

Desarrollo de bionanoherramientas innovadoras mediante ingeniería de híbridos proteína-nanomaterial

Kepa B. Uribe, Elena López-Martínez y Aitziber L. Cortajarena

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

Editor General

Miguel Ángel Sierra
Universidad Complutense de Madrid

Comité Editorial

Fernando P. Cossío
Universidad del País Vasco y DIPC San Sebastián-Donostia

José Manuel Costa
Universidad de Oviedo

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

Óscar Millet
CICbioGUNE, Derio, Bizkaia

Gabriel Pinto
Universidad Politécnica de Madrid

M.^a Carmen Redondo
Colegio Estudio, Madrid

Elena Sáez
Universidad Complutense de Madrid

Miquel Solà
Institut de Química Computacional i Catàlisi, Universitat de Girona

Rolando A. Spanevello
Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Alejandro Toro-Labbé
Pontificia Universidad Católica de Chile

María C. de la Torre
Instituto de Química Orgánica General, CSIC, Madrid

Otilia Val-Castillo
IES Lluís Simarro Lacabra, Xàtiva, Valencia

Secretaría Editorial

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

www.analesdequimica.es
administracion@analesdequimica.es



Entidades colaboradoras



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE
MADRID

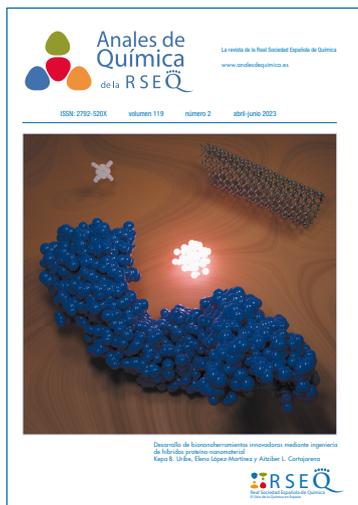
Socios Corporativos



JANSSEN-CILAG S.A.



Sumario



Composición:
Palabra de apache

An. Quím., 119 (2), 2023, 61-142
ISSN: 2792-520X
e-ISSN: 2792-5250
D. L.: M-232-1958

Editorial	64
Miguel Ángel Sierra	
Investigación Química	
Desarrollo de bionanoherramientas innovadoras mediante ingeniería de híbridos proteína-nano-material	65
Kepa B. Uribe, Elena López-Martínez y Aitziber L. Cortajarena	
Detectando patrones anómalos de publicación científica en España (I): Las evidencias empíricas	71
Emilio Delgado López-Cózar y Alberto Martín-Martín	
Enseñanza de la Química	
Érase una vez el hierro	87
Ana González, Laura Sabio y José M. Domínguez-Vera	
La regla de Madelung-Klechkowskii: origen, empleo como instrumento didáctico y limitaciones	92
J. Quílez Pardo	
Algunas consideraciones y propuestas en torno a la determinación del contenido en oxígeno del aire usando lana de acero	99
Antonio Tomás-Serrano y Marta Pastor-Belda	
Historia de la Química	
El Instituto Nacional del Combustible del CSIC. Parte 1. Puesta en marcha y primeros años	107
Juan M. D. Tascón	
El Instituto Nacional del Combustible del CSIC. Parte 2. Consolidación y desaparición	113
Juan M. D. Tascón	
Noticias	120
Radicales (muy) libres	137
Reseña	139

EDITORIAL

Miguel Á. Sierra

Según parece, la historia de que el Buda se sentó delante de un muro y 20 años después se levantó más sabio dista mucho de ser cierta. Aparentemente, hacia el año 520 d. C. apareció en China procedente de la India, un viejo, santo y sabio budista conocido como Bodhidharma. Este sabio fue quien se sentó de cara a un muro y permaneció en el más absoluto de los silencios nueve años. Los motivos por lo que este buen hombre se sentó delante del muro, y lo que es más interesante, los motivos por los que se levantó están incluidos en la doctrina budista. Puesto que mis conocimientos del budismo son escasos (en realidad no van más allá de haber leído Siddhartha de Hermann Hesse allá cuando tenía dieciocho años, edad en la que uno es capaz de hazañas tan notables como esta), y, de momento, no está dentro de mis objetivos seguir las enseñanzas del Buda, lo que me llama la atención es que a los investigadores españoles nos impresione la paciencia (derivada probablemente de su sabiduría) de Bodhidharma.

Entramos de lleno en un nuevo periodo de elecciones generales que, si la Wikipedia no me miente son las decimoquintas (quinceavas según el nuevo sistema que se ha impuesto en algunos medios informativos españoles, los hispanoparlantes americanos son todavía fieles al sistema ordinal clásico y correcto). Otra vez vamos de cabeza a un montón interminable de promesas que, dependiendo del resultado electoral, sin duda cambiarán algunas cosas, o no, ya veremos. Lo que sí es seguro es que de nuevo (y en este sentido estoy profetizando, ojalá me equivoque) la Ciencia brillará por su ausencia o será una promesa chiquitilla, de esas que si no se cumplen no pasa nada. No se hablará de planes de investigación, fondos para abordar estos planes, propuesta de cambios en la estructura de gestión de la Ciencia, etc. Por supuesto, lo que si se hará es prometer devolver el poder adquisitivo a los científicos, pero no como tales sino como funcionarios.

Eso sí, y aquí no profetizo, esto es una certeza, el cambio climático, la economía circular, el desarrollo sostenible, y temáticas relacionadas aparecerán en todos y cada uno de los discursos grandilocuentes y, por lo general, vacíos de contenido de nuestros políticos, independientemente de si son de izquierdas o de derechas. Eso vende. ¿Pero quién leches va a hacer esos cuentos tan bonitos, fáciles de contar, pero que son realidades muy difíciles de ejecutar? Los científicos sin lugar a dudas. Esos seres pacientes, tanto o más que el Buda, que gruñen cuando les recortan los fondos de investigación, que se pelean por cuatro miserables euros para trabajar más, que si tienen suerte y les publican un artículo encima se ponen como locos. Los científicos son los que tienen que sacar adelante la investigación del país, no el político de turno que habla sin saber de ordenadores cuánticos, inteligencia artificial (por cierto, qué mala es la AI, hemos visto muchas películas de Terminators y esperamos ver muchas más antes del Armagedón que provocarán, como decía Labordeta, que nos vayamos "a la mierda"). ¿O nos van a sacar las castañas del fuego los chinos que nos tienen cogidos por las (que cada uno ponga aquí lo que



quiera)? ¿O serán los gringos? ¿Quizás la Unión Europea? Porque, como sigamos así, que sean los científicos españoles no parece muy probable, y no por falta de capacidad o ganas.

De momento la instalación de placas solares en mi casa, lo único que tiene español es el tejado y los técnicos que van a hacer el montaje. El resto es chino. Y no es porque sea más barato. Es que no hay otra cosa. Eso sí, para 2030 todos los coches van a ser eléctricos. ¿Serán las baterías españolas? Me da a mí que no. A lo mejor los cables de cobre y poco más.

¿Quousque tandem abutere, Catilina, patientia nostra? Esto caía en los exámenes de latín de mi época y, si alguien no lo entiende tenemos el traductor de Google (*vade retro Satanás*, lo mismo hay una AI detrás). ¿Tenemos que aguantar otra vez que nos tomen el pelo con promesas sobre cómo va a mejorar la Ciencia en España? Seguimos en el camino Zen o de una vez empezamos a plantar cara a nuestros políticos, que, me consta que oyen pero no escuchan. No hago campaña por ningún partido. Exijo dejar de ser un budista sentado delante de un muro, porque no lo he elegido. Me han obligado a serlo. Quiero que la Ciencia (y su financiación, y su gobernanza, y su planificación) entren de lleno en la campaña electoral. Luego que cada uno vote a quien le parezca oportuno.

Si alguien piensa que no se puede hacer nada, que está todo perdido, que da igual..., bueno seguir sentado delante del muro es gratis. Lo que no es gratis es el futuro de los científicos de un país con un potencial increíble para hacer Ciencia, como hemos demostrado con cuatro perras, esfuerzo y ganas. Ahora tenemos la posibilidad de exigir lo que nos merecemos y lo que necesitamos para seguir avanzando. Dejemos de viajar en un tren, la investigación española, al que hace mucho tiempo se le terminó el combustible y se le rompió la máquina. El día que este tren se pare no podremos volver a ponerlo en marcha.

Termino con la versión correcta de una canción del maestro Carlos Cano, que otro de esos políticos leyó mal en televisión.

*No sé por qué te lamentas en vez de enseñar los dientes
Ni por qué llamas mi tierra a aquello que no defiendes
Si en vez de ser pajaritos fuéramos tigre bengala
A ver quién sería el guapito de meternos en una jaula*

Gracias por leer

MIGUEL Á. SIERRA
Editor General de Anales de Química.

INVESTIGACIÓN
QUÍMICA



K. B. Uribe^{a, b, *}

E. López-Martínez^b



A. L. Cortajarena^{b, c}

^a Departamento de Bioquímica y Biología Molecular, Universidad del País Vasco UPV/EHU, 48940, Leioa

^b Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales (CIC biomaGUNE), Basque Research and Technology Alliance (BRTA), Paseo de Miramón 194, 20014, Donostia-San Sebastián.

^c Ikerbasque, Basque Foundation for Science, Plaza de Euskadi 5, 48009, Bilbao.

C-e: alcortajarena@cicbiomagune.es

ORCID: 0000-0002-4502-4853

ORCID: 0000-0001-7345-4423

ORCID: 0000-0002-5331-114X

Recibido: 03/11/2022

Aceptado: 09/06/2023

* Estos autores han contribuido por igual en este trabajo

Desarrollo de bionanoherramientas innovadoras mediante ingeniería de híbridos proteína-nanomaterial

Kepa B. Uribe , Elena López-Martínez 
y Aitziber L. Cortajarena 

Resumen: Las proteínas de repetición son biopolímeros naturales ampliamente estudiados en el desarrollo de nuevas herramientas nanotecnológicas. La simplicidad de sus secuencias y la robustez de sus estructuras permiten el desarrollo de andamios versátiles y adaptables para un buen número de funciones. Además, la generación de híbridos proteína-nanomaterial eleva las posibilidades a un nuevo ámbito que ha comenzado a explorarse recientemente. En la presente revisión hemos actualizado algunos de los avances realizados en el campo, particularmente con las proteínas de repetición CTPR (del inglés Consensus Tetratricopeptide Repeats), y descrito mediante ejemplos el potencial de estos sistemas en diversas aplicaciones tecnológicas y biomédicas.

Palabras clave: Proteínas de repetición, ingeniería de proteínas, andamios proteicos, híbridos funcionales, nanomateriales, multifuncionalidad, herramientas terapéuticas.

Abstract: Repeat proteins are natural biopolymers that have been widely studied in the development of new nanotechnological tools. The simplicity of their sequences and the robustness of their structures allow the development of versatile and adaptable scaffolds for a number of functions. In addition, the generation of protein-nanomaterial hybrids raises the possibilities to a new level that has only just begun to be explored. In the present review we have updated some of the advances made in the field, particularly with CTPR repeat proteins, and described by means of examples the potential of these systems in various technological and biomedical applications.

Keywords: Repeat proteins, protein engineering, protein scaffolds, functional hybrids, nanomaterials, multifunctionality, theranostic tools.

Introducción

El desarrollo de nuevas herramientas bionanotecnológicas ofrece formas innovadoras de abordar los retos emergentes en diferentes ámbitos de la Ciencia. A menudo inspiradas en la Naturaleza, estas herramientas han evolucionado vertiginosamente mediante el diseño, el control y la modificación de biomoléculas. De entre todas estas (ver siguiente comentario), las proteínas resultan particularmente de interés por su versatilidad y variedad de funciones, ya que permiten diseñar nuevas herramientas *ad hoc* adaptando proteínas ya conocidas o creando nuevas desde cero. Asimismo, los avances realizados en la secuenciación de genes, la cristalografía y la microscopía electrónica, así como el desarrollo de la biología computacional, han impulsado el potencial de las

proteínas, y particularmente las proteínas “ingenierizadas”, en un amplio número de campos de estudio.^[1]

Las proteínas son biomoléculas elementales comunes a todos los seres vivos que se constituyen como un collar de cuentas uniendo covalentemente sus diferentes piezas elementales o aminoácidos. Las características fisicoquímicas únicas de cada componente determinarán que cada secuencia presenta un paisaje energético único, que determinará su disposición tridimensional, *i.e.* su estructura, y en último término, determinará su función biológica.^[2] Alteraciones de un único componente de la cadena polipeptídica pueden hacer variar drásticamente su funcionalidad, siendo esta la base molecular de enfermedades tan comunes como la hipercolesterolemia familiar,^[3] o la forma de optimizar nuevas variantes de interés.^[4] Existe, pues, una estrecha relación

entre secuencia-estructura-función en las proteínas que representa un gran atractivo a la hora de elegir las como base o andamiaje sobre el que diseñar con aproximaciones *bottom-up* nuevas nanoherramientas. Además, las proteínas presentan propiedades de biocompatibilidad y biodegradabilidad excepcionales que las hacen ideales para el desarrollo de aplicaciones no solo tecnológicas sino también biomédicas.

Proteínas de repetición: diseño y funcionalidad

Un grupo de proteínas con alto interés nanotecnológico lo componen las proteínas de repetición^[5] (Figura 1). Estas son proteínas no globulares que presentan secuencias cortas de aminoácidos (18-47 aminoácidos) repetidas en tándem y que en su contexto fisiológico están involucradas en interacciones proteína-proteína.^[6] El número de estas repeticiones puede ser variable de unas proteínas a otras, así como la naturaleza/secuencia de las repeticiones, pero en todos los casos las secuencias de repetición forman un motivo estructural básico que contiene toda la información para su plegamiento o disposición tridimensional. La concatenación de secuencias da lugar a la formación de unidades de repetición con estructuras extendidas definidas, altamente estables en diferentes medios.^[7] Además, uno de los principales atractivos que ofrecen las proteínas de repetición a la hora de generar nuevas nanoherramientas consiste en el diseño de proteínas mediante la arquitectura por bloques. Este tipo de construcción consiste en la concatenación de módulos o "bloques" en la misma cadena, formados por un número limitado de repeticiones de secuencia única que les confieren

propiedades independientes de estabilidad, funcionalidad o de interacción con otros módulos. De esta manera relativamente sencilla se pueden formar proteínas quiméricas multifuncionales ensamblando diferentes módulos funcionales en la misma secuencia-estructura.^[5]

De entre las diferentes familias de proteínas de repetición, resultan de especial interés la formada por las proteínas TPR (del inglés *Tetratricopeptide Repeat*) por su estudio y desarrollo en la bionanotecnología. Estas proteínas contienen el motivo TPR o de repetición tetratricopeptídico compuesto por 34 aminoácidos que codifican un motivo estructural en forma de hélice-giro-hélice^[8, 9] (Figura 1). La repetición en tándem de secuencias TPR promueve la formación de una estructura característica en forma de superhélice.^[10, 11] Por alineamiento de cientos de motivos TPR naturales se obtuvo una secuencia TPR consenso o CTPR, que ha permitido el diseño sistemático de proteínas sintéticas de longitud variable (~1-18 nm).^[12] Además, el análisis detallado de las estructuras cristalinas de estas proteínas ha ayudado a comprender el papel de los distintos aminoácidos, concluyendo que solo unos pocos aminoácidos hidrofóbicos altamente conservados están involucrados en el mantenimiento del motivo estructural y abriendo la posibilidad de modificar a demanda más del 75% de su secuencia.

