticas basadas en la fotoactivación de complejos EDA (donador-aceptor de electrones), un área de gran interés en la química actual. Fernández destaca que "hemos sido *los primeros en aplicar esta estrategia para la generación de radicales*

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

alquenilo, algo desconocido hasta el momento y ha abierto una línea de investigación para llevar a cabo reacciones más rápidas y sencillas de llevar a cabo, ya que no requieren del uso de fotocatalizadores ni metales de transición".

Por su parte, el trabajo doctoral de Julio Puigcerver está orientado al diseño y síntesis de rotaxanos, un tipo de moléculas enlazadas mecánicamente formadas por un componente lineal enhebrado a través de un componente macrocíclico. "*Esta arquitectura singular confiere a los rotaxanos propiedades únicas que los hacen especialmente atractivos para aplicaciones como el desarrollo de máquinas moleculares" menciona. También, el autor de la investigación puntualiza que "este reconocimiento representa un impulso adicional para afrontar con entusiasmo los desafíos de la carrera investigadora, y un estímulo para seguir entregando lo mejor de mí en mi futuro laboral*".

Por último, la tesis premiada de María Martín se enfoca en el desarrollo de nuevas herramientas sintéticas que permitan la ruptura selectiva de un tipo de enlace muy resistente (carbono-nitrógeno) presente en muchas moléculas orgánicas, como fármacos o productos naturales. "*Para ello, utilizamos la luz a través de una técnica llamada fotocatálisis una aproximación emergente y altamente empleada en los últimos años, que permite el acceso a nuevas reactividades. Este avance abre la puerta a transformar moléculas comunes en nuevas estructuras útiles de forma más eficiente y sostenible*" explica Martín.

Apoyo a la excelencia científica joven: Una apuesta para el futuro

Desde hace más de 20 años, la Real Sociedad Española de Química y Lilly promueven el reconocimiento al talento investigador en las etapas iniciales de la carrera científica. En este marco están los Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado, que distinguen el trabajo de estudiantes en los ámbitos de Química Orgánica, Farmacéutica o Analítica y que forman parte de la RSEQ. Cada uno de los premiados recibe una dotación económica de 2.000 euros como apoyo a su actividad investigadora.

Por otro lado, el *Premio Early Career Researcher*, valorado en 4.000 euros, pone en valor la trayectoria de jóvenes investigadores por la calidad y el impacto de sus publicaciones, patentes, presentaciones científicas y participación en proyectos de investigación.

Antonio Echavarren, presidente de la Real Sociedad Española de Química afirma que "*la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) tiene entre sus principales objetivos el apoyar a los jóvenes químicos en los comienzos de sus carreras investigadoras en España. La colaboración continuada entre Lilly y la RSEQ contribuye de forma decisiva a esta tarea, premiando cada año a los investigadores más brillantes, dando visibilidad a sus proyectos, así como a sus supervisores y centros de trabajo*".

Por su parte, María José Lallena, directora del Centro de I+D de Lilly España, destaca que "*participar en estos reconocimientos a jóvenes investigadores es una oportunidad inspiradora que refleja nuestro compromiso con el impulso del talento científico. En Lilly, promovemos la colaboración con instituciones capaces de fortalecer el ecosistema de innovación y, alineados con nuestro propósito, contribuir a mejorar el cuidado y la vida de los pacientes*".

Entrega del Premio Hispano-Portugués 'Madinaveitia-Lourenço' 2023 al Prof. Artur Silva

El pasado martes 11 de abril tuvo lugar en el Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas (CSIC, Madrid) la ceremonia de entrega del Premio Hispano-Portugués 'Madinaveitia-Lourenço' 2023, concedido por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), al Prof. Artur Silva, de la *Universidade de Aveiro* (Portugal).

Durante el acto, el Prof. Silva pronunció la conferencia titulada «*Biologically Active Xanthone and Chromone-type Compounds and their Aza-analogues*». La entrega del galardón fue realizada por Sonsoles Martín Santamaría, Secretaria General de la RSEQ, y Javier Cañada Vicinay, exPresidente del Grupo Especializado de Hidratos de Carbono (GEHiC).

Con motivo de este reconocimiento, el Prof. Silva visitó también el Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea (ISQCH, CSIC-Universidad de Zaragoza), donde mantuvo reuniones científicas con varios investigadores del centro.