Así, gracias a la alta flexibilidad de secuencia y a las propiedades intrínsecas que ofrecen las proteínas CTPR, se han diseñado un número considerable de módulos funcionales de tamaño y actividad variable (Figura 2). Inspirándonos en la función biológica de las proteínas TPR naturales, se han diseñado nuevos módulos para el reconocimiento biomolecular de ligandos seleccionados. Estos andamios exponen regiones o secuencias específicas que facilitan la interacción

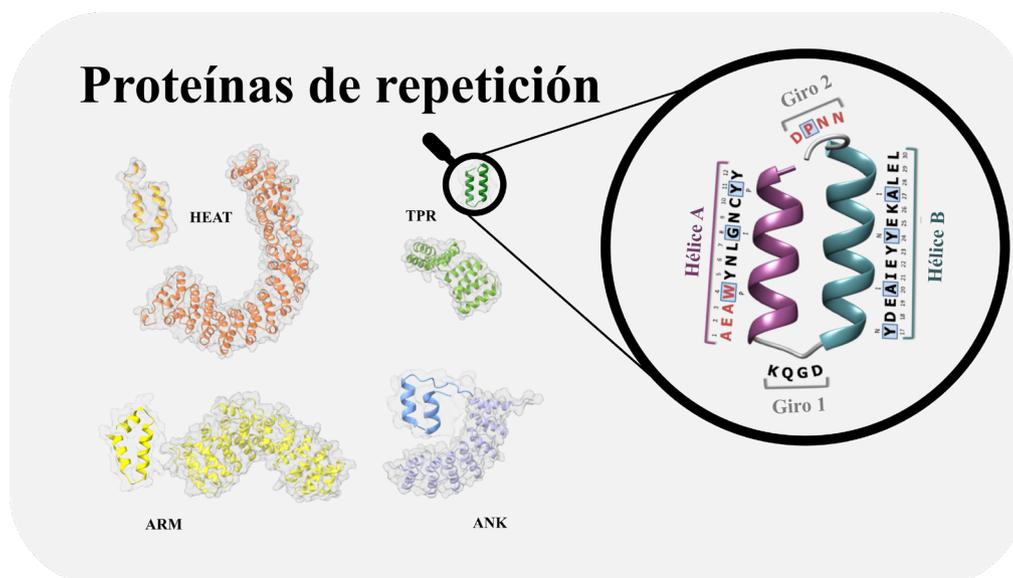


Figura 1. Las proteínas de repetición están formadas por secuencias cortas de aminoácidos en las que se repite el mismo motivo estructural. De la repetición en tándem de estas secuencias se pueden diseñar andamios proteicos robustos aptos para el desarrollo de nuevas bionanoherramientas. Algunas de las proteínas de repetición utilizadas como andamiaje molecular son las repeticiones HEAT (en naranja), TPR (en verde), armadillo (ARM en amarillo), o las anquirinas (ANK en azul). En muchos casos, los módulos comparten una estructura básica en forma de hélices unidas por un giro corto, como es el caso de las proteínas TPR. En el detalle de la imagen se pueden apreciar la secuencia consenso y los residuos conservados (indicados en fondo azul) que definen la estructura típica del motivo TPR.

proteína-proteína o proteína-péptido,^[13-16] y se han probado eficaces en aproximaciones tan diversas como el diseño de bioinhibidores con acción terapéutica o el desarrollo de nuevas modalidades en microscopía de superresolución.^[17] Adicionalmente, la capacidad de las proteínas CTPR para autoensamblarse de manera ordenada mediante interacciones intermoleculares “cabeza-a-cola” y “lado-a-lado”^[18] ha sido explotada para el desarrollo de módulos que generan complejos supramoleculares en forma de películas finas ordenadas,^[19, 20] o nanotubos proteicos^[21] con interés en el diseño de biomateriales avanzados. Recientemente, en base al entorno molecularmente confinado que aporta la cara cóncava de la proteína, junto con la rigidez y la alta estabilidad que ofrecen los andamios CTPR, se ha comenzado a vislumbrar el potencial de las proteínas CTPR en el diseño de nuevos biocatalizadores.^[22]

Híbridos CTPR y sus aplicaciones en nanotecnología

Otro de los grandes avances en la generación de herramientas bionanotecnológicas innovadoras surge de la adquisición de

un nuevo nivel de complejidad al combinar las proteínas con otros elementos funcionales y/o nanomateriales.^[23] Mediante el diseño de proteínas basado en estructura, una estrategia de diseño simple y versátil que se sustenta en el conocimiento acumulado sobre estructuras de proteínas y la intuición fisicoquímica,^[24] se han construido híbridos con diferentes elementos funcionales para aplicaciones tecnológicas (Figura 2).

En el caso de las proteínas CTPR, se han evaluado diferentes regiones potencialmente susceptibles para su funcionalización específica y dirigida o para la generación de diferentes áreas con actividades pre-definidas. Los extremos terminales de las proteínas CTPR exponen secuencias únicas para su modificación puntual, y de esta manera modificando diferencialmente ambos extremos se puede conseguir funcionalizar superficies de manera ordenada con, por ejemplo, nanopartículas de oro.^[29] Asimismo, los giros entre hélices generan un patrón secuencial bien definido que habilita la funcionalización de moléculas y nanomateriales (p. ej. porfirinas, nanopartículas de oro) de manera ordenada y orientada, lo cual habilita un transporte electrónico eficiente.^[26, 28, 30] De especial interés para la formación de los híbridos resulta la cara cóncava o interior del solenoide, ya que facilita la

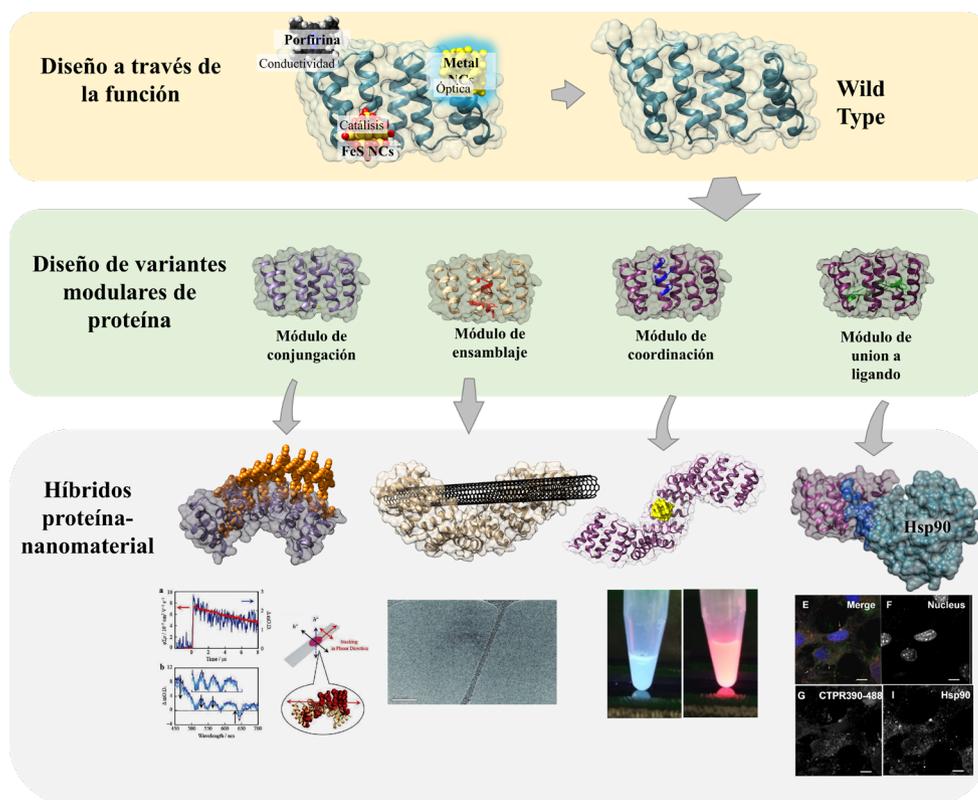


Figura 2. La versatilidad en el diseño de las proteínas CTPR permite el desarrollo *ad hoc* de bionanoherramientas. Mediante ingeniería de proteínas se modifican aquellas regiones o aminoácidos clave del andamio proteico y se van adaptando a las necesidades de la nueva funcionalidad que se quiere implementar (variantes modulares). Posteriormente, la combinación con otros elementos funcionales y/o nanomateriales darán lugar a la formación de híbridos con características funcionales únicas. Finalmente, la combinación de diferentes módulos o variantes funcionales en la misma proteína posibilita la construcción de híbridos multifuncionales avanzados. Imágenes adaptadas con permiso bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY-NC-ND) de las ref. ¹ y ref. ²⁵, y adaptadas con permiso de las ref. ²⁶, ref. ²⁷ y ref. ²⁸. Copyright 2021 American Chemical Society, Copyright 2021 Wiley-VCH GmbH, Copyright 2016 The Royal Society of Chemistry, Copyright 2018 Elsevier Ltd, y Copyright 2017 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, respectivamente.

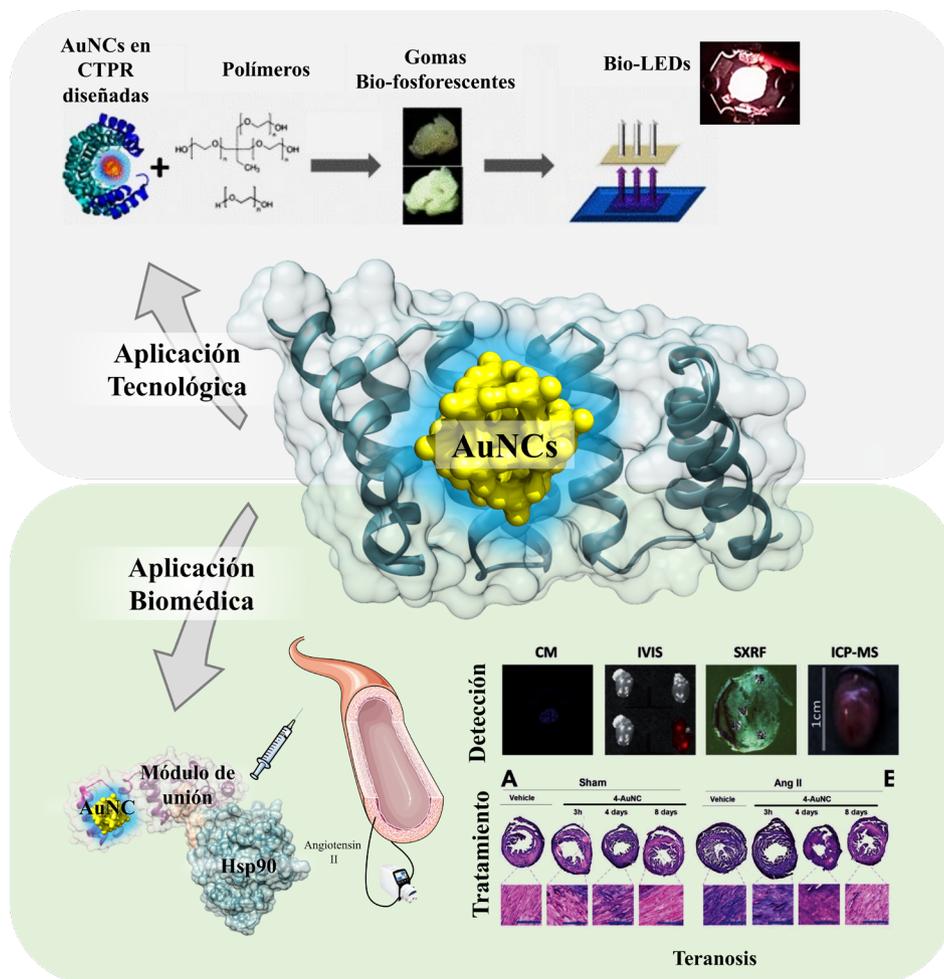


Figura 3. Los CTPR-AuNCs son un ejemplo de híbridos proteína-nanomaterial con múltiples utilidades. Por un lado, debido a sus propiedades fotolumínicas, los híbridos CTPR-AuNC se pueden aplicar para su desarrollo tecnológica mediante la fabricación de biomateriales como filtros de color en dispositivos LED, que sustituyen a los actuales basados en tierras raras. Estos dispositivos mostraron una durabilidad superior a las 800 horas³⁹. Por otro lado, los híbridos CTPR-AuNCs también pueden diseñarse como una herramienta teranóstica y aplicarse en el tratamiento y detección de enfermedades como la fibrosis cardíaca⁴⁰. En este caso, la inhibición funcional de la fibrosis sustenta la actividad terapéutica mientras que la detección o seguimiento del híbrido se realiza mediante fluorescencia (microscopía confocal, IVIS) o por la naturaleza metálica del AuNC (SXRF, ICP-MS). Imágenes adaptadas con permiso bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY-NC-ND) de la ref. ¹ y adaptadas con permiso de la ref. ³⁹. Copyright 2021 American Chemical Society, Copyright 2020 American Chemical Society, respectivamente.

coordinación de diferentes elementos (p. ej. nanotubos de carbono, C60-fullerenos)^[28, 31] o la generación *in situ* de nanomateriales, amoldando con precisión las funciones resultantes de los híbridos proteína-nanomaterial.^[25, 32, 33]

Entre los híbridos proteína-nanomaterial desarrollados resultan particularmente interesantes aquellos constituidos por híbridos CTPR-nanoclústeres de oro (CTPR-AuNC) (Figura 3). Estos son un conjunto de híbridos donde el AuNC se genera *in situ* sobre el andamio de CTPR previamente diseñado a través de la introducción de aminoácidos de coordinación como histidinas, o cisteínas en su cara cóncava, de forma que se controla la especificidad de la coordinación metálica, y la posterior reducción y estabilización de NC.^[34, 35] Los AuNC (5-25 átomos) en su mayoría se generan confinados en el interior rígido de la proteína y el entorno molecular, junto con el procedimiento de síntesis, moldean su formación así como

sus propiedades. Aunque los módulos de coordinación han demostrado unir covalentemente también otros metales (Ag, Cu)^[35] y generar híbridos con nuevas funcionalidades,^[36] los híbridos basados en AuNC forman complejos fotoluminiscentes, tienen la ventaja de ser biocompatibles,^[35] y la ausencia de este elemento (Au) en los sistemas biológicos favorece su detección.^[37] En concreto, los últimos estudios realizados en nuestro laboratorio han evidenciado que los híbridos proteína-AuNC exhiben propiedades ópticas únicas en términos de rendimiento cuántico (> 35%) y propiedades de emisión (400-800 nm),^[38] y por ejemplo han sido implementados con éxito en la fabricación de filtros de conversión de color para su integración en nuevos dispositivos de iluminación biocompatibles (bio-LEDs).^[39]

Los híbridos proteína-nanomaterial, además, pueden ser concebidos como sistemas multidominio y desarrollar así

nanomateriales multifuncionales de gran interés en campos como la biomedicina (Figura 3). Como se ha constatado recientemente, de la combinación de la acción terapéutica del andamio proteico con las propiedades de los nanomateriales para su detección, se ha desarrollado un híbrido proteína-nanomaterial multifuncional eficaz para el tratamiento y/o monitorización de enfermedades. A modo de prueba de concepto, se ha concebido un híbrido CTPR-AuNC químico capaz de tratar eficazmente la fibrosis cardiaca en modelos animales fusionando un módulo bioinhibidor con efecto anti-fibrótico^[27] al módulo de coordinación/estabilización de AuNC. Los resultados han validado los objetivos principales de esta aproximación terapéutico-diagnóstico, dado que este híbrido es capaz de reducir drásticamente el área fibrótica así como la hipertrofia cardíaca con una única dosis, al tiempo que se ha conseguido rastrear por diferentes métodos la presencia del nanomaterial de Au en los tejidos tratados, en concreto en los corazones afectados por la fibrosis.^[40] Así, de la sinergia surgida entre los distintos componentes de los híbridos proteína-nanomaterial se ha demostrado viable la generación de plataformas terapéuticas versátiles de amplio alcance a través de estas aproximaciones. Por lo tanto, virtualmente se pueden implementar nuevas propiedades y modalidades terapéutico-diagnósticas adicionales según diferentes necesidades. De hecho, actualmente trabajamos en el desarrollo de nuevos híbridos para su uso como agentes de contraste en imagen molecular o como agentes radioterapéuticos para el tratamiento del cáncer.

Conclusiones

Las proteínas de repetición son una clase de biopolímeros que presentan un marco excepcional para el desarrollo de nanoherramientas avanzadas. Sus repeticiones de una secuencia simple favorecen su modificación a demanda a través de aproximaciones racionales y modulares relativamente sencillas y versátiles, permitiendo la incorporación de nuevas funcionalidades específicas y el diseño de proteínas multifuncionales compuestas por diferentes dominios. Además, la formación de complejos híbridos o la incorporación de nanomateriales favorecen la biocompatibilidad y biodegradación de estos elementos potencialmente citotóxicos y extienden las capacidades funcionales de cada componente por separado, presentando estos híbridos nuevas propiedades específicas derivadas, en efecto, de su hibridación. Ejemplo de ello resultan los avances realizados en torno al diseño racional de los módulos de andamiaje CTPR y la síntesis de materiales híbridos complejos cuyo potencial en diversas áreas de interés ha sido demostrada en los últimos años. A futuro, la incorporación de métodos computacionales cada vez más sofisticados,^[41] la integración de aproximaciones racionales y combinatorias, así como la combinación con nanomateriales mejorados, promoverán el desarrollo de nanoherramientas híbridas con funcionalidades novedosas que permitirán abordar objetivos biomédicos y tecnológicos antes inalcanzables.

Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Consejo Europeo de Investigación (ERC-CoG-648071-ProNANO; ERC-PoC-NIMM-841063; ERC-PoC-Nanolmaging- 101069356) de la Agencia Estatal de Investigación, España (PID2019-111649RB-I00; PDC2021-120957-I00); y del Gobierno Vasco (RIS3-2019222005; BIOEF-BIO21/COV/037). Este trabajo se ha realizado en el marco del Programa de Unidades de Excelencia María de Maeztu de la Agencia Estatal de Investigación de España Subvención MDM-2017-0720 (CIC biomaGUNE). Agradecemos a todos los miembros del grupo de Nanotecnología Biomolecular de CIC biomaGUNE que han contribuido al desarrollo de estos proyectos y de estas líneas de investigación.

Bibliografía

- [1] K. B. Uribe, E. Guisasola, A. Aires, E. López-Martínez, G. Guedes, I. R. Sasselli and A. L. Cortajarena, *Acc Chem Res*, **2021**, *54*, 4166-4177.
- [2] C. B. Anfinsen, *Science*, **1973**, *181*, 223-230.
- [3] A. Benito-Vicente, K. B. Uribe, S. Jebari, U. Galicia-García, H. Ostolaza and C. Martín, *Int J Mol Sci*, **2018**, *19*, 1676.
- [4] A. Espasa, M. Lang, C. F. Aguiño, D. Sanchez-deAlcazar, J. P. Fernández-Blázquez, U. Sonnewald, A. L. Cortajarena, P. B. Coto and R. D. Costa, *Nat Commun*, **2020**, *11*, 879.
- [5] S. H. Mejias, A. Aires, P. Couleaud and A. L. Cortajarena, *Adv Exp Med Biol*, **2016**, *940*, 61-81.
- [6] C. Scheufler, A. Brinker, G. Bourenkov, S. Pegoraro, L. Moroder, H. Bartunik, F. U. Hartl and I. Moarefi, *Cell*, **2000**, *101*, 199-210.
- [7] A. L. Cortajarena and L. Regan, *Protein Sci*, **2011**, *20*, 336-340.
- [8] R. S. Sikorski, M. S. Boguski, M. Goebel and P. Hieter, *Cell*, **1990**, *60*, 307-317.
- [9] T. Hirano, N. Kinoshita, K. Morikawa and M. Yanagida, *Cell*, **1990**, *60*, 319-328.
- [10] T. Kajander, A. L. Cortajarena, E. R. Main, S. G. Mochrie and L. Regan, *J Am Chem Soc*, **2005**, *127*, 10188-10190.
- [11] M. Synakewicz, R. S. Eapen, A. Perez-Riba, P. J. E. Rowling, D. Bauer, A. Weiß, G. Fischer, M. Hyvönen, M. Rief, L. S. Itzhaki and J. Stigler, *ACS Nano*, **2022**, *16*, 3895-3905.
- [12] E. R. G. Main, Y. Xiong, M. J. Cocco, L. D'Andrea and L. Regan, *Structure*, **2003**, *11*, 497-508.
- [13] A. L. Cortajarena, F. Yi and L. Regan, *ACS Chem Biol*, **2008**, *3*, 161-166.
- [14] A. L. Cortajarena, T. Y. Liu, M. Hochstrasser and L. Regan, *ACS Chem Biol*, **2010**, *5*, 545-552.
- [15] E. B. Speltz, A. Nathan and L. Regan, *ACS Chem Biol*, **2015**, *10*, 2108-2115.
- [16] A. Diamante, P. K. Chaturbedy, P. J. E. Rowling, J. R. Kumita, R. S. Eapen, S. H. McLaughlin, M. d. I. Roche, A. Perez-Riba and L. S. Itzhaki, *Chem Sci*, **2021**, *12*, 880-895.
- [17] C. Oi, Z. Gidden, L. Holyoake, O. Kantelberg, S. Mochrie, M. H. Horrocks and L. Regan, *Commun Biol*, **2020**, *3*, 458.
- [18] T. Kajander, A. L. Cortajarena, S. Mochrie and L. Regan, *Acta Crystallogr D Biol Crystallogr*, **2007**, *63*, 800-811.

- [19] T. Z. Grove, L. Regan and A. L. Cortajarena, *J R Soc Interface*, **2013**, *10*, 20130051.
- [20] D. Sánchez-deAlcázar, S. Velasco-Lozano, N. Zeballos, F. López-Gallego and A. L. Cortajarena, *ChemBioChem*, **2019**, *20*, 1977-1985.
- [21] D. Sanchez-deAlcazar, S. H. Mejias, K. Erazo, B. Sot and A. L. Cortajarena, *Struct Biol*, **2018**, *201*, 118-129.
- [22] I. Rivilla, M. Odriozola-Gimeno, A. Aires, A. Gimeno, J. Jiménez-Barbero, M. Torrent-Sucarrat, A. L. Cortajarena and F. P. Cossío, *J Am Chem Soc*, **2020**, *142*, 762-776.
- [23] A. Freeman, *Biomimetics*, **2017**, *2*, 14.
- [24] V. Nanda and R. L. Koder, *Nat Chem*, **2010**, *2*, 15-24.
- [25] E. Lopez-Martinez, D. Gianolio, S. Garcia-Orrit, V. Vega-Mayoral, J. Cabanillas-Gonzalez, C. Sanchez-Cano and A. L. Cortajarena, *Adv Optical Mater*, **2022**, *10*, 10.
- [26] S. H. Mejias, J. López-Andarias, T. Sakurai, S. Yoneda, K. P. Erazo, S. Seki, C. Atienza, N. Martín and A. L. Cortajarena, *Chem Sci*, **2016**, *7*, 4842-4847.
- [27] R. A. Cáceres, T. Chavez, D. Maestro, A. R. Palanca, P. Bolado, F. Madrazo, A. Aires, A. L. Cortajarena and A. V. Villar, *J Mol Cell Cardiol*, **2018**, *123*, 75-87.
- [28] J. López-Andarias, S. H. Mejías, T. Sakurai, W. Matsuda, S. Seki, F. Feixas, S. Osuna, C. Atienza, N. Martín and A. L. Cortajarena, *Adv Funct Mat*, **2018**, *28*, 1704031.
- [29] S. H. Mejias, P. Couleaud, S. Casado, D. Granados, M. A. Garcia, J. M. Abad and A. L. Cortajarena, *Colloids Surf B Biointerfaces*, **2016**, *141*, 93-101.
- [30] S. H. Mejias, E. López-Martínez, M. Fernandez, P. Couleaud, A. Martín-Lasanta, D. Romera, A. Sanchez-Iglesias, S. Casado, M. R. Osorio, J. M. Abad, M. T. González and A. L. Cortajarena, *Nanoscale*, **2021**, *13*, 6772-6779.
- [31] M. Liutkus, A. López-Andarias, S. H. Mejías, J. López-Andarias, D. Gil-Carton, F. Feixas, S. Osuna, W. Matsuda, T. Sakurai, S. Seki, C. Atienza, N. Martín and A. L. Cortajarena, *Nanoscale*, **2020**, *12*, 3614-3622.
- [32] A. Aires, M. Möller and A. L. Cortajarena, *Chem Mater*, **2020**, *32*, 5729-5738.
- [33] S. H. Mejias, Z. Bahrami-Dizicheh, M. Liutkus, D. J. Sommer, A. Astashkin, G. Kodis, G. Ghirlanda and A. L. Cortajarena, *Chem Commun*, **2019**, *55*, 3319-3322.
- [34] P. Couleaud, S. Adan-Bermudez, A. Aires, S. H. Mejías, B. a. Sot, A. Somoza and A. L. Cortajarena, *Biomacromolecules*, **2015**, *16*, 3836-3844.
- [35] A. Aires, I. Llarena, M. Moller, J. Castro-Smirnov, J. Cabanillas-Gonzalez and A. L. Cortajarena, *Angew Chem Int Ed Engl*, **2019**, *58*, 6214-6219.
- [36] A. Aires, E. Lopez-Martinez and A. L. Cortajarena, *Biosensors*, **2018**, *8*, 110.
- [37] J. Groen, A. Palanca, A. Aires, J. J. Conesa, D. Maestro, S. Rehbein, M. Harkiolaki, A. V. Villar, A. L. Cortajarena and E. Pereiro, *Chem Sci*, **2021**, *12*, 15090-15103.
- [38] A. Aires, A. Sousaraei, M. Möller, J. Cabanillas-Gonzalez and A. L. Cortajarena, *Nano Lett*, **2021**, *21*, 9347-9353.
- [39] A. Aires, V. Fernández-Luna, J. Fernández-Cestau, R. D. Costa and A. L. Cortajarena, *Nano Letters*, **2020**, *20*, 2710-2716.
- [40] A. Aires, D. Maestro, J. Ruiz del Rio, A. R. Palanca, E. Lopez-Martinez, I. Llarena, K. Geraki, C. Sanchez-Cano, A. V. Villar and A. L. Cortajarena, *Chem Sci*, **2021**, *12*, 2480-2487.
- [41] T. Brunette, F. Parmeggiani, P.-S. Huang, G. Bhabha, D. C. Ekiert, S. E. Tsutakawa, G. L. Hura, J. A. Tainer and D. Baker, *Nature*, **2015**, *528*, 580-584.



INVESTIGACIÓN
QUÍMICA



Emilio Delgado
López-Cózar*

Alberto Martín-Martín**

Facultad de Comunicación
y Documentación
Universidad de Granada
Campus de Cartuja s/n, 18071
Granada

C-e: edelgado@ugr.es

Recibido: 23/01/2023

Aceptado: 12/04/2023

ORCID: 0000-0002-8184-551X

ORCID*: 0000-0002-0360-186X

Detectando patrones anómalos de publicación científica en España (I): Las evidencias empíricas

Emilio Delgado López-Cózar  y Alberto Martín-Martín 

Resumen: Se pretende descubrir si en los últimos años en España se han producido cambios sustanciales en sus patrones de publicación científica; más concretamente, en los medios de comunicación (editoriales y revistas) empleados para difundir los resultados de la investigación y en la tipología de publicaciones utilizadas. El estudio centrará el análisis en las publicaciones indexadas en la WoScc (Web of Science core collection) en tanto en cuanto esta fuente y su principal derivado bibliométrico el JCR (Journal Citation Reports) ha sido la elegida preferentemente en España para evaluar el rendimiento científico de sus investigadores. Se constata que el patrón de publicación española diverge del patrón de publicación mundial. Se han detectado cambios significativos y estos han ocurrido en los últimos años; se concretan en una concentración de publicaciones en editoriales y revistas de nuevo cuño, así como un empleo inusualmente alto de artículos de revisión. El ascenso de las editoriales MDPI, sobre todo, así como de Frontiers, es meteórico. En 2021, con el 14,6% de la producción española, MDPI ya se había convertido en la segunda editorial que más documentos publica, duplicando el peso que tiene esta editorial a nivel mundial. En 40 universidades fue la editorial más productiva, representando más del 20% del total publicado. La implantación de MDPI como una editorial preferente para los investigadores españoles se constata en todos los campos de conocimiento. Si en 2015 MDPI sólo figuraba entre el top 10 editoriales por producción en tres (de diez) campos generales, en 2021 figura ya entre las 10 primeras en todos los campos científicos. Asimismo, se detecta un comportamiento anómalo en el tipo de documentos publicados. La proporción de artículos de revisión por investigadores en España en Frontiers y MDPI cuadruplica y triplica (respectivamente) la proporción de uso de este tipo documental por investigadores en España en el conjunto de todas las editoriales.

Palabras clave: Comunicación científica, publicación científica, revistas científicas, editoriales científicas, tendencias de publicación, evaluación científica, evaluación rendimiento investigador, indicadores bibliométricos, Web of Science, Journal Citation Reports, MDPI, Frontiers, España

Abstract: The goal of this work is to ascertain whether academic publication patterns have significantly changed in the last few years in Spain. In particular, the analysis focuses on the publication venues (publishers and journals) and the document types that are chosen by researchers working in Spain to communicate their work. The Web of Science core collection (WoScc) is selected as a data source because this bibliographic database, as well the journal ranking that is derived from it (Journal Citation Reports) are the sources that have long been used in Spain to assess the performance of researchers. The results show that indeed, significant changes in the choice of publication venues can be observed in recent years. Specifically, compared to world trends, researchers working in Spain are disproportionately publishing in relatively young journals, created by relatively new publishers. An unusually high proportion of review articles is also identified. Works published by MDPI and Frontiers have seen a meteoric rise. In 2021, MDPI had already attained second place in the list of publishers with a higher number of documents published by Spanish researchers (14.6% of Spanish production), doubling the overall weight of this publisher worldwide. In 40 universities, MDPI was the most used publisher in 2021, responsible for over 20% of the production in these institutions. The establishment of MDPI as a preferred publisher for Spanish researchers is observed in all fields of knowledge. Although in 2015 MDPI was among the top 10 publishers (according to its production level) in three out of ten broad scientific fields, in 2021 it could already be found among the top 10 in all fields. Additionally, we observed differences in the distribution of document types in Frontiers and MDPI publications: the proportion of review articles published by researchers in Spain in these two publishers quadruples and triples (respectively) the overall proportion of review articles by researchers in Spain across all publishers.

Keywords: Scholarly communication, academic publishing, scientific journals, scientific publishers, publication trends, scientific evaluation, research performance evaluation, bibliometric indicators, Web of Science, Journal Citation Reports, MDPI, Frontiers, Spain

1. Justificación y objetivos

La pretensión de este trabajo es descubrir si en los últimos años en España se han producido cambios sustanciales en sus patrones de publicación científica; más concretamente, en los medios de comunicación (editoriales y revistas) empleados para difundir los resultados de la investigación y en la tipología de publicaciones adoptadas. El estudio centrará el análisis en las publicaciones indexadas en la *WoScC* (*Web of Science core collection*) en tanto en cuanto esta fuente y su principal derivado bibliométrico, el *JCR* (*Journal Citation Reports*), ha sido la elegida preferentemente por las agencias de evaluación, financiación, universidades, organismos de investigación y otras entidades (hospitales, unidades administrativas, museos, fundaciones, etc..) para evaluar el rendimiento científico de sus investigadores.

Nos interesa saber si nuestros patrones de publicación se alejan significativamente o no de los patrones que rigen la comunicación científica en el mundo y en el conjunto de países más avanzados en ciencia, aquellos a los que España mira como referentes y pretende emular. Disponer de unos comportamientos infrecuentes, poco comunes o no habituales implicaría simplemente constatar una rareza o singularidad que nos devolvería al viejo aforismo de *Spain is different*, que parecía ya olvidado. En principio, un comportamiento anómalo no tiene porqué denotar una calificación peyorativa, sino un atípico, divergente, inesperado, o sorprendente perfil de comunicación. Lo que importa por encima de todo es esclarecer las causas de esa anormalidad.

Este trabajo nace como respuesta a la necesidad de ofrecer más luz a la agria y atronadora polémica generada por el informe "*Análisis bibliométrico e impacto de las editoriales open-access en España*"^[1] y un artículo anejo centrado en las prácticas editoriales y de autocitación de la editorial *MDPI*^[2-4]. Patrocinado por la *ANECA* con la intención de buscar evidencias sobre posibles anomalías editoriales y bibliométricas en la publicación científica española difundida en revistas *JCR*, los resultados quedaron opacados por la cuestionable metodología empleada y el desatinado listado de "revistas de editoriales de suscripción con comportamiento no estándar".