El Premio 'Madinaveitia-Lourenço', instituido conjuntamente por la Sociedad Portuguesa de Química (SPQ) y la RSEQ, reconoce la excelencia investigadora con proyección internacional desarrollada en Portugal y España. Se concede alternativamente en cada país: en España en los años impares, y en Portugal en los años pares.

Prof. Artur Silva.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Entrega del Premio Hispano-Italiano 'González-Ciamician' 2024 al Prof. Antonio Molinaro

El pasado martes 13 de mayo se celebró en el Centro de Investigaciones Biológicas Margarita Salas (CSIC, Madrid) la ceremonia de entrega del Premio Hispano-Italiano 'González-Ciamician' 2024, otorgado por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), al Prof. Antonio Molinaro, de la *Università degli Studi di Napoli Federico II* (Italia).

Con ocasión del acto, el Prof. Molinaro impartió la conferencia titulada «*The power of sugars*». La entrega del premio fue realizada por Sonsoles Martín Santamaría, Secretaria General de la RSEQ, y Javier Cañada Vicinay, exPresidente del Grupo Especializado de Hidratos de Carbono (GEHiC).

Además de su intervención en Madrid, el Prof. Molinaro participó en un tour científico por varios centros de investigación en España. La visita incluyó el Instituto Químico de Sarrià (Barcelona), el Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ-CSIC, Sevilla), el CIC biomaGUNE (San Sebastián) y el CIC bioGUNE (Bilbao). Esta actividad fue coordinada por el GEHiC y contó con el patrocinio de los Grupos Especializados de Química Biológica y de Resonancia Magnética Nuclear.

El Premio 'González-Ciamician', instituido conjuntamente por la Sociedad Química Italiana (SCI) y la RSEQ, tiene como finalidad reconocer la excelencia en investigación científica con proyección internacional realizada en Italia y España. Se concede de forma alterna en cada país: en España en los años pares y en Italia en los impares.

Entrega del premio al Prof. Molinaro por parte de Javier Cañada Vicinay (izq.) y Sonsoles Martín Santamaría (dcha.).

El Prof. Hermenegildo García, galardonado con el Premio Luso-Español de Química 2024

La Sociedad Portuguesa de Química ha concedido el Premio Luso-Español de Química 2024 al Prof. Hermenegildo García, catedrático de la Universitat Politècnica de València y líder de grupo en el Instituto de Tecnología Química (ITQ, UPV-CSIC), en reconocimiento a su destacada trayectoria científica y al impacto de su investigación en la comunidad química de España y Portugal.

El galardón reconoce la excelencia en investigación, innovación y promoción de la colaboración científica entre ambos países. El Prof. García es licenciado en Ciencias Químicas por la Universitat de València y doctor en Química Orgánica por la Universitat Politècnica de València. Tras estancias postdoctorales en las universidades de Reading (Reino Unido) y Ottawa (Canadá), se incorporó en 1991 al ITQ, donde ha desarrollado una intensa actividad investigadora en los campos de la fotoquímica y la catálisis heterogénea, utilizando materiales como organosílices mesoporosos, nanotubos de carbono, nanopartículas de diamante y MOFs.

Prof. Hermenegildo García.

A lo largo de su carrera ha publicado más de 450 artículos científicos y dirigido 31 tesis doctorales. En la actualidad, su investigación se centra en la producción fotocatalítica de hidrógeno y en tecnologías para la depuración de aguas.

El Premio Luso-Español de Química fue instituido en 2010 por la SPQ y la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) con el objetivo de fomentar la colaboración entre ambas sociedades. Se concede anualmente, y de forma alterna, a químicos portugueses y españoles con reconocida proyección internacional. En su primera edición, fue otorgado al Prof. José Cavaleiro (*Universidade de Aveiro*).

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

NOTICIAS GRUPOS ESPECIALIZADOS

Concesión de las Medallas del Grupo Especializado de Química Orgánica (GEQOR) 2025

El Grupo Especializado de Química Orgánica (GEQOR) ha concedido sus medallas anuales en reconocimiento a trayectorias científicas sobresalientes en el ámbito de la química orgánica. La Comisión de Premios, cuya propuesta fue ratificada por la Junta de Gobierno del GEQOR el pasado 30 de mayo de 2025, ha otorgado las distinciones a los siguientes investigadores:

Medalla Fèlix Serratosa: Prof. Carlos Valdés Gómez (Universidad de Oviedo).

Medalla Ignacio Ribas: Prof. José Alemán Lara (Universidad Autónoma de Madrid).