A pesar de ello en el informe se ofrecían algunos indicios sólidos sobre cambios importantes en los comportamientos de publicación, y, muy concretamente, en las solicitudes de sexenios donde se constataba un incremento desahogado de artículos publicados en revistas con escasa tradición editorial, con fronteras disciplinares (ámbitos de cobertura) muy difusos y publicadas en acceso abierto a partir del pago de unas tasas por publicación (APC); revistas, en último caso, que resultaban bastante desconocidas en los distintos campos de conocimiento.

Pues bien, utilizando otro enfoque y con la idea de ofrecer datos adicionales que corroboren este fenómeno surge este estudio.

2. Fuentes de datos

Para extraer datos que puedan visualizar los comportamientos de publicación de los investigadores españoles en los últimos años hemos consultado dos fuentes:

- La *Web of Science core collection* (*WoScC*) ha sido la fuente preferente, en tanto en cuanto es a partir de este conjunto de revistas de donde se obtienen las revistas a las que se calculará el *JIF* (*Journal Impact Factor*) y su cuartil correspondiente en los *JCR*, fuente de referencia para el sistema español de evaluación científica.
- *Scilit* (*Scientific Literature*). Es una base de datos de reciente creación patrocinada por *MDPI* y que, a partir de datos fundamentalmente de *Crossref*, *Pubmed* y algunos propios, permite visualizar la producción de países y editoriales de manera bastante precisa. Es de especial interés para este trabajo pues registra exhaustivamente toda la producción generada por *MDPI* y por otras editoriales emergentes no tan bien representadas en las bases de datos tradicionales. Por supuesto, también indiza la producción de las principales editoriales científicas del mundo así como las españolas.

El período de tiempo abarcado por nuestras pesquisas se ha limitado a la última década (2012-2021). Dependiendo de la variable analizada se toma la década completa, el quinquenio (2017-2021), o el último año (2021), pues son los años donde se han producido los cambios más profundos del sistema de acreditación del profesorado de la *ANECA* (2015, 2017, 2019) y, donde, por dicha razón es posible que se hayan producido más transformaciones. A veces hemos limitado el análisis al último bienio (2020-2021) para constatar fidedignamente la situación actual.

Se han tomado como unidades de análisis los países, las editoriales, las revistas, los tipos documentales y los dominios temáticos. Para el análisis temático se ha utilizado el nuevo esquema de clasificación a nivel de documentos introducido por la *Web of Science* en 2020¹. El nuevo método clasifica los documentos según su afinidad temática basada en las referencias bibliográficas citadas y las citas recibidas por un documento (relación citado/citante). El algoritmo, creado por el *CWTS* (*Centre for Science and Technology Studies* de la Universidad de Leiden)^[5], establece tres niveles jerárquicos de categorización: *macrotopics*, *mesotopics* y *microtopics*. A día de hoy existen 2457 *microtopics*, cada uno asignado a uno de 326 *mesotopics*, y estos a su vez asociados a uno de 10 *macrotopics*. Cada documento es asignado a un solo *microtopic*. Aquí se ha optado por circunscribir el análisis al nivel de *macrotopics*, ofreciendo sólo resultados para los *mesotopics* de una sola área general (*Chemistry*), atendiendo al interés que pueden despertar los resultados para los lectores de la revista.

Los datos se han recogido en distintas fechas de noviembre-diciembre de 2021 y enero de 2022. Para el análisis temático los datos se recogieron en febrero de 2023.

1 <https://clarivate.com/blog/introducing-citation-topics>

3. Resultados

3.1 Patrones de publicación científica mundial en la Web of Science core collection

Para conocer cuáles son los patrones mundiales de publicación científica que refleja la WoSc basta con analizar la evolución de la producción científica por países en la última década (2012-2021) (Tabla 1).

Un simple vistazo a la tabla denota una enorme estabilidad respecto al número de publicaciones producidas por los 20 países más productivos. Los mismos países que figuraban en el top 20 en 2012 siguen estando en 2021, excepto Irán que sustituye en la lista a Taiwán. Los cambios registrados son más bien de posición que de porcentaje de producción a excepción de China, la India e Irán que duplican su producción en esta década. A pesar de todo no se producen modificaciones abruptas en las posiciones, aunque si se aprecian tendencias ascendentes o descendentes.

A efectos de este trabajo lo que nos interesa es ver cuál es la posición ocupada por España y su contribución productiva. Pues bien, la estabilidad es el trazo preponderante: si en 2012 España ocupa el puesto número 9 con el 3,42% de la producción mundial, en 2021 figura en el puesto 10 con el 3,69%; ha pasado de 89.355 documentos en 2012 a 116.830 en 2021, lo cual supone un crecimiento del 30,7%.

3.2 Editoriales más productivos: el fulgurante crecimiento de las editoriales de nuevo cuño (MDPI, Frontiers).

Averiguado cuál es el patrón de publicación de España, su posición y porcentaje de publicación en el mundo (Tabla 1), vamos a observar si dicho patrón se reproduce básicamente cuando analizamos las top 10 principales casas editoriales donde publican los investigadores españoles y comprobar si lo hacen de manera similar a los investigadores de los 20 principales países del mundo por producción científica (Tabla 2).

Un análisis de la posición que ocupa España en las 10 editoriales más importantes del mundo por volumen productivo (representan dos tercios de lo publicado en 2021) es muy significativo. España se sitúa entre los puestos 10 y 13, viniendo a coincidir con su potencial productivo global (10), aunque casi siempre representando en las editoriales más reputadas un porcentaje de publicación inferior a la media española a nivel general (3,69%), salvo en los casos de *Elsevier* y *Oxford University Press*, que se encuentran ligeramente por encima de la media. La excepción a este panorama es la editorial *MDPI*, donde España se sitúa en el puesto 4, muy por encima del décimo puesto ocupado por España en general por potencial productivo; y, lo que es más trascendente, con un porcentaje productivo en esta editorial del 8%, llegando a duplicar la tasa general de publicación de España en la WoSc. También en la editorial *Frontiers* España ocupa una

Tabla 1. Porcentaje de publicaciones indexadas en la Web of Science core collection por países y años (2012-2021)

2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018		2019		2020		2021		
Países	% doc																			
1	USA	26,154	USA	25,742	USA	25,650	USA	25,071	USA	24,909	USA	24,313	USA	23,956	USA	23,956	USA	22,797	USA	22,797
2	CHINA	11,807	CHINA	12,430	CHINA	13,051	CHINA	13,703	CHINA	14,557	CHINA	15,235	CHINA	16,396	CHINA	18,031	CHINA	19,166	CHINA	21,131
3	ENGLAND	6,528	ENGLAND	6,627	ENGLAND	6,488	ENGLAND	6,684	ENGLAND	6,577	ENGLAND	6,571	ENGLAND	6,506	ENGLAND	6,541	ENGLAND	6,386	ENGLAND	6,502
4	GERMANY	6,051	GERMANY	5,966	GERMANY	5,995	GERMANY	5,964	GERMANY	5,967	GERMANY	5,851	GERMANY	5,839	GERMANY	5,788	GERMANY	5,623	GERMANY	5,806
5	JAPAN	4,693	JAPAN	4,587	JAPAN	4,441	JAPAN	4,212	INDIA	4,313	INDIA	4,267	INDIA	4,383	INDIA	4,367	INDIA	4,915	INDIA	5,286
6	FRANCE	4,125	FRANCE	4,142	FRANCE	4,118	INDIA	4,147	JAPAN	4,277	JAPAN	4,169	JAPAN	4,240	JAPAN	3,976	ITALY	4,302	ITALY	4,327
7	CANADA	3,913	CANADA	3,898	CANADA	3,921	FRANCE	4,090	FRANCE	4,014	FRANCE	3,899	ITALY	3,883	ITALY	3,953	JAPAN	3,891	JAPAN	3,998
8	ITALY	3,678	ITALY	3,784	ITALY	3,900	ITALY	3,992	ITALY	3,947	ITALY	3,878	CANADA	3,851	CANADA	3,857	CANADA	3,878	CANADA	3,901
9	SPAIN	3,425	INDIA	3,477	INDIA	3,897	CANADA	3,888	CANADA	3,818	CANADA	3,815	FRANCE	3,838	FRANCE	3,700	FRANCE	3,625	AUSTRALIA	3,759
10	AUSTRALIA	3,132	SPAIN	3,420	AUSTRALIA	3,414	AUSTRALIA	3,543	AUSTRALIA	3,556	AUSTRALIA	3,493	AUSTRALIA	3,577	AUSTRALIA	3,623	AUSTRALIA	3,668	SPAIN	3,445
11	INDIA	3,122	AUSTRALIA	3,336	SPAIN	3,404	SPAIN	3,416	SPAIN	3,338	SPAIN	3,391	SPAIN	3,419	SPAIN	3,444	SPAIN	3,571	FRANCE	3,607
12	SOUTH KOREA	2,728	SOUTH KOREA	2,684	SOUTH KOREA	2,753	SOUTH KOREA	2,772	SOUTH KOREA	2,732	SOUTH KOREA	2,672	RUSSIA	2,804	RUSSIA	2,785	BRAZIL	2,790	SOUTH KOREA	2,884
13	BRAZIL	2,257	BRAZIL	2,322	BRAZIL	2,338	BRAZIL	2,411	BRAZIL	2,414	RUSSIA	2,583	SOUTH KOREA	2,700	SOUTH KOREA	2,698	SOUTH KOREA	2,728	BRAZIL	2,725
14	NETHERLANDS	2,159	NETHERLANDS	2,185	NETHERLANDS	2,169	NETHERLANDS	2,151	RUSSIA	2,389	BRAZIL	2,499	BRAZIL	2,595	RUSSIA	2,623	RUSSIA	2,652	RUSSIA	2,291
15	RUSSIA	1,705	RUSSIA	1,760	RUSSIA	1,917	RUSSIA	2,132	NETHERLANDS	2,130	NETHERLANDS	2,096	NETHERLANDS	2,145	NETHERLANDS	2,156	NETHERLANDS	2,108	NETHERLANDS	2,185
16	SWITZERLAND	1,550	TURKEY	1,595	SWITZERLAND	1,607	TURKEY	1,699	TURKEY	1,726	IRAN	1,710	IRAN	1,742	IRAN	1,844	IRAN	2,017	IRAN	2,031
17	TAIWAN	1,533	SWITZERLAND	1,564	TURKEY	1,596	SWITZERLAND	1,638	SWITZERLAND	1,637	SWITZERLAND	1,672	SWITZERLAND	1,678	TURKEY	1,671	TURKEY	1,840	TURKEY	2,006
18	TURKEY	1,519	TAIWAN	1,498	POLAND	1,453	POLAND	1,517	IRAN	1,600	TURKEY	1,601	POLAND	1,624	SWITZERLAND	1,660	SWITZERLAND	1,643	SWITZERLAND	1,691
19	POLAND	1,358	POLAND	1,377	TAIWAN	1,434	IRAN	1,429	POLAND	1,578	POLAND	1,550	TURKEY	1,607	POLAND	1,568	POLAND	1,599	POLAND	1,645
20	SWEDEN	1,345	SWEDEN	1,347	IRAN	1,394	SWEDEN	1,407	SWEDEN	1,422	SWEDEN	1,422	SWEDEN	1,418	SWEDEN	1,435	SWEDEN	1,403	SWEDEN	1,446

Tabla 2. Porcentaje de publicación de los top 20 países en las top 10 editoriales indexadas en la Web of Science core collection en 2021

ELSEVIER		SPRINGER NATURE		WILEY		MDPI		TAYLOR & FRANCIS		IEEE		SAGE		FRONTIERS		OXFORD UNIV PRESS		LIPPICONTT WILLIAMS...		
Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	Países	% doc	
1	CHINA	27,581	CHINA	20,103	USA	26,696	CHINA	16,623	USA	23,222	CHINA	36,652	USA	33,808	CHINA	39,122	USA	37,591	USA	51,726
2	USA	22,624	USA	19,598	CHINA	18,237	USA	12,930	CHINA	15,326	USA	21,147	CHINA	12,134	USA	20,707	ENGLAND	15,084	CHINA	9,879
3	INDIA	6,275	GERMANY	8,143	ENGLAND	8,995	ITALY	10,018	ENGLAND	9,049	INDIA	6,132	ENGLAND	10,218	GERMANY	7,844	CHINA	8,615	CANADA	4,987
4	ENGLAND	6,013	INDIA	7,979	GERMANY	6,910	SPAIN	7,898	INDIA	6,275	ENGLAND	5,237	CANADA	5,768	ENGLAND	6,135	GERMANY	7,228	ENGLAND	4,898
5	GERMANY	4,877	ENGLAND	6,139	AUSTRALIA	6,472	SOUTH KOREA	6,776	AUSTRALIA	5,487	SOUTH KOREA	4,818	AUSTRALIA	5,732	ITALY	6,032	ITALY	5,933	ITALY	3,637
6	FRANCE	4,539	JAPAN	4,769	JAPAN	5,253	GERMANY	6,770	CANADA	4,372	CANADA	4,779	INDIA	4,178	SPAIN	4,015	CANADA	5,242	GERMANY	3,307
7	ITALY	4,290	ITALY	4,744	CANADA	4,556	POLAND	6,616	GERMANY	3,551	GERMANY	4,767	GERMANY	4,046	FRANCE	3,944	AUSTRALIA	4,939	JAPAN	3,262
8	CANADA	4,108	CANADA	3,819	ITALY	4,110	ENGLAND	4,404	ITALY	3,223	JAPAN	4,618	ITALY	3,376	CANADA	3,920	FRANCE	4,845	AUSTRALIA	2,963
9	AUSTRALIA	4,019	FRANCE	3,733	INDIA	3,968	JAPAN	3,824	TURKEY	2,979	AUSTRALIA	3,718	NETHERLANDS	2,532	AUSTRALIA	3,714	JAPAN	4,751	FRANCE	2,834
10	SPAIN	3,774	IRAN	3,451	FRANCE	3,768	FRANCE	3,703	IRAN	2,930	ITALY	3,691	SPAIN	2,451	JAPAN	3,108	SPAIN	4,402	SPAIN	2,497
11	JAPAN	3,693	AUSTRALIA	3,381	SPAIN	3,282	AUSTRALIA	3,154	SPAIN	2,700	FRANCE	3,229	TURKEY	2,225	NETHERLANDS	3,010	NETHERLANDS	4,171	SOUTH KOREA	2,362
12	BRAZIL	3,077	SPAIN	2,985	NETHERLANDS	2,844	TAIWAN	3,136	BRAZIL	2,402	TAIWAN	2,534	JAPAN	1,959	SWITZERLAND	2,519	SWITZERLAND	2,815	NETHERLANDS	2,280
13	SOUTH KOREA	2,861	BRAZIL	2,946	BRAZIL	2,409	RUSSIA	3,021	JAPAN	2,271	SPAIN	2,468	FRANCE	1,883	BRAZIL	2,511	SWEDEN	2,350	INDIA	1,994
14	IRAN	2,633	RUSSIA	2,893	SOUTH KOREA	2,344	CANADA	2,884	FRANCE	2,242	SINGAPORE	2,029	SOUTH KOREA	1,756	INDIA	2,250	SCOTLAND	2,240	BRAZIL	1,613
15	NETHERLANDS	2,323	NETHERLANDS	2,558	SWITZERLAND	2,007	SAUDI ARABIA	2,814	NETHERLANDS	2,202	BRAZIL	1,811	SWEDEN	1,647	SOUTH KOREA	1,962	BELGIUM	2,222	SWITZERLAND	1,526
16	TURKEY	1,716	TURKEY	2,539	TURKEY	1,944	PORTUGAL	2,315	SWEDEN	1,983	SAUDI ARABIA	1,651	IRAN	1,573	SWEDEN	1,888	INDIA	2,138	TURKEY	1,392
17	SAUDI ARABIA	1,621	SOUTH KOREA	2,289	SWEDEN	1,899	INDIA	1,992	SOUTH AFRICA	1,900	NETHERLANDS	1,539	SWITZERLAND	1,500	BELGIUM	1,601	BRAZIL	2,103	BELGIUM	1,230
18	SWITZERLAND	1,600	SWITZERLAND	2,001	IRAN	1,674	BRAZIL	1,960	SOUTH KOREA	1,840	IRAN	1,533	BRAZIL	1,446	TAIWAN	1,448	DENMARK	1,950	TAIWAN	1,209
19	RUSSIA	1,546	SWEDEN	1,649	DENMARK	1,495	NETHERLANDS	1,938	BELGIUM	1,363	RUSSIA	1,470	SCOTLAND	1,387	NORWAY	1,393	RUSSIA	1,352	SWEDEN	999
20	SWEDEN	1,413	EGYPT	1,412	BELGIUM	1,446	ROMANIA	1,811	NORWAY	1,271	SWEDEN	1,309	DENMARK	1,309	AUSTRIA	1,344	PORTUGAL	1,327	PORTUGAL	0,876

posición por encima de la media, aunque con un porcentaje de publicación similar a la media general española.