Medalla José Barluenga: Dr. Martín Fañanás Mastral (Universidad de Santiago de Compostela).

El **Prof. Carlos Valdés Gómez**, catedrático en la Universidad de Oviedo, se doctoró en 1992 bajo la dirección de los profesores J. Barluenga y F. Aznar, y realizó una estancia postdoctoral en el MIT (EE. UU.) en el grupo del Prof. J. Rebek Jr. A lo largo de su carrera ha publicado más de 90 artículos científicos y es coautor de tres patentes. Su investigación se ha centrado en el diseño de nuevas metodologías sintéticas basadas en diazocompuestos no estabilizados y en N-sulfonilhidrazonas, con un enfoque especial en procesos catalizados por metales de transición y en estrategias libres de metales. Sus contribuciones han permitido el desarrollo de reacciones en cascada y multicomponente con un fuerte impacto en la generación de complejidad molecular. Las metodologías desarrolladas en su grupo, como los acoplamientos cruzados y reductores, se han incorporado de forma rutinaria en entornos tanto académicos como industriales.

Prof. Carlos Valdés Gómez.

Prof. José Alemán Lara.

El **Prof. José Alemán Lara**, catedrático en la Universidad Autónoma de Madrid y director científico del Instituto de Investigación Avanzada en Ciencias Químicas (IAdChem), obtuvo su doctorado en 2005 en la misma universidad. Tras una estancia postdoctoral en el grupo del Prof. K. A. Jørgensen (Aarhus, Dinamarca), inició una trayectoria investigadora independiente que le ha llevado a publicar más de 200 trabajos científicos. Es beneficiario de una *ERC Consolidator Grant* (2015) y una *ERC Proof of Concept* (2019), y ha sido galardonado con diversos premios, como el de Jóvenes Investigadores de la RSEQ (2013), el Premio Lilly (2015) y la Medalla José Barluenga (2022). Su investigación se centra en el desarrollo de procesos sintéticos innovadores en foto- y organocatálisis, incluyendo catálisis homogénea y heterogénea, y en la aplicación de estas metodologías a procesos en flujo.

El **Dr. Martín Fañanás Mastral**, profesor titular en la Universidad de Santiago de Compostela e investigador del CIQUS, se doctoró en 2007 en la Universidad de Oviedo y fue investigador postdoctoral en el grupo del Prof. Ben Feringa (Universidad de Groningen). En 2014 se incorporó al CIQUS como investigador Ramón y Cajal, y desde 2021 es profesor titular en la USC. Ha recibido, entre otros, los premios Thieme Chemistry Journal Award (2015), RSEQ Jóvenes Investigadores (2016), y Lilly (2018), así como una *ERC Consolidator Grant* (2019). Su actividad científica se centra en el diseño de transformaciones catalíticas sostenibles de alta eficiencia atómica, orientadas a la formación enantioselectiva de enlaces C–C, la activación de alcanos y la síntesis de compuestos organofosforados con aplicaciones biológicas.

Dr. Martín Fañanás Mastral.

La Comisión de Premios ha estado formada por la Dra. Rosario Fernández Fernández (presidenta del GEQOR), el Dr. Juan R. Granja Guillán, la Dra. Belén Martín Matute, el Dr. Francisco Corzana López y el Dr. Rubén Martín Romo.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Resolución del Premio «Salvador Senent» 2025

El pasado 23 de abril de 2025, el jurado del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (GEDH) resolvió otorgar el Premio «Salvador Senent» al Dr. Juan José Serrano Pérez, en reconocimiento a su artículo "A todo color: los tintes a través de la historia", publicado en esta revista. El trabajo premiado destaca por su rigor y capacidad divulgativa, abordando el fenómeno del color y la evolución histórica del uso de tintes y pigmentos, así como la química asociada a su obtención y aplicación.

Dr. Juan José Serrano Pérez.
Fuente: J.J. Serrano.

El galardón, convocado con carácter bienal por el GEDH, común a las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ), celebra en esta ocasión su décima edición. Su objetivo es promover la investigación y la divulgación en historia y didáctica de la física y la química, así como incentivar la publicación de trabajos en Revista Española de Física y Anales de Química de la RSEQ. El premio está dotado con 1.000 euros y un diploma acreditativo, y rinde homenaje al Prof. Dr. Salvador Senent, catedrático de Química Física, fundador y primer presidente del GEDH en 1986.

El Dr. Serrano, licenciado y doctor en Química por la Universitat de València, ha desarrollado su trayectoria investigadora en centros de prestigio como la Universitat de Barcelona, el Imperial College de Londres y la Universitat de València. Su actividad científica se ha centrado en el estudio teórico de mecanismos fotoquímicos y propiedades optoelectrónicas de materiales orgánicos. En los últimos años ha orientado su carrera hacia la docencia en secundaria y la divulgación científica, combinando su experiencia investigadora con iniciativas didácticas innovadoras.

La XI edición del Premio «Salvador Senent» será convocada en los próximos meses, consolidando este reconocimiento como un referente en el ámbito de la historia y didáctica de las ciencias.

Gabriel Pinto Cañón

Grupo Especializado en Didáctica e Historia de la Física y la Química, de las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ).

Premios a la labor educativa: «Física y química para el conocimiento de la ciencia y la tecnología cuántica»

El 21 de mayo de 2025, el jurado que valoró las candidaturas presentadas a los "Premios a la labor educativa: física y química para el conocimiento de la ciencia y la tecnología cuántica" aprobó, por unanimidad, la concesión de los siguientes premios (se recogen entre comillas los títulos de las actividades educativas llevadas a cabo):

- **Primer premio**: Mario Carrasco Delgado, "Un recorrido por la cuántica", IES San Fulgencio (Écija, Sevilla).
- **Segundo premio**: Ana María del Hoyo Martín, "Ilumínate con química", IES Francisco Umbral (Ciempozuelos, Madrid).
- **Menciones de honor**:
  - Carlos Moreno Borrallo, "El fascinante mundo de la física cuántica", Agora Andorra International School (La Massana, Andorra).
  - Salvador Samuel Molina Burgos, "¿Qué nos cuentan las partículas que no podemos ver?", IES Mariana Pineda (Granada).
  - Rosana Sanchís Rubio, "Conociendo la Ciencia y la Tecnología Cuántica", Colegio San Francisco y Santo Domingo (Vilamarxant, Valencia).

La convocatoria es una iniciativa del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (GEDH), común a las Reales Sociedades Españolas de Química (RSEQ) y de Física (RSEF). Con ella, se ha pretendido destacar la tarea ejemplar del profesorado de Física y Química de enseñanzas no universitarias, en el desarrollo de experiencias educativas que promueven la importancia de estos dos ámbitos del saber para la ciencia y la tecnología cuántica. Para ello, se ha valorado el tratamiento didáctico de aspectos adecuados a dichas etapas educativas, tales como los principios básicos de sus fundamentos teóricos, sus aplicaciones en la vida cotidiana, su desarrollo histórico a partir de los modelos atómicos precuánticos o las biografías de científicas y científicos que contribuyeron a su avance, entre otros muchos ejemplos.

AÑO INTERNACIONAL DE LA
Ciencia y Tecnología Cuántica

Logotipo del Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuántica.

Ha participado profesorado de Física y Química de ESO y Bachillerato, y de Formación Profesional de ramas fisicoquímicas, de toda la geografía española.

La convocatoria de los premios respondió, entre otros motivos, al interés del GEDH por involucrarse en las celebraciones del Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuántica, cuyo logotipo se recoge en la Figura: "Cuanto a cuanto, se hace camino".

El acto de entrega de premios se realizará en Madrid, en fecha a concretar. Desde aquí se felicita efusivamente a los premiados y, cómo no, a todos los participantes, que han demostrado, con las acciones emprendidas, un gran entusiasmo por su labor docente.

Gabriel Pinto Cañón

Grupo Especializado en Didáctica e Historia de la Física y la Química, de las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ).

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Celebración de la IV Escuela Grupo Especializado de Química Organometálica de la RSEQ

Del 21 al 23 de mayo se celebró en Valladolid la **Escuela GEQO 2025**, organizada por el Grupo Especializado de Química Organometálica (GEQO) bajo el título "*Cinética y mecanismo de las reacciones químicas: métodos experimentales y computacionales*". Esta actividad tiene como objetivo ofrecer formación complementaria a estudiantes de posgrado que desarrollan su investigación en el ámbito de la química organometálica.

En su edición de 2025, se abordó la obtención y el análisis de datos cinéticos, así como la determinación de mecanismos de reacción mediante la combinación de métodos experimentales y computacionales. Además de proporcionar algunos fundamentos teóricos básicos, el contenido de la escuela ha sido fundamentalmente práctico y ha incluido el análisis de problemas y casos, así como el manejo de programas de tratamiento de datos cinéticos y de cálculos DFT.