A fin de visualizar en qué medida el comportamiento editorial de nuestro país diverge o no del patrón de publicación mundial, procederemos a comparar la evolución de porcentaje de publicación por editorial en el mundo (Tabla 3, columna azul) con el de España en los últimos siete años (Tabla 3, columna sepia). Más concretamente pondremos el foco en la editorial MDPI (celdas amarillas) que es la que muestra un patrón de publicación más atípico.

Los datos de la tabla 3 evidencian que desde 2015 el peso de las publicaciones de investigadores españoles en la editorial MDPI ha estado siempre por encima del valor de esta editorial en el mundo, pero se ha desorbitado en los últimos años: si en 2015 la producción española en esta editorial superaba en tres décimas (0,9%) lo que representaba su producción en el mundo (0,6%), en 2021 la duplica (14,6% frente a 6,7%). Un signo más de la importancia adquirida por MDPI para España es que ya en 2020 se había convertido en la segunda editorial que más documentos publica de autores españoles. Desde 2015 el número de publicaciones españolas en la editorial MDPI ha crecido un 1.873%. Este espectacular incremento no es distinto, aunque sí bastante más acusado, del producido a nivel internacional: MDPI es en 2021 la cuarta editorial con más publicaciones en la WoScc, con un crecimiento desde 2015 del 1.246%.

Igualmente llamativo ha sido el aumento protagonizado por *Frontiers*. Si en 2015 atraía el 0,6% de la producción española en la WoScc, en 2021 ya captaba el 2,7%, un gran salto desde el puesto 25 que ocupaba en 2015 dentro de las preferencias de los investigadores españoles hasta la séptima posición conquistada en 2021. No obstante, su crecimiento (518%) ha sido ligeramente inferior al producido a nivel mundial (637%), donde figura como la octava editorial más productiva.

3.3 Instituciones españolas más productivas en MDPI

Para saber en qué medida esta anómala distribución editorial ha penetrado en las instituciones científicas españolas

hemos averiguado cuáles son las editoriales más utilizadas para publicar y en qué proporción en los organismos de investigación españoles. Se ha incluido en el análisis el CSIC, -el principal organismo de investigación en España-, y 70 universidades españolas (Tablas 4a-b). En la tabla 4a se han ordenado por nivel de producción las universidades que han publicado por encima de la media española en la editorial MDPI. En la Tabla 4b se ha agrupado a aquellas universidades que publican por debajo de la media. De esta manera es más fácil observar el perfil editorial de cada institución de manera que pueda compararse con el perfil español (tabla 3) o con el de otras entidades, pero sobre todo permite detectar el nivel de anormalidad editorial de cada institución en términos de publicación en MDPI.

Un análisis somero de los datos alojados en las tablas 4a-b arroja las siguientes evidencias:

- En 2021 en la mayoría de las universidades (40) MDPI es ya la editorial que más artículos publica (Tabla 4a). Sólo en 7 universidades MDPI está por debajo de la segunda posición (Tabla 4b).
- Pero el dato que revela el extraordinario nivel de penetración que ha alcanzado MDPI en nuestras universidades es la proporción de artículos publicados por esta editorial: en 31 universidades españolas MDPI concentra más del 20% de la producción de la institución, y en siete llega a sobrepasar el 30% (Tabla 4a).
- Son universidades privadas las que encabezan el listado de instituciones donde MDPI ha alcanzado un mayor peso editorial (Tabla 4a). Por el contrario, son universidades públicas, generalistas y de dilatada trayectoria investigadora, salvo algunas excepciones, aquellas en las que las nuevas editoriales han encontrado menor acogida.

Desde una óptica distinta a la del grado de concentración o dispersión editorial de la producción científica de una institución, es muy elocuente identificar en términos de producción bruta cuáles son las instituciones que más documentos publican en MDPI (Tabla 5). Realmente este es el dato relevante para conocer cuáles son las instituciones que más negocio generan para la editorial. Pero, además, es muy significativo conocer en qué posición en el mundo se

Tabla 3. Evolución del porcentaje de publicación de España y el mundo en las top 25 editoriales indexadas en la Web of Science core collection (2015-2021)

	2015				2016				2017				2018				2019				2020				2021			
	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc	Mundo	% doc	España	% doc
1 Elsevier	17,202	Elsevier	22,145	Elsevier	17,198	Elsevier	22,500	Elsevier	17,642	Elsevier	21,830	Elsevier	17,681	Elsevier	21,040	Elsevier	17,396	Elsevier	20,512	Elsevier	18,630	Elsevier	20,084	Elsevier	21,315	Elsevier	21,891	
2 Springer	11,774	Springer	11,032	Springer	11,927	Springer	11,454	Springer	12,072	Springer	11,692	Springer	12,128	Springer	11,469	Springer	12,148	Springer	11,641	Springer	12,218	MDPI	11,228	Springer	12,108	MDPI	14,606	
3 Wiley	8,196	Wiley	8,558	Wiley	7,694	Wiley	7,594	Wiley	7,788	Wiley	8,279	Wiley	7,982	Wiley	8,033	Wiley	9,160	Wiley	8,788	Wiley	8,615	Springer	10,990	Wiley	9,027	Springer	9,686	
4 IEEE	7,149	IEEE	4,980	IEEE	7,094	IEEE	4,530	IEEE	7,033	IEEE	4,401	IEEE	6,724	IEEE	4,258	IEEE	6,205	MDPI	6,042	IEEE	4,997	Wiley	7,835	MDPI	6,667	Springer	7,665	
5 Taylor & ...	4,191	Taylor & ...	3,069	Taylor & ...	4,535	Taylor & ...	3,241	Taylor & ...	3,967	Oxford U.	2,971	Taylor & ...	3,802	MDPI	3,516	Taylor & ...	4,805	IEEE	3,776	MDPI	4,676	Taylor & ...	3,372	Taylor & ...	4,515	Taylor & ...	3,258	
6 Oxford U.	2,249	Oxford U.	2,621	Oxford U.	2,361	Oxford U.	2,968	Oxford U.	2,293	Taylor & ...	2,900	Oxford U.	2,452	Oxford U.	3,065	MDPI	2,998	Taylor & ...	3,622	Taylor & ...	4,605	IEEE	3,285	IEEE	3,588	Oxford U.	2,763	
7 Amer Che...	2,108	Amer Che...	1,818	Lippinc...	2,272	Amer Che...	1,717	Amer Che...	2,281	MDPI	1,902	Amer Che...	2,385	Taylor & ...	2,716	Sage	2,452	Oxford U.	2,924	Sage	2,478	Oxford U.	2,642	Sage	2,517	Frontier...	2,678	
8 Sage	1,997	Royal So...	1,536	Amer Che...	2,154	Royal So...	1,630	Lippinc...	2,052	Amer Che...	1,689	Lippinc...	2,127	Amer Che...	1,857	Oxford U.	2,402	Amer Che...	1,656	Lippinc...	2,372	Sage	1,831	Frontier...	2,414	IEEE	2,421	
9 Lippinc...	1,957	iop Publ...	1,418	Sage	2,042	Sage	1,334	Sage	1,964	iop Publ...	1,363	Sage	1,981	Lippinc...	1,990	Amer Che...	2,500	Sage	1,608	Oxford U.	2,556	Frontier...	1,798	Lippinc...	2,393	Sage	1,658	
10 Royal So...	1,528	Lippinc...	1,293	Royal So...	1,405	iop Publ...	1,302	iop Publ...	1,472	Lippinc...	1,187	MDPI	1,927	Frontier...	1,399	Frontier...	2,182	Frontier...	1,528	Amer Che...	1,834	Amer Che...	1,561	Oxford U.	2,263	Lippinc...	1,528	
11 Public L...	1,125	Public L...	1,254	iop Publ...	1,150	Lippinc...	1,269	Royal So...	1,149	Royal So...	1,274	iop Publ...	1,643	Sage	1,248	iop Publ...	1,654	Lippinc...	1,147	iop Publ...	1,400	Lippinc...	1,411	Amer Che...	1,909	Amer Che...	1,438	
12 Cambridg...	1,082	Sage	1,218	Cambridg...	0,975	MDPI	1,253	Routledg...	1,097	Sage	1,267	Royal So...	1,078	iop Publ...	1,163	Royal So...	1,083	Royal So...	1,078	Frontier...	1,374	Royal So...	1,109	Royal So...	1,287	Royal So...	1,140	
13 iop Publ...	1,071	Amer Phy...	1,069	Public L...	0,851	Amer Phy...	1,132	MDPI	1,095	Univ Com...	1,174	Cambridg...	1,007	Royal So...	1,081	Cambridg...	1,036	Bmj Publ...	1,047	Cambridg...	1,174	Cambridg...	1,081	iop Publ...	1,037	NATURE P...	0,985	
14 Amer Ins...	0,724	Univ Com...	1,040	Routledg...	0,829	Public L...	1,076	Cambridg...	1,070	Frontier...	1,081	Frontier...	0,859	Univ Com...	1,078	Frontier...	0,928	iop Publ...	1,028	Royal So...	1,126	iop Publ...	1,045	Bmj Publ...	0,986	iop Publ...	0,976	
15 Bmj Publ...	0,707	Edicione...	0,887	Atlantis...	0,783	Univ Com...	1,052	Amer Ins...	0,783	Amer Phy...	1,053	Amer Ins...	0,814	Amer Phy...	1,041	Bmj Publ...	0,904	Amer Phy...	1,008	Bmj Publ...	0,795	Amer Phy...	1,024	Cambridg...	0,882	Bmj Publ...	0,952	
16 Atlantis...	0,621	MDPI	0,871	Amer Ins...	0,759	Frontier...	0,863	Public L...	0,762	Public L...	0,986	Routledg...	0,772	Public L...	0,959	Amer Ins...	0,705	Univ Com...	0,906	Amer Phy...	0,647	Bmj Publ...	0,887	NATURE P...	0,845	Amer Phy...	0,906	
17 Hindawi ...	0,614	Ferrata ...	0,779	MDPI	0,728	Ferrata ...	0,857	Bmj Publ...	0,703	Ferrata ...	0,859	Bmj Publ...	0,751	Isted-in...	0,908	Assoc Co...	0,701	Public L...	0,787	Public L...	0,592	Univ Com...	0,841	Amer Phy...	0,642	Univ Com...	0,843	
18 Amer Phy...	0,610	Cambridg...	0,731	Bmj Publ...	0,692	Edicione...	0,768	Frontier...	0,627	Isted-in...	0,845	Assoc Co...	0,742	Bmj Publ...	0,812	Amer Phy...	0,584	Isted-in...	0,721	Amer Ins...	0,585	Edicione...	0,751	Hindawi ...	0,609	Cambridg...	0,808	
19 Routledg...	0,573	Bmj Publ...	0,667	Amer Phy...	0,610	Cambridg...	0,720	Amer Phy...	0,611	Bmj Publ...	0,772	Public L...	0,678	Edicione...	0,731	Public L...	0,564	Edicione...	0,690	Hindawi ...	0,573	Public L...	0,644	Emerald ...	0,597	Edicione...	0,692	
20 MDPI	0,556	Frontier...	0,578	Walter D...	0,529	Bmj Publ...	0,682	Atlantis...	0,609	Edicione...	0,609	Amer Phy...	0,615	Cambridg...	0,605	Emerald ...	0,526	Consejo ...	0,677	Emerald ...	0,558	Consejo ...	0,624	Public L...	0,537	Consejo ...	0,595	
21 Spie-int...	0,543	Consejo ...	0,554	Hindawi ...	0,522	Consejo ...	0,602	Assoc Co...	0,524	Cambridg...	0,719	Hindawi ...	0,526	Ferrata ...	0,596	Routledg...	0,476	Cambridg...	0,653	Routledg...	0,505	Ferrata ...	0,550	Thieme M...	0,474	Ferrata ...	0,538	
22 Walter D...	0,466	IATED-IN...	0,528	Spie-int...	0,494	IATED-IN...	0,567	Walter D...	0,457	Routledg...	0,461	Walter D...	0,478	Ferrata ...	0,582	Hindawi ...	0,443	Ferrata ...	0,622	Walters ...	0,468	Edg Scie...	0,466	Walter D...	0,361	Public L...	0,532	
23 Karger	0,419	Hindawi ...	0,516	Assoc Co...	0,486	Amer Ins...	0,496	Emerald ...	0,453	Karger	0,453	Spie-int...	0,454	Assoc Co...	0,520	Walter D...	0,434	Assoc Co...	0,464	Thieme M...	0,443	Emerald ...	0,453	Dove Med...	0,339	Edg Scie...	0,505	
24 Thieme M...	0,414	Amer Ins...	0,483	Frontier...	0,477	Edg Scie...	0,493	Spie-int...	0,444	Consejo ...	0,416	Spie-int...	0,422	Amer Ins...	0,421	Walters ...	0,422	Emerald ...	0,459	Walters ...	0,335	Karger	0,439	Walters ...	0,299	Emerald ...	0,481	
25 Frontier...	0,394	Edg Scie...	0,452	Thieme M...	0,409	Edit Um...	0,432	Hindawi ...	0,438	Edg Scie...	0,396	Karger	0,379	Consejo ...	0,405	Spie-int...	0,409	Edg Scie...	0,391	Amer Ass...	0,326	Edit Um...	0,383	Optical ...	0,292	Iustel	0,321	

Tabla 4a. Porcentaje de publicación de universidades españolas en las 10 editoriales más empleadas por cada institución en 2021 según la Web of Science core collection

UCAVILA	% doc	UAX	% doc	Loyola	% doc	San Jorge	% doc	UEX	% doc	UPCT	% doc	UAL	% doc	Mondragon	% doc	Eur. Mad.	% doc
Mdpi	71,111	Mdpi	42,391	Mdpi	33,333	Mdpi	30,370	Mdpi	30,323	Mdpi	29,607	Mdpi	29,148	Mdpi	27,857	Mdpi	27,586
Elsevier	13,333	Wiley	15,217	Elsevier	13,109	Elsevier	12,593	Elsevier	15,293	Elsevier	22,981	Elsevier	18,086	Elsevier	24,286	Elsevier	16,192
Frontiers ...	2,222	Elsevier	6,522	Springer N...	8,240	Springer N...	10,370	Springer N...	8,240	Springer N...	8,075	Springer N...	8,955	IEEE	12,857	Wiley	10,495
INST BADAN...	2,222	Springer N...	6,522	Taylor & F...	7,116	Sage	5,926	Wiley	5,735	IEEE	5,176	Wiley	6,848	Springer N...	7,143	Springer N...	6,747
Ijphy Publ...	2,222	Frontiers ...	3,261	IEEE	5,618	Frontiers ...	5,185	IEEE	5,142	Taylor & F...	4,762	Taylor & F...	4,829	Federacion...	4,286	Taylor & F...	4,198
Karger	2,222	Consejo Su...	2,174	Frontiers ...	4,120	Lippincott...	4,444	Taylor & F...	3,889	Wiley	4,348	Frontiers ...	4,478	Wiley	3,571	Frontiers ...	3,898
Lippincott...	2,222	Lippincott...	2,174	Wiley	2,247	Taylor & F...	3,704	Frontiers ...	2,966	Emerald Gr...	1,863	Sage	2,195	Taylor & F...	2,857	Oxford Uni...	2,249
Springer N...	2,222	Medicina O...	2,174	Emerald Gr...	1,873	Univ Compl...	2,963	Sage	1,846	Sage	1,656	IEEE	1,054	Frontiers ...	2,143	Ediciones ...	2,099
Wiley	2,222	Public Lib...	2,174	Public Lib...	1,873	Wiley	2,963	Federacion...	1,055	Frontiers ...	1,449	Amer Chemi...	0,878	Emerald Gr...	1,429	Lippincott...	2,099
		Public Lib...	2,174	Sage	1,873	Bmj Publis...	2,222	Oxford Uni...	0,857	Amer Inst ...	1,242	Univ Compl...	0,878	Iop Publis...	1,429	Sage	2,099