La Escuela contó con la participación de 31 estudiantes procedentes de distintos puntos de España y fue impartida por los profesores Jordi Burés (ICIQ), Juan Cámpora (IIQ, Universidad de Sevilla-CSIC), Juan Casares (Universidad de Valladolid) y Agustí Lledós (Universidad Autónoma de Barcelona).

Asistentes a la Escuela GEQO 2025.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

OTRAS NOTICIAS

Premios Rei Jaume I 2024 para los profesores José Luis Mascareñas y María Jesús Vicent

En la 37ª edición de los Premios Rei Jaume I, celebrada en 2024, han sido galardonados dos destacados miembros de la comunidad química española: el profesor **José Luis Mascareñas** en la categoría de Investigación Básica, y la profesora **María Jesús Vicent** en la categoría de Nuevas Tecnologías.

Los Premios Rei Jaume I fueron creados en 1989 con el objetivo de promover el desarrollo científico, la innovación, el emprendimiento y la transferencia de conocimiento en España. De carácter anual, cada galardón está dotado con 100.000 euros, una medalla de oro y un diploma, e implica el compromiso de destinar una parte del importe a la investigación o al emprendimiento dentro del país.

El prof. **José Luis Mascareñas**, catedrático de la Universidad de Santiago de Compostela y director científico del CiQUS entre 2014 y 2024, ha sido reconocido por sus contribuciones pioneras en el desarrollo de procesos catalíticos mediados por metales, así como por su trabajo en catálisis celular y química biosupramolecular. Doctor en Química por la Universidad de Santiago de Compostela, ha sido profesor visitante en la Universidad de Harvard (EE. UU.), así como científico visitante en la Universidad de Cambridge (Reino Unido) y el MIT (EE. UU). Ha dirigido 47 tesis doctorales, publicado más de 250 artículos en revistas científicas y registrado 26 solicitudes de patente (16 concedidas, 3 licenciadas). Además del premio Jaume I ha recibido otros numerosos galardones, entre los que destacan el Premio de Química Orgánica de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ, 2009), la Medalla de Oro de la Universidad de Santiago (2014), la Medalla de Oro de la RSEQ (2015), o la Medalla de Investigación de la Real Academia Gallega de Ciencias (2019. José Luis Mascareñas ha desempeñado un papel clave en la promoción de la química biológica en España, siendo cofundador y presidente (2012-2016) del Grupo Especializado de Química Biológica de la RSEQ. Actualmente, ocupa la vicepresidencia de la Real Sociedad Española de Química.

Por su parte, la prof.ª **María Jesús Vicent**, doctora en Química por la Universidad Jaime I, ha sido premiada por su trabajo en el desarrollo de nanomedicinas basadas en conjugados poliméricos con aplicaciones en cáncer metastásico, enfermedades neurodegenerativas y regeneración de tejidos. Es investigadora jefa del Laboratorio de Polímeros Terapéuticos del Centro de Investigación Príncipe Felipe (CIPF), responsable científica de su Plataforma de Cribado de Fármacos (sitio especialista de EU-*OpenScreen*) y, desde 2024, coordinadora del Programa de Cáncer del CIPF. El premio reconoce sus contribuciones pioneras y fundamentales en la frontera de la química, la ciencia de los materiales, la biología y las ciencias clínicas, así como su actividad en la creación de plataformas nanoterapéuticas y en el diseño de polímeros terapéuticos. Es autora de 158 publicaciones científicas y titular de 15 patentes, seis de ellas licenciadas. En 2012 cofundó la empresa *Polypeptide Therapeutic Solutions* (actualmente *Curapath*), una CDMO con más de 100 empleados en Valencia y Boston. A nivel institucional, es gestora del área de Materiales para Biomedicina en la Agencia Estatal de Investigación (AEI), forma parte de varios consejos asesores internacionales, entre ellos CURAM (Irlanda) y FormulaEx (Suecia), y es miembro de la Junta Ejecutiva de la *Controlled Release Society* (CRS), sociedad científica de la que es presidenta electa. Desde 2023, es editora jefe de la revista *Advanced Drug Delivery Reviews* (Elsevier), una de las más prestigiosas en el ámbito de la liberación controlada de fármacos. **María Jesús Vicent** es vicepresidenta del Grupo Especializado de Química Biológica de la RSEQ.

Prof. José Luis Mascareñas.

Prof. María Jesús Vicent.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Abierta las nominaciones para los próximos *Chemistry Europe Fellows* (Class of 2024/25)

Chemistry Europe invita a los miembros de las sociedades químicas que la integran a proponer candidatos a los *Chemistry Europe Fellows* 2024/2025. Se trata del mayor reconocimiento que otorga esta organización que representa a más de 75.000 químicos de toda Europa, y que nació en 2015 con el objetivo de fortalecer el espíritu científico europeo. De esta forma y gracias a estos reconocimientos se pone en valor los logros y contribuciones sobresalientes de los miembros de las sociedades químicas de Europa.

El programa *Chemistry Europe Fellows* se puso en marcha para resaltar la labor diaria y destacar el impacto de las contribuciones en el ámbito de la química de sus socios. Por lo tanto, los nominados y los nominadores deben estar en activo y pertenecer a alguna de las sociedades miembro. Esta distinción se convoca con carácter bianual, en este momento hay un total del 150 *Chemistry Europe Fellows* y 8 *Honorary Fellows*, donde se incluye un buen número de nuestros socios. En la pasada edición fueron galardonados 22 químicos entre ellos los socios de la RSEQ; M. Concepción Gimeno (ISQCH, CSIC-Universidad de Zaragoza), Miguel A. Sierra (Universidad Complutense de Madrid) y Eva Hevia (Universidad de Berna, Suiza).

Este distinguido grupo ha sido seleccionado por sus notables contribuciones a *Chemistry Europe*, personificando la excelencia en investigación, creatividad e innovación, reflejando así el gran talento que existe dentro de *Chemistry Europe*. Los reconocidos con este galardón de *Chemistry Europe Fellow* reciben un certificado y conservan esta designación de por vida.

Las nominaciones para *Chemistry Europe Fellow* 2024/2025 deben realizarse antes **del 1 de septiembre de 2025** y no se admiten auto-nominaciones. Dada la naturaleza del premio, los candidatos deben tener un currículum de colaboración activa con *Chemistry Europe*, ya sea por su relevancia como autor, editor o revisor en las revistas del grupo, por su papel como dinamizador de la actividad de *Chemistry Europe* en las sociedades científicas asociadas etc. Se recomienda consultar los criterios de elegibilidad al presentar candidatos. Los resultados se darán a conocer en la primavera de 2026. Más información, incluyendo bases de la convocatoria y criterios de elegibilidad en: https://www.chemistryviews.org/fellows/

Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Ciencias Básicas para Avelino Corma

El Prof. Avelino Corma, investigador distinguido de la Universitat Politècnica de València (UPV), profesor *ad honorem* del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y cofundador del Instituto de Tecnología Química (ITQ, UPV-CSIC), ha sido galardonado con el Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en la categoría de Ciencias Básicas.

El jurado ha reconocido conjuntamente a Corma, John F. Hartwig (*University of California*, Berkeley, EE. UU.) y Helmut Schwarz (*Technische Universität Berlin*, Alemania) por sus contribuciones pioneras en el campo de la catálisis. Los galardonados han desarrollado avances fundamentales que han permitido acelerar reacciones químicas esenciales, incrementar la eficiencia de procesos industriales y reducir el consumo energético, favoreciendo una química más sostenible.

La trayectoria del Prof. Corma ha estado centrada en el desarrollo de catalizadores heterogéneos basados en materiales porosos, con aplicaciones relevantes en la mejora de procesos como el refinado de combustibles fósiles. Su labor investigadora se ha caracterizado por una intensa colaboración entre el ámbito académico y el sector industrial.

En palabras del Prof. Corma, "este premio es un reconocimiento no solo para mí, sino también para la excelente Química e Ingeniería Química que se hace en España en general, y en particular en nuestro Instituto, el ITQ. Es también un reconocimiento a todos los investigadores y compañeros que han colaborado conmigo a lo largo de los años. Por ello, recibir este galardón de la Fundación BBVA supone para mí un honor y una enorme satisfacción".

Prof. Avelino Corma.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Luis Bañares, doctor *honoris causa* por la Universidad Nacional de Córdoba (Argentina)

El Prof. Luis Bañares, catedrático de Química Física en la Universidad Complutense de Madrid, ha sido distinguido con el título de doctor *honoris causa* por la Universidad Nacional de Córdoba (UNC, Argentina), en reconocimiento a su destacada trayectoria científica, su labor docente y su prolongada colaboración con dicha institución.