UCAM	% doc	Comillas	% doc	UEMC	% doc	UJA	% doc	UVI	% doc	UCV	% doc	UCO	% doc	UMH	% doc	UBU	% doc
Mdpi	26,834	Mdpi	25,989	Mdpi	25,758	Mdpi	25,790	Mdpi	25,025	Mdpi	24,576	Mdpi	24,147	Mdpi	23,793	Elsevier	26,706
Elsevier	14,286	Elsevier	16,384	Elsevier	13,636	Elsevier	19,052	Elsevier	24,006	Elsevier	14,407	Elsevier	22,234	Elsevier	16,345	Mdpi	23,782
Springer N...	7,336	Springer N...	7,062	Frontiers ...	7,576	Springer N...	9,151	Springer N...	8,053	Springer N...	9,887	Springer N...	8,635	Springer N...	12,966	Springer N...	6,043
Wiley	6,950	Taylor & F...	6,780	Taylor & F...	6,061	Wiley	5,408	Wiley	5,963	Wiley	9,040	Wiley	8,170	Wiley	8,897	Wiley	4,288
Taylor & F...	5,405	Wiley	5,085	Wiley	4,545	Taylor & F...	4,825	Taylor & F...	5,861	Frontiers ...	4,802	Taylor & F...	4,240	Frontiers ...	5,655	Taylor & F...	3,509
Lippincott...	3,282	Sage	3,672	Amer Geoph...	3,030	Frontiers ...	2,829	IEEE	2,548	Sage	3,107	Frontiers ...	3,102	Taylor & F...	3,931	Frontiers ...	2,534
Thieme Med...	1,931	Frontiers ...	3,107	Cambridge ...	3,030	IEEE	2,496	Frontiers ...	2,396	Taylor & F...	2,825	Sage	1,396	Sage	2,690	Amer Chemi...	2,339
Frontiers ...	1,737	Emerald Gr...	1,977	Federacion...	3,030	Sage	1,830	Amer Chemi...	1,478	Federacion...	1,412	Bmj Publis...	1,293	Lippincott...	2,276	Royal Soc ...	2,144
Edizioni M...	1,544	IEEE	1,977	Lippincott...	3,030	Emerald Gr...	1,498	Royal Soc ...	1,325	Amer Chemi...	1,130	Oxford Uni...	1,241	Oxford Uni...	2,207	Sage	1,559
Federacion...	1,544	Public Lib...	1,695	Springer N...	3,030	Univ Compl...	1,165	Sage	1,172	Lippincott...	1,130	NATURE POR...	1,086	IEEE	1,448	Federacion...	1,365

UPV	% doc	UPM	% doc	URIOJA	% doc	UCA	% doc	UCLM	% doc	Oliba CEU	% doc	San Pablo CEI	% doc	UHU	% doc	UPNA	% doc
Mdpi	23,651	Mdpi	23,242	Mdpi	22,864	Mdpi	22,857	Mdpi	22,782	Mdpi	22,222	Mdpi	22,022	Mdpi	21,516	Mdpi	21,387
Elsevier	23,085	Elsevier	22,714	Elsevier	16,397	Elsevier	22,360	Elsevier	20,401	Springer N...	14,815	Wiley	17,303	Elsevier	19,350	Elsevier	16,763
Springer N...	9,793	Springer N...	9,177	Wiley	11,085	Springer N...	10,124	Springer N...	9,897	Elsevier	11,111	Elsevier	13,258	Springer N...	8,390	Springer N...	10,867
Wiley	6,229	IEEE	7,947	Springer N...	5,774	Wiley	7,764	Wiley	8,543	Asean Fede...	7,407	Springer N...	10,112	Taylor & F...	5,413	Wiley	8,902
IEEE	6,129	Wiley	5,485	Taylor & F...	4,388	Taylor & F...	3,665	Taylor & F...	4,482	Artseduca	3,704	Univ San P...	2,697	Wiley	4,465	IEEE	6,358
Taylor & F...	4,264	Taylor & F...	3,270	Amer Chemi...	3,002	Frontiers ...	2,671	Sage	2,381	Colegio Of...	3,704	Bmj Publis...	2,022	Frontiers ...	2,300	Taylor & F...	4,855
Sage	2,365	Frontiers ...	2,743	Frontiers ...	2,309	Oxford Uni...	1,925	Frontiers ...	2,288	EDICIONES ...	3,704	Sage	2,022	Sage	2,165	Frontiers ...	2,775
Amer Chemi...	1,965	Oxford Uni...	1,547	Royal Soc ...	2,079	Amer Chemi...	1,429	IEEE	2,897	Fundacio C...	3,704	Frontiers ...	1,798	Amer Physi...	1,488	Sage	1,734
Frontiers ...	1,899	Cambridge ...	1,336	Sage	1,617	Sage	1,429	Univ Compl...	0,980	Gobierno C...	3,704	NATURE POR...	1,348	Univ Compl...	1,488	Emerald Gr...	1,618
Royal Soc ...	1,666	Amer Physi...	1,160	Emerald Gr...	1,386	Emerald Gr...	1,180	Cambridge ...	0,887	Intellect ...	3,704	Oxford Uni...	1,348	Consejo Su...	1,218	Oxford Uni...	1,618

ULPGC	% doc	UDL	% doc	URJC	% doc	UNILEON	% doc	USAL	% doc	UNIZAR	% doc	UMU	% doc	CJC	% doc	UA	% doc
Elsevier	23,018	Elsevier	23,614	Mdpi	20,241	Elsevier	21,706	Mdpi	19,652	Mdpi	19,280	Mdpi	19,180	Mdpi	18,966	Mdpi	19,150
Mdpi	21,145	Mdpi	21,047	Elsevier	17,027	Mdpi	20,186	Elsevier	16,622	Elsevier	19,018	Elsevier	14,314	Springer N...	12,644	Elsevier	16,610
Springer N...	10,132	Springer N...	10,164	Springer N...	8,589	Wiley	9,202	Springer N...	9,447	Springer N...	9,558	Springer N...	10,092	Elsevier	8,046	Springer N...	9,966
Taylor & F...	5,176	Wiley	8,624	Wiley	8,488	Springer N...	9,122	Wiley	7,487	Wiley	7,070	Wiley	8,605	Taylor & F...	8,046	Wiley	8,207
Wiley	5,066	Taylor & F...	5,441	Taylor & F...	6,228	Taylor & F...	3,632	Taylor & F...	4,367	Taylor & F...	5,957	Taylor & F...	5,388	Wiley	5,172	Taylor & F...	4,983
Frontiers ...	2,753	Frontiers ...	2,875	IEEE	3,365	Frontiers ...	2,872	Frontiers ...	2,897	IEEE	2,848	Frontiers ...	3,538	Frontiers ...	4,598	Sage	2,394
Sage	2,203	Sage	1,848	Frontiers ...	2,863	Oxford Uni...	2,534	Sage	1,783	Amer Chemi...	2,455	Edit Um-Ed...	1,890	Univ Compl...	4,023	Frontiers ...	2,296
IEEE	1,872	NATURE POR...	0,924	Sage	1,808	Sage	1,605	Ediciones ...	1,738	Frontiers ...	2,193	Oxford Uni...	1,689	Sage	2,299	Oxford Uni...	1,905
Desalinati...	1,211	Univ Illes...	0,924	Oxford Uni...	1,557	Bmj Publis...	1,267	Ferrata St...	1,649	Royal Soc ...	2,160	Sage	1,649	Alboran Ed...	1,724	IEEE	1,661
Oxford Uni...	1,211	Bmj Publis...	0,719	Univ Compl...	1,557	Lippincott...	1,267	Oxford Uni...	1,560	Sage	1,342	IEEE	1,246	Bentham Sc...	1,724	Univ Alica...	1,466

UMA	% doc	UGR	% doc	Deusto	% doc	UIC	% doc	USE	% doc	UVA	% doc	URL	% doc	USC	% doc	UFV	% doc
Mdpi	18,669	Elsevier	18,815	Mdpi	17,886	Mdpi	17,754	Elsevier	21,640	Elsevier	20,012	Mdpi	16,995	Elsevier	21,512	Elsevier	16,740
Elsevier	17,456	Mdpi	18,677	Springer N...	10,366	Elsevier	16,486	Mdpi	17,291	Mdpi	16,706	Elsevier	15,175	Mdpi	16,630	Mdpi	16,520
Springer N...	11,076	Springer N...	11,609	Elsevier	10,163	Wiley	16,486	Springer N...	8,959	Springer N...	10,862	Springer N...	12,595	Springer N...	11,747	Springer N...	10,352
Wiley	9,002	Wiley	6,713	Taylor & F...	9,350	Springer N...	10,326	Wiley	8,223	Wiley	6,375	Wiley	8,649	Wiley	8,223	Wiley	9,031
Taylor & F...	4,149	Taylor & F...	5,568	Wiley	4,268	Taylor & F...	5,797	Taylor & F...	4,242	Taylor & F...	3,955	Taylor & F...	6,222	Taylor & F...	3,928	Taylor & F...	5,507
Frontiers ...	3,757	Frontiers ...	2,468	Emerald Gr...	3,659	Sage	3,080	IEEE	3,289	Sage	2,479	Sage	5,311	Frontiers ...	2,423	Sage	2,643
IEEE	3,640	Sage	2,211	Sage	3,659	Frontiers ...	2,536	Frontiers ...	2,683	IEEE	2,066	Emerald Gr...	2,883	Amer Chemi...	2,386	Oxford Uni...	2,203
Oxford Uni...	1,957	IEEE	2,113	Frontiers ...	3,252	Ediciones ...	1,449	Oxford Uni...	2,294	Frontiers ...	2,007	Frontiers ...	2,428	Amer Physi...	2,093	Frontiers ...	1,982
Sage	1,879	Oxford Uni...	1,737	IEEE	3,252	Emerald Gr...	1,449	Sage	1,904	Amer Chemi...	1,535	Amer Physi...	2,276	Iop Publis...	1,542	Lippincott...	1,982
Nature Por...	1,213	Iop Publis...	1,185	Tech Scien...	2,033	Oxford Uni...	1,449	Lippincott...	1,233	Oxford Uni...	1,417	Oxford Uni...	1,973	Nature Por...	1,358	Univ Compl...	1,982

UAH	% doc	URV	% doc	UPO	% doc	UPC	% doc	UNIOVI	% doc	UDC	% doc	UPVEHU	% doc	CSIC	% doc	Nebrija	% doc
Elsevier	20,103	Elsevier	20,510	Elsevier	16,242	Elsevier	22,127	Elsevier	17,808	Elsevier	20,592	Elsevier	20,000	Elsevier	21,656	Mdpi	14,930
Mdpi	16,513	Mdpi	15,854	Mdpi	15,817	Mdpi	15,739	Mdpi	15,683	Mdpi	15,329	Mdpi	15,261	Mdpi	15,019	Elsevier	14,085
Wiley	10,410	Springer N...	10,366	Springer N...	9,236	Springer N...	11,459	Springer N...	13,888	Springer N...	10,132	Springer N...	9,834	Wiley	11,568	Springer N...	9,296
Springer N...	8,769	Wiley	10,255	Wiley	7,749	IEEE	9,714	Wiley	9,258	Wiley	8,092	Wiley	9,479	Springer N...	11,392	Taylor & F...	8,451
IEEE	4,821	Amer Chemi...	5,266	Taylor & F...	7,431	Wiley	5,433	Taylor & F...	5,243	Taylor & F...	4,408	Taylor & F...	5,047	Frontiers ...	4,293	IEEE	7,042
Taylor & F...	3,231	Taylor & F...	4,933	Frontiers ...	3,928	Amer Physi...	3,688	IEEE	3,070	Oxford Uni...	3,092	Amer Chemi...	4,052	Oxford Uni...	3,718	Frontiers ...	4,507
Frontiers ...	2,256	Royal Soc ...	3,381	Sage	2,017	Taylor & F...	2,634	Sage	1,889	IEEE	2,171	Amer Physi...	2,915	Amer Chemi...	3,206	Sage	4,225
Oxford Uni...	1,949	IEEE	2,384	Federacion...	1,699	Iop Publis...	2,206	Oxford Uni...	1,842	Frontiers ...	1,908	Royal Soc ...	2,559	Amer Physi...	2,820	Wiley	3,944
Nature Por...	1,590	Oxford Uni...	2,328	Nature Por...	1,699	Amer Chemi...	2,041	Frontiers ...	1,795	Sage	1,908	Frontiers ...	2,275	Iop Publis...	2,455	Cambridge ...	2,254
Edp Scien...	1,487	Frontiers ...	1,996	Oxford Uni...	1,699	Nature Por...	2,009	Royal Soc ...	1,417	Amer Chemi...	1,579	IEEE	1,991	Royal Soc ...	2,329	Univ Compl...	2,254

UV	% doc	UNICAN	% doc
Elsevier	17,857	Elsevier	20,560
Mdpi	14,910	Mdpi	14,886
Springer N...	12,384	Springer N...	14,665
Wiley	8,753	Wiley	6,264
Taylor & F...	4,350	Taylor & F...	4,422
Oxford Uni...	2,543	IEEE	3,758
Frontiers ...	2,491	Edp Scien...	2,432
Sage	2,070	Frontiers ...	2,063
Royal Soc ...	2,035	Sage	2,063
Amer Physi...	1,737	Oxford Uni...	1,990

Tabla 4b. Porcentaje de publicación de universidades españolas en las 10 editoriales más empleadas por cada institución en 2021 según la Web of Science core collection

UNED	% doc	UDG	% doc	UC3M	% doc	UJI	% doc	UOC	% doc	UCM	% doc	UNAV	% doc	UNIR	% doc	UIB	% doc
Mdpi	14,298	Elsevier	22,887	Elsevier	19,315	Elsevier	20,156	Mdpi	12,563	Elsevier	17,027	Elsevier	19,474	Mdpi	12,035	Elsevier	16,009
Elsevier	13,021	Mdpi	13,719	Mdpi	13,265	Mdpi	12,840	Elsevier	12,228	Mdpi	12,345	Mdpi	12,077	Elsevier	10,265	Mdpi	11,678
Springer N...	9,702	Springer N...	12,484	IEEE	11,079	Springer N...	10,817	Springer N...	11,223	Springer N...	10,395	Springer N...	11,364	Springer N...	9,558	Wiley	9,745
Taylor & F...	5,532	Wiley	10,923	Springer N...	10,860	Wiley	10,195	Taylor & F...	11,223	Wiley	9,581	Wiley	10,339	Taylor & F...	7,611	Springer N...	9,126
Wiley	4,681	Taylor & F...	5,137	Taylor & F...	4,883	Taylor & F...	6,926	Sage	5,695	Taylor & F...	4,253	Taylor & F...	3,610	Wiley	3,540	Royal Soc ...	4,408
IEEE	2,979	Frontiers ...	3,511	Wiley	4,883	Amer Chemi...	3,346	Wiley	5,695	Univ Compl...	3,823	Lippincott...	3,209	Frontiers ...	3,009	Taylor & F...	3,944
Sage	2,723	Sage	3,121	Sage	2,551	IEEE	2,879	IEEE	3,350	Frontiers ...	2,963	Frontiers ...	2,807	Univ Int R...	3,009	Amer Physic...	3,403
Univ Compl...	2,723	Oxford Uni...	2,341	Amer Physi...	2,332	Frontiers ...	2,335	Routledge	2,513	Oxford Uni...	2,380	Oxford Uni...	2,273	IEEE	2,655	Frontiers ...	3,171
Univ Nacio...	2,213	Amer Chemi...	1,886	Cambridge ...	2,114	Royal Soc ...	2,257	Frontiers ...	2,345	Sage	2,150	Bmj Publis...	2,139	Sage	2,655	Iop Publis...	2,475
Frontiers ...	2,043	Lippincott...	1,691	Iop Publis...	2,114	Sage	1,790	NATURE POR	2,178	Lippincott...	1,259	Ferrata St...	2,005	Univ Compl...	2,124	Sage	2,166