El acto académico tuvo lugar en el Salón de Actos del Antiguo Rectorado, y estuvo presidido por la vicerrectora Mariela Marchisio y el decano de la Facultad de Ciencias Químicas, Marcelo Mariscal, quienes hicieron entrega del diploma y la medalla acreditativos de la distinción. La ceremonia contó con la participación de autoridades universitarias, miembros de la facultad e integrantes de la comunidad académica.

El Prof. Bañares mantiene desde hace más de una década una estrecha colaboración con la UNC, que incluye estancias, proyectos conjuntos y la formación de estudiantes de posgrado. En su conferencia de aceptación, titulada "*Cruces de culturas, saberes y continentes: la ciencia como fuente y la universidad como punto de encuentro*", destacó la importancia de la cooperación científica en el ámbito iberoamericano y el papel de la universidad como espacio de conexión global.

El profesor Gustavo Pino estuvo a cargo de las palabras de presentación. Destacó no sólo los aportes científicos del Prof. Bañares, sino también su actitud abierta a la cooperación: "Además de un gran científico de destacados logros académicos, Luis tiene una gran generosidad con sus pares y siempre tiene abiertas las puertas de su grupo de investigación para recibir y colaborar con otras personas".

Prof. Luis Bañares. Foto cortesía de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Celebración del I Simposio Científico IQAR-UAH

El pasado 16 de mayo se celebró el I Simposio Científico IQAR-UAH, organizado por el Instituto de Investigación Química «Andrés M. del Río» (IQAR) de la Universidad de Alcalá. Este instituto reúne a los grupos de investigación que desarrollan su actividad en el ámbito de la Química y disciplinas afines dentro de la universidad.

Con vocación anual, esta jornada se concibe como un foro para el intercambio de ideas, la promoción de la colaboración científica y la creación de sinergias entre investigadores. Las principales líneas de investigación del IQAR —Energía y Sostenibilidad, y Salud y Alimentos— estructuraron el programa del simposio.

El encuentro contó con la participación de más de cien asistentes y con las conferencias invitadas del Prof. Nazario Martín (Universidad Complutense de Madrid, IMDEA Nanociencia) y la Prof. Ana Pizarro (IMDEA Nanociencia). Asimismo, se presentaron cuatro comunicaciones orales a cargo de jóvenes investigadores pertenecientes a diversos grupos del instituto.

Conferenciantes y organizadores del I Simposio Científico IQAR-UAH.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

https://doi.org/10.62534/rseq.aq.2046

Celebración de la XXXVIII Olimpiada Española de Química en Córdoba

La Universidad de Córdoba acogió, del 25 al 27 de abril de 2025, la fase nacional de la XXXVIII Olimpiada Española de Química, organizada por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) a través de su Sección Territorial de Andalucía Occidental. Esta edición reunió a 124 estudiantes procedentes de todas las comunidades autónomas, la Ciudad Autónoma de Melilla y, como invitada especial, una alumna del Instituto Español Lope de Vega de Nador (Marruecos), en representación de los centros españoles en el exterior.

La ceremonia inaugural tuvo lugar en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Córdoba, con la participación de representantes institucionales y la conferencia del Dr. Nazario Martín León, titulada "*Del Benceno al Grafeno: Átomos de Carbono que cambiaron el Mundo*". Las pruebas de la competición se desarrollaron en la Facultad de Ciencias (Campus de Rabanales), e incluyeron resolución de problemas y cuestiones teóricas. Posteriormente se ofreció la actividad divulgativa "Esto tiene mucha química", así como la VIII Jornada de Química para Profesorado de Secundaria, dirigida a los docentes acompañantes.

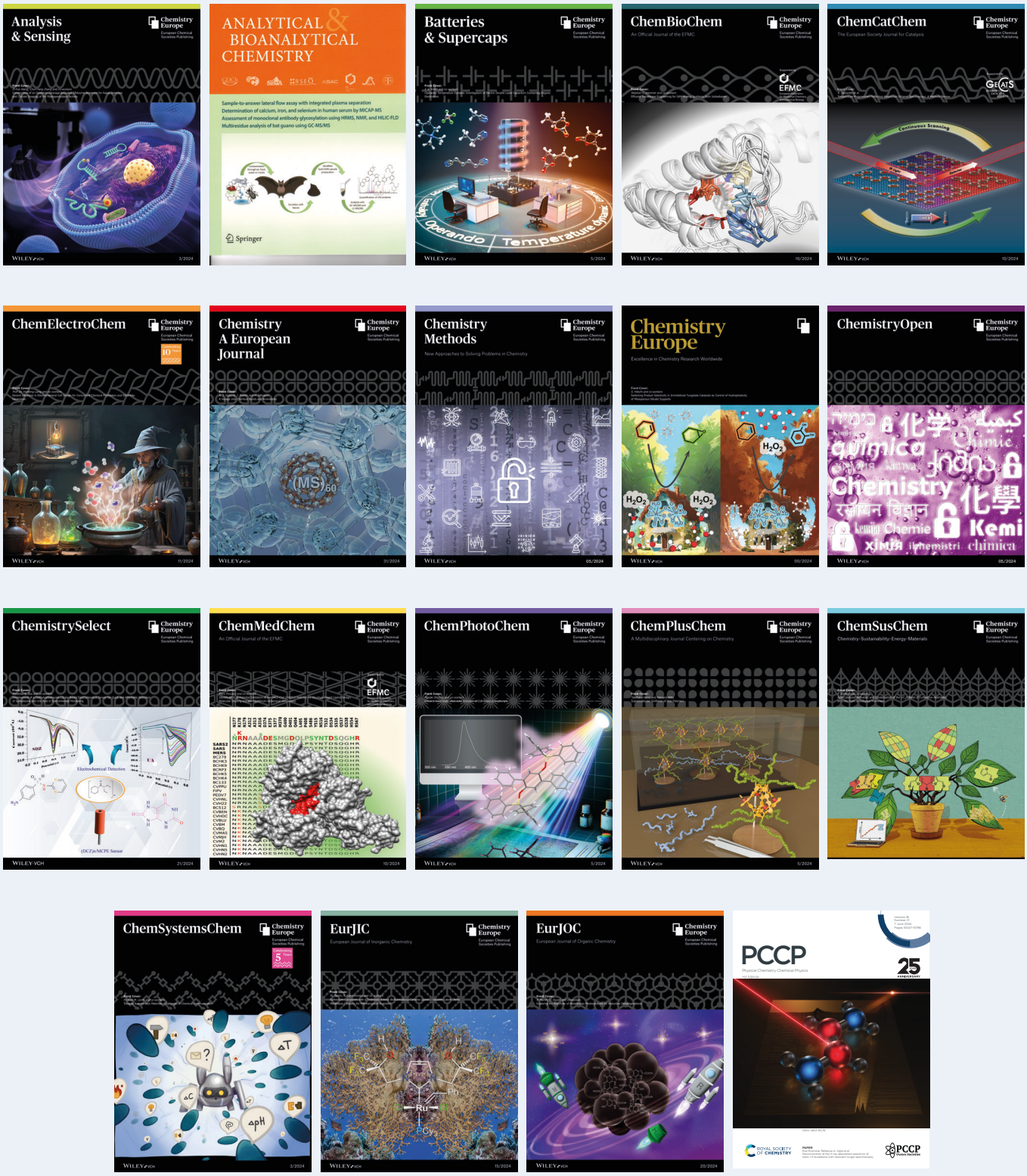
La ceremonia de clausura se celebró en el Rectorado de la UCO, donde se anunciaron los diez estudiantes galardonados con Medalla de Oro y Premio Nacional. Estos alumnos representarán a España en las próximas Olimpiadas Internacional e Iberoamericana de Química, que se celebrarán en julio y octubre de 2025.

Los premiados, por orden de clasificación, fueron: Víctor Zhou (Picassent, Valencia); Carlos Calderón Alba (Paterna, Valencia); José Martín Daries (Valencia); Pau Alarcón Barberà (Castellón); Adrián Ligorred Obedé (Zaragoza); Pablo Madrid Gutiérrez (Murcia); Alejandro Fernández Gómez (Barcelona); Rafael Arroyo Hermoso (Madrid); César Alonso Castaño (Asturias); y Adrià Romero Girona (Valencia).

Entrega de diplomas a los participantes en la ceremonia de clausura.

© 2025 Real Sociedad Española de Química

Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química



MERCK

New Chemistry Products for **Drug Discovery & Development**

Issue 1 2023

The Life Science business of Merck operates as MilliporeSigma in the U.S. and Canada.

Sigma-Aldrich®
Lab & Production Materials