UAM	% doc	ULL	% doc	UAB	% doc	UB	% doc	UDIMA	% doc	Pompeu Fat	% doc	IE	% doc
Elsevier	15,534	Elsevier	15,554	Elsevier	19,691	Elsevier	21,118	Centro Int...	20,930	Elsevier	19,120	Wiley	21,311
Springer N...	13,658	Oxford Uni...	10,500	Springer N...	14,152	Wiley	13,226	Springer N...	11,628	Springer N...	12,917	Elsevier	13,934
Mdpi	10,784	Mdpi	10,255	Wiley	11,791	Springer N...	12,717	Elsevier	9,302	Wiley	9,213	Taylor & F...	11,475
Wiley	9,739	Edp Scienc...	9,323	Mdpi	10,170	Mdpi	9,464	Mdpi	9,302	Mdpi	8,704	Sage	7,377
Taylor & F...	4,584	Springer N...	8,538	Taylor & F...	4,281	Oxford Uni...	4,140	Taylor & F...	3,488	Taylor & F...	4,722	Springer N...	7,377
Oxford Uni...	4,157	Iop Publis...	5,937	Oxford Uni...	4,008	Frontiers ...	3,530	Amer Psych...	2,326	Oxford Uni...	4,491	Emerald Gr...	6,557
Amer Physi...	3,587	Wiley	5,790	Frontiers ...	2,971	Taylor & F...	3,142	Bmj Publis...	2,326	Frontiers ...	3,565	Mdpi	4,918
Frontiers ...	3,135	Taylor & F...	3,533	Sage	2,958	Lippincott...	2,884	Cambridge ...	2,326	Sage	3,519	Acad Manag...	1,639
Sage	2,162	Frontiers ...	2,061	Lippincott...	2,063	Sage	1,848	Colegio Of...	2,326	NATURE POR	3,287	Brill	1,639
Royal Soc ...	2,019	Sage	1,325	IEEE	1,634	Bmj Publis...	1,765	Sage	2,326	IEEE	2,685	Cambridge ...	1,639

sitúan nuestras instituciones por producción en MDPI. Baste con comparar esta posición con el nivel productivo mundial y español de las mismas instituciones para detectar escalafones anómalos. Pues bien, en la editorial MDPI contamos con 5 instituciones entre las 50 más productivas del mundo, 11 entre las 100 y 19 entre las 200. Nada parecido a lo que ocurre en las más reputadas editoriales del mundo. Así, resulta que sólo hay dos instituciones españolas entre las 100 primeras en las editoriales Elsevier, Wiley, Oxford University Press; en Springer Nature una, y en Taylor & Francis, IEEE, Sage y Lippincott Williams & Wilkins, ninguna.

3.4 Las revistas más atractivas para los investigadores españoles: una pasarela monopolizada por MDPI

Si el análisis del patrón de publicación en editoriales indexadas en la WoScc ofrece pistas significativas sobre comportamientos anómalos, es a nivel de revistas donde los datos adquieren pleno sentido. Los investigadores eligen revistas y tienden a seleccionar aquellas que consideran cumplen mejor sus expectativas en términos de difusión, visibilidad y rédito en sus carreras profesionales. Es de sumo interés comprobar si la anomalía se concentra en un puñado de revistas o se encuentra disperso. Pues bien, en la tabla 6 vemos que en 2021, de las 25 revistas que más artículos publicaron de investigadores españoles, 16 pertenecen a la editorial MDPI (Tabla 6, sombreadas en verde). Para todas ellas, la proporción de producción que representan respecto al total de la producción científica española duplica o triplica las proporciones que representan a nivel mundial. Esta severa anomalía queda confirmada también al comparar la posición por volumen productivo de las revistas en España y el mundo: no coinciden, existe una clara divergencia en las preferencias de los investigadores españoles por las revistas donde publicar sus trabajos.

¿Cómo se ha llegado hasta aquí? En la tabla 7 puede observarse que se trata de un proceso extraordinariamente

Tabla 5. Universidades e institutos de investigación españoles con más documentos publicados en la editorial MDPI en 2021 en la Web of Science core collection

Posición mundial	Institución	N docs
7	CSIC	2165
17	CIBER Centro de investigación biomédica en red	1485
29	Universidad de Barcelona	1046
34	Universidad de Granada	956
45	Universidad de Valencia	864
53	Universidad Complutense de Madrid	822
56	Universidad de Sevilla	810
57	Universidad Autónoma de Barcelona	807
78	Universidad Politécnica de Valencia	719
89	Universidad Politécnica de Madrid	684
99	Universidad del País Vasco	656
125	Instituto de Salud Carlos III	598
127	Universidad de Zaragoza	597
166	Universidad de Vigo	500
171	Universidad de Castilla-La Mancha	497
178	Universidad de Málaga	489
189	Universidad de Murcia	484
185	Universidad Politécnica de Cataluña	485
197	Universidad de Córdoba	472

rápido, diríamos que súbito: en 2015 solo había una revista MDPI entre las 25 revistas que más artículos publicaban de autores españoles; será en 2019 cuando se produzca la eclosión con 9 revistas. El crecimiento es imparable pues en 2021 ya eran 16 revistas. Los 36 artículos publicados por autores españoles en *Sustainability* en 2015 o los 28 en el *International Journal of Environmental Research and Public Health* se han convertido en 2021 en 1.344 y 1.586 respectivamente. Es evidente que las revistas MDPI están fagocitando todo el ecosistema de publicación español en la WoScc.

3.5 Análisis temático: la implantación de MDPI en todos los campos científicos

Para determinar hasta qué punto la anómala distribución editorial que venimos constatando se ha extendido a todos las áreas de conocimiento hemos analizado el protagonismo de las editoriales más productivas en la WoScc en las distintas áreas de conocimiento que conforman el saber científico. Utilizando los diez campos científicos (macrotopics) en que la WoScc clasifica los documentos que indexa podemos detectar los cambios ocurridos entre 2015 y 2021 en cada área de conocimiento. Los datos alojados en la Tabla 8 arrojan las siguientes evidencias:

- 1) Salta a la vista que la principal modificación registrada en estos años es la súbita aparición de MDPI como una editorial preferente para los investigadores españoles en todos los campos de conocimiento. Si en 2015 MDPI sólo figuraba entre las top 10 editoriales por producción en tres campos (puesto seis en Electrical Engineering, Electronics & Computer Science; nueve en Agriculture, Environment & Ecology, y diez

en Chemistry), en 2021 figura ya en el top 10 en todos los campos científicos.

- 2) El avance de MDPI es tan extraordinario que en un campo (Social Sciences) se ha situado como la editorial más productiva y en seis como la segunda (Engineering & Material Science, Agriculture, Environment & Ecology, Electrical Engineering, Electronics & Computer Science, Chemistry, Clinical & Life Science, Earth Sciences). Sólo en Arts & Humanities puede decirse que el protagonismo de MDPI es todavía escaso, pues el volumen de artículos publicados es todavía muy bajo (69). No obstante, ya resulta indicativo de futuras tendencias el hecho de que MDPI sea ya la quinta editorial más productiva en 2021 cuando en 2016 ni siquiera había sido capaz de publicar un artículo de investigadores españoles de Humanidades. También es necesario recordar que la cobertura de WoScc no es representativa de todo lo que se publica en áreas de Humanidades, por lo que el peso de MDPI podría considerarse sobrerrepresentado en esta área.
- 3) Los campos en los que el crecimiento de MDPI ha sido meteórico han sido los de Social Sciences (del puesto 20 en 2015 al 1 en 2021), Clinical & Life Science (del puesto 17 al segundo). Igualmente conviene destacar como en tres campos MDPI ha sido capaz de concentrar en 2021 más del 20% de la producción total del campo científico (Engineering & Material Science, Agriculture, Environment & Ecology, Electrical Engineering, Electronics & Computer Science).
- 4) Frente al raudo e insospechado crecimiento de MDPI en todos los campos científicos las principales multinacionales de la edición científica (Elsevier, Springer Nature, Wiley, Taylor & Francis, Oxford University

Tabla 6. Top 25 revistas en la Web of Science core collection en 2021 que más artículos publicaron de autores españoles y a nivel mundial

Revista	% documentos		Posición	
	España	Mundo	España	Mundo
INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH	1,792	0,490	1	5
SUSTAINABILITY	1,518	0,531	2	2
SCIENTIFIC REPORTS	1,130	0,980	3	1
APPLIED SCIENCES BASEL	0,991	0,458	4	6
SENSORS	0,801	0,326	5	9
MATHEMATICS	0,680	0,135	6	40
INTERNATIONAL JOURNAL OF MOLECULAR SCIENCES	0,652	0,375	7	7
JOURNAL OF CLINICAL MEDICINE	0,630	0,186	8	23
IEEE ACCESS	0,624	0,505	9	4
ASTRONOMY ASTROPHYSICS	0,594	0,089	10	86
MONTHLY NOTICES OF THE ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY	0,583	0,162	11	29
SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT	0,565	0,290	12	11
FRONTIERS IN PSYCHOLOGY	0,522	0,225	13	16
PLOS ONE	0,487	0,524	14	3
NUTRIENTS	0,447	0,140	15	36
FOODS	0,442	0,112	16	61
ANIMALS	0,432	0,133	17	44
ENERGIES	0,407	0,329	18	8
NATURE COMMUNICATIONS	0,390	0,290	19	11
POLYMERS	0,357	0,162	20	29
MATERIALS	0,345	0,302	21	10
CANCERS	0,336	0,169	22	26
AGRONOMY BASEL	0,329	0,098	23	73
MOLECULES	0,308	0,260	24	15
PHYSICAL REVIEW D	0,293	0,160	25	31

*Sombreadas en verde las revistas publicadas por la editorial MDPI

Tabla 7. Evolución del porcentaje de publicación de las top 25 revistas en la Web of Science core collection que más artículos publicaron de autores españoles (2015-2021)

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021							
1	PLOS ONE	1,606	PLOS ONE	1,369	SCIENTIFIC R...	1,378	PLOS ONE	1,182	SCIENTIFIC R...	1,247	SUSTAINABIL...	1,458	INTERNATIONA...	1,792
2	ASTRONOMY AS...	0,600	SCIENTIFIC R...	0,958	PLOS ONE	1,237	SCIENTIFIC R...	1,069	PLOS ONE	0,946	INTERNATIONA...	1,396	SUSTAINABIL...	1,518
3	MONTHLY NOTI...	0,538	ASTRONOMY AS...	0,622	MONTHLY NOTI...	0,595	SCIENCE OF T...	0,602	SUSTAINABIL...	0,800	SCIENTIFIC R...	1,170	SCIENTIFIC R...	1,130
4	SCIENTIFIC R...	0,503	MONTHLY NOTI...	0,560	ASTRONOMY AS...	0,505	MONTHLY NOTI...	0,598	SCIENCE OF T...	0,649	APPLIED SCIE...	0,771	APPLIED SCIE...	0,991
5	NUTRICION HO...	0,488	SCIENCE OF T...	0,478	SCIENCE OF T...	0,421	SENSORS	0,572	SENSORS	0,549	PLOS ONE	0,692	SENSORS	0,801
6	RSC ADVANCES	0,405	PHYSICAL REV...	0,464	SENSORS	0,414	ASTRONOMY AS...	0,538	ASTRONOMY AS...	0,535	SENSORS	0,682	MATHEMATICS	0,680
7	PHYSICAL REV...	0,393	RSC ADVANCES	0,435	PHYSICAL REV...	0,353	SUSTAINABIL...	0,486	INTERNATIONA...	0,529	IEEE ACCESS	0,655	INTERNATIONA...	0,652
8	PHYSICAL REV...	0,335	PHYSICAL REV...	0,348	PHYSICAL REV...	0,331	JOURNAL OF H...	0,373	MONTHLY NOTI...	0,527	SCIENCE OF T...	0,553	JOURNAL OF C...	0,630
9	ASTROPHYSICA...	0,318	PHYSICAL CHE...	0,317	PHYSICAL CHE...	0,313	JOURNAL OF H...	0,330	IEEE ACCESS	0,507	MONTHLY NOTI...	0,551	IEEE ACCESS	0,624
10	JOURNAL OF H...	0,313	SENSORS	0,311	JOURNAL OF H...	0,312	NATURE COMMU...	0,312	ENERGIES	0,396	ASTRONOMY AS...	0,543	ASTRONOMY AS...	0,594
11	FOOD CHEMIST...	0,296	ASTROPHYSICA...	0,310	ASTROPHYSICA...	0,298	ENERGIES	0,304	PHYSICAL REV...	0,378	JOURNAL OF C...	0,438	MONTHLY NOTI...	0,583
12	CHEMISTRY A...	0,285	JOURNAL OF H...	0,310	NATURE COMMU...	0,279	PHYSICAL REV...	0,302	NATURE COMMU...	0,358	ENERGIES	0,425	SCIENCE OF T...	0,565
13	PHYSICAL REV...	0,285	FOOD CHEMIST...	0,298	CHEMISTRY A...	0,263	JOURNAL OF C...	0,296	NUTRIENTS	0,356	FRONTIERS IN...	0,420	FRONTIERS IN...	0,522
14	SCIENCE OF T...	0,271	NATURE COMMU...	0,284	PHYSICAL REV...	0,263	ASTROPHYSICA...	0,286	APPLIED SCIE...	0,340	MATHEMATICS	0,413	PLOS ONE	0,487
15	SENSORS	0,265	ONCOTARGET	0,263	FOOD CHEMIST...	0,247	PHYSICAL REV...	0,281	FRONTIERS IN...	0,325	NUTRIENTS	0,371	NUTRIENTS	0,447
16	PHYSICAL CHE...	0,262	CHEMISTRY A...	0,262	FRONTIERS IN...	0,232	PHYSICAL CHE...	0,252	JOURNAL OF H...	0,296	INTERNATIONA...	0,354	FOODS	0,442
17	NATURE COMMU...	0,241	PHYSICAL REV...	0,253	JOURNAL OF C...	0,227	CHEMISTRY A...	0,250	PHYSICAL REV...	0,289	PHYSICAL REV...	0,353	ANIMALS	0,432
18	JOURNAL OF P...	0,215	JOURNAL OF P...	0,205	ONCOTARGET	0,225	FRONTIERS IN...	0,249	MATERIALS	0,269	FOODS	0,330	ENERGIES	0,407
19	PHYSICAL REV...	0,212	PHYSICAL REV...	0,205	FRONTIERS IN...	0,206	IEEE ACCESS	0,249	ASTROPHYSICA...	0,266	MATERIALS	0,322	NATURE COMMU...	0,390
20	CHEMICAL COM...	0,209	PHYSICS LETT...	0,203	EUROPEAN PHY...	0,198	METHODS IN M...	0,246	MOLECULES	0,266	ANIMALS	0,311	POLYMERS	0,357
21	DALTON TRANS...	0,181	JOURNAL OF C...	0,198	JOURNAL OF P...	0,198	FOOD CHEMIST...	0,244	JOURNAL OF C...	0,256	NATURE COMMU...	0,310	MATERIALS	0,345
22	REVISTA DE N...	0,179	FRONTIERS IN...	0,197	ENERGIES	0,196	FRONTIERS IN...	0,226	PHYSICAL REV...	0,244	REMOTE SENSI...	0,298	CANCERS	0,336
23	OPTICS EXPRE...	0,177	NUTRICION HO...	0,193	SUSTAINABIL...	0,193	CONSTRUCTION...	0,212	INTERNATIONA...	0,235	AGRONOMY BAS...	0,281	AGRONOMY BAS...	0,329
24	PHYSICS LETT...	0,169	METHODS IN M...	0,187	METHODS IN M...	0,181	JOURNAL OF P...	0,212	FOOD CHEMIST...	0,219	MOLECULES	0,274	MOLECULES	0,308
25	CHEMICAL ENG...	0,165	DALTON TRANS...	0,184	NUTRICION HO...	0,180	MATERIALS	0,206	JOURNAL OF C...	0,219	JOURNAL OF H...	0,271	PHYSICAL REV...	0,293

Press...) mantienen sus niveles productivos en términos absolutos, e incluso llegan a mostrar ligeros incrementos. Sólo en algunas áreas determinadas bajan tenuemente. En términos relativos la mayoría de las grandes editoriales se mantiene o decrece. Sólo en el caso de IEEE se observa un sistemático descenso en las áreas en las que aparece como editorial significativa.

Los análisis temáticos a nivel macro no evidencian las diferencias que puedan ocurrir en las distintas disciplinas y especialidades que conforman los campos científicos. Es necesario acercarse a la lente dentro de un campo de conocimiento para identificar donde se han operado las transformaciones y cuál es el alcance de las mismas. En la Tabla 9 pueden observarse los perfiles editoriales de las distintas especialidades de Química tal como son etiquetadas por la WoScc. Del análisis de esta tabla podemos coleccionar lo siguiente:

- 1) La configuración de MDPI en 2021 como una editorial de referencia en el área de la Chemistry queda atestiguada por el hecho de que MDPI figura entre las top10 editoriales más productivas en los 37 dominios temáticos en que la WoScc descompone la Chemistry.
- 2) En siete especialidades MDPI es la editorial puntera en 2021 (Drug Delivery Chemistry, Corrosion & Deposition Chemistry, Textile Chemistry, Neutron Capture Therapy, Nanoparticles, Nucleic Acids Chemistry, Hydrogen Chemistry & Storage), en 16 la segunda (Polymer Science, Nanofibers, Polymers & Macromolecules, Membrane Science, Surfactants, Lipid Bilayers & Antimicrobial Peptides, Chemometrics, Hydrogen Chemistry & Storage, Water Treatment, Spectrometry & Separation, Chromatography & Electrophoresis, Biosensors, Mass Spectrometry, Nitroxides, Antioxidants & Free Radicals, Microfluidic Devices & Superhydrophobicity Photocatalysts, Ionic, Molecular & Complex Liquids, Optical Chemistry) y en cinco la tercera.

- 3) En algunos dominios temáticos MDPI concentra volúmenes productivos elevadísimos: más del 30% en Drug Delivery Chemistry, Corrosion & Deposition Chemistry, Polymer Science, Nanofibers, Scaffolds & Fabrication; y más del 20% en Textile Chemistry, Neutron Capture Therapy, Polymers & Macromolecules, Membrane Science, Surfactants, Lipid Bilayers & Antimicrobial Peptides, Chemometrics, Nanoparticles, Hydrogen Chemistry & Storage, Water Treatment, Spectrometry & Separation
- 4) Mientras que el incremento del número de artículos publicados en MDPI es explosivo y vertiginoso entre 2015 y 2021, no puede decirse lo mismo de las principales multinacionales de la edición científica (Elsevier, Springer Nature, Wiley) y de las especializadas en Química (American Chemical Society, Royal Society of Chemistry) donde se detecta una alta volubilidad según dominio temático. En estos casos, según la especialidad, se alternan incrementos y retrocesos leves con otros más acusados. Esta mayor variabilidad entre editoriales exige estudiar con atención las peculiaridades de cada especialidad.

3.6 Tipología de artículos: el imprevisto y repentino éxito de las revisiones. La anomalía Frontiers y MDPI

Las revistas científicas publican diversos tipos de contribuciones: artículos originales de investigación, comunicaciones o notas breves, revisiones, reseñas bibliográficas, cartas, editoriales, ponencias a congresos, entre otros, pues existen más géneros documentales idiosincráticos de las distintas disciplinas y especialidades. Los elementos más significativos y relevantes de una revista científica son los artículos de investigación original que son los que demuestran la contribución de la revista al acervo común de su campo científico. Los ar-

Tabla 8. Evolución del número y porcentaje de publicaciones españolas en las editoriales más productivas indexadas en la Web of Science core collection según campo científico (macrotopics) (2015-2021)

07 Engineering & Materials Science						03 Agriculture, Environment & Ecology					
2015			2021			2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	1.506	47,50	1	Elsevier	1.667	45,10	1	Elsevier	3.134	31,80
2	Springer Nature	304	9,60	2	MDPI	851	23,00	2	Springer Nature	1.451	14,70
3	IEEE	117	3,70	3	Springer Nature	287	7,80	3	Wiley	1.269	12,90
4	Taylor & Francis	113	3,60	4	IEEE	105	2,80	4	Taylor & Francis	366	3,70
5	Wiley	99	3,10	5	Wiley	94	2,50	5	Oxford Univ Press	295	3,00
6	MDPI	54	1,70	6	Taylor & Francis	86	2,30	6	Public Library Sci...	249	2,50
7	Iop Publishing Ltd	53	1,70	7	Amer Chemical Soc	47	1,30	7	Int Soc Horticultu...	187	1,90
8	Sage	47	1,50	8	Sage	45	1,20	8	Amer Chemical Soc	172	1,70
9	Asce-Amer Soc Civi...	40	1,30	9	Iop Publishing Ltd	36	1,00	9	MDPI	146	1,50
10	Amer Chemical Soc	38	1,20	10	CSIC	26	0,70	10	Frontiers Media Sa	140	1,40
7	Elsevier	4.178	31,60	7	Elsevier	4.178	31,60				
2	MDPI	2.865	21,70	2	MDPI	2.865	21,70				
3	Springer Nature	1.404	10,60	3	Springer Nature	1.404	10,60				
4	Wiley	1.386	10,50	4	Wiley	1.386	10,50				
5	Frontiers Media Sa	553	4,20	5	Frontiers Media Sa	553	4,20				
6	Oxford Univ Press	356	2,70	6	Oxford Univ Press	356	2,70				
7	Taylor & Francis	326	2,50	7	Taylor & Francis	326	2,50				
8	Amer Chemical Soc	144	1,10	8	Amer Chemical Soc	144	1,10				
9	Magnolia Press	105	0,80	9	Magnolia Press	105	0,80				
10	Royal Soc Chemistr...	78	0,60	10	Royal Soc Chemistr...	78	0,60				

04 Electrical Engineering, Electronics & Computer Science						02 Chemistry					
2015			2021			2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	IEEE	3.054	35,30	1	IEEE	2.384	27,60	1	Elsevier	2.475	29,50
2	Elsevier	1.596	18,40	2	MDPI	1.862	21,60	2	Royal Soc Chemistr...	1.205	14,40
3	Springer Nature	1.419	16,40	3	Elsevier	1.856	21,50	3	Amer Chemical Soc	1.174	14,00
4	Wiley	244	2,80	4	Springer Nature	803	9,30	4	Wiley	1.049	12,50
5	Taylor & Francis	180	2,10	5	Wiley	218	2,50	5	Springer Nature	565	6,70
6	MDPI	179	2,10	6	Taylor & Francis	158	1,80	6	Taylor & Francis	202	2,40
7	Assoc Computing Ma...	167	1,90	7	Assoc Computing Ma...	134	1,60	7	Iop Publishing Ltd	193	2,30
8	Ios Press	103	1,20	8	Scitepress	48	0,60	8	IEEE	174	2,10
9	Atlantis Press	82	0,90	9	Sage	41	0,50	9	Amer Inst Physics	156	1,90
10	Inst Engineering T...	75	0,90	10	Oxford Univ Press	35	0,40	10	MDPI	147	1,80
1	Elsevier	2.910	30,40	1	Elsevier	2.910	30,40				
2	MDPI	1.660	17,30	2	MDPI	1.660	17,30				
3	Amer Chemical Soc	1.253	13,10	3	Amer Chemical Soc	1.253	13,10				
4	Royal Soc Chemistr...	1.038	10,80	4	Royal Soc Chemistr...	1.038	10,80				
5	Wiley	916	9,60	5	Wiley	916	9,60				
6	Springer Nature	551	5,80	6	Springer Nature	551	5,80				
7	Amer Physical Soc	130	1,40	7	Amer Physical Soc	130	1,40				
8	Iop Publishing Ltd	108	1,10	8	Iop Publishing Ltd	108	1,10				
9	IEEE	92	1,00	9	IEEE	92	1,00				
10	Taylor & Francis	92	1,00	10	Taylor & Francis	92	1,00				

01 Clinical & Life Sciences						06 Social Sciences					
2015			2021			2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	8.468	28,60	1	Elsevier	10.766	23,80	1	Elsevier	1.489	14,40
2	Springer Nature	3.693	12,50	2	MDPI	7.288	16,10	2	Springer Nature	812	7,80
3	Wiley	2.913	9,80	3	Springer Nature	5.528	12,20	3	Taylor & Francis	745	7,20
4	Oxford Univ Press	989	3,30	4	Wiley	3.757	8,30	4	Wiley	428	4,10
5	Lippincott William...	970	3,30	5	Frontiers Media Sa	1.943	4,30	5	lated-Int Assoc Te...	413	4,00
6	Taylor & Francis	901	3,00	6	Oxford Univ Press	1.714	3,80	6	Sage	305	2,90
7	Public Library Sci...	863	2,90	7	Lippincott William...	1.366	3,00	7	Univ Complutense M...	271	2,60
8	Sage	435	1,50	8	Taylor & Francis	1.225	2,70	8	Emerald Group Publ...	255	2,50
9	Bmj Publishing Gro...	396	1,30	9	Bmj Publishing Gro...	913	2,00	9	IEEE	209	2,00
17	MDPI	195	0,70	10	Sage	793	1,80	19	MDPI	57	0,50
1	Elsevier	2.335	14,50	1	MDPI	2.335	14,50				
2	Elsevier	2.178	13,50	2	Elsevier	2.178	13,50				
3	Taylor & Francis	1.258	7,80	3	Taylor & Francis	1.258	7,80				
4	Springer Nature	1.094	6,80	4	Springer Nature	1.094	6,80				
5	Wiley	650	4,00	5	Wiley	650	4,00				
6	Sage	649	4,00	6	Sage	649	4,00				
7	Emerald Group Publ...	456	2,80	7	Emerald Group Publ...	456	2,80				
8	Univ Complutense M...	374	2,30	8	Univ Complutense M...	374	2,30				
9	Frontiers Media Sa	350	2,20	9	Frontiers Media Sa	350	2,20				
10	Univ Murcia	213	1,30	10	Univ Murcia	213	1,30				

08 Earth Sciences						09 Mathematics					
2015			2021			2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	1.102	34,20	1	Elsevier	1.325	33,40	1	Elsevier	541	27,00
2	Springer Nature	431	13,40	2	MDPI	514	13,00	2	Springer Nature	454	22,60
3	IEEE	168	5,20	3	Springer Nature	459	11,60	3	Taylor & Francis	72	3,60
4	Wiley	163	5,10	4	Wiley	202	5,10	4	Wiley	67	3,30
5	Taylor & Francis	126	3,90	5	Amer Geophysical U...	140	3,50	5	World Scientific	57	2,80
6	Copernicus Gesells...	109	3,40	6	Copernicus Gesells...	137	3,50	6	Amer Mathematical ...	56	2,80
7	Amer Geophysical U...	107	3,30	7	Taylor & Francis	110	2,80	7	IEEE	47	2,30
8	CSIC	51	1,60	8	Frontiers Media Sa	93	2,30	8	Amer Inst Mathemat...	40	2,00
9	Cambridge Univ Pre...	41	1,30	9	IEEE	73	1,80	9	Amer Physical Soc	39	1,90
10	MDPI	38	1,20	10	Cambridge Univ Pre...	69	1,70	16	MDPI	20	1,00
1	Springer Nature	530	22,70	1	Springer Nature	530	22,70				
2	Elsevier	517	22,10	2	Elsevier	517	22,10				
3	MDPI	259	11,10	3	MDPI	259	11,10				
4	Taylor & Francis	109	4,70	4	Taylor & Francis	109	4,70				
5	Wiley	92	3,90	5	Wiley	92	3,90				
6	Cambridge Univ Pre...	71	3,00	6	Cambridge Univ Pre...	71	3,00				
7	Amer Inst Mathemat...	66	2,80	7	Amer Inst Mathemat...	66	2,80				
8	World Scientific	57	2,40	8	World Scientific	57	2,40				
9	Oxford Univ Press	50	2,10	9	Oxford Univ Press	50	2,10				
10	Walter De Gruyter	48	2,10	10	Walter De Gruyter	48	2,10				

05 Physics						10 Arts & Humanities					
2015			2021			2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Iop Publishing Ltd	987	15,30	1	Springer Nature	906	14,00	1	Univ Complutense M...	193	8,70
2	Elsevier	953	14,80	2	Amer Physical Soc	869	13,40	2	CSIC	153	6,90
3	Amer Physical Soc	840	13,10	3	Elsevier	830	12,80	3	Taylor & Francis	123	5,60
4	Springer Nature	736	11,40	4	Iop Publishing Ltd	812	12,50	4	Springer Nature	84	3,80
5	IEEE	553	8,60	5	Oxford Univ Press	608	9,40	5	Univ Murcia	44	2,00
6	Edp Sciences S A	422	6,60	6	Edp Sciences S A	539	8,30	6	Univ Aut Barcelona	38	1,70
7	Oxford Univ Press	386	6,00	7	MDPI	393	6,10	7	UNED	34	1,50
8	Optical Soc Amer	205	3,20	8	IEEE	378	5,80	8	Univ Valencia	32	1,40
9	Amer Inst Physics	189	2,90	9	Wiley	134	2,10	9	Elsevier	29	1,30
18	MDPI	42	0,70	10	Amer Chemical Soc	113	1,70	10	Centro Estudios Po...	26	1,20
1	Univ Complutense M...	229	7,30	1	Univ Complutense M...	229	7,30				
2	Taylor & Francis	227	7,20	2	Taylor & Francis	227	7,20				
3	CSIC	187	5,90	3	CSIC	187	5,90				
4	Springer Nature	112	3,60	4	Springer Nature	112	3,60				
5	MDPI	69	2,20	5	MDPI	69	2,20				
6	Univ Murcia	56	1,80	6	Univ Murcia	56	1,80				
7	UNED	55	1,70	7	UNED	55	1,70				
8	Univ Salamanca	50	1,60	8	Univ Salamanca	50	1,60				
9	Univ Navarra	50	1,60	9	Univ Navarra	50	1,60				
10	Cambridge Univ Pre...	48	1,50	10	Cambridge Univ Pre...	48	1,50				

Tabla 9. Evolución del número y porcentaje de publicaciones españolas en las editoriales más productivas indexadas en la Web of Science core collection según dominio temático (mesotopics) en Química (2015-2021)

2.176 Drug Delivery Chemistry					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	63 56,80	1	MDPI	72 36,40
2	Taylor & Francis	9 8,10	2	Elsevier	62 31,30
3	Amer Chemical Soc	7 6,30	3	Springer Nature	13 6,60
4	Dove Medical Press...	5 4,50	4	Amer Chemical Soc	10 5,10
5	Springer Nature	5 4,50	5	Wiley	9 4,50
6	Wiley	5 4,50	6	Taylor & Francis	5 2,50
7	Bentham Science Pu...	4 3,60	7	Future Medicine Lt...	4 2,00
8	Royal Soc Chemistr...	3 2,70	8	Int Union Crystall...	3 1,50
9	European Respirato...	2 1,80	9	Royal Soc Chemistr...	3 1,50
10	MDPI	2 1,80	10	Canadian Soc Pharm...	2 1,00

2.210 Corrosion & Deposition Chemistry					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	44 43,10	1	MDPI	31 34,80
2	Wiley	10 9,80	2	Elsevier	29 32,60
3	Iop Publishing Ltd	7 6,90	3	Royal Soc Chemistr...	4 4,50
4	Royal Soc Chemistr...	7 6,90	4	Amer Chemical Soc	3 3,40
5	Amer Chemical Soc	6 5,90	5	Springer Nature	3 3,40
6	IEEE	3 2,90	6	Wiley	3 3,40
7	Natl Assoc Corrosi...	3 2,90	7	Amer Physical Soc	2 2,20
8	Taylor & Francis	3 2,90	8	Electrochemical So...	2 2,20
9	Woodhead Publ Ltd	3 2,90	9	INST ELECTROCHEMIS...	2 2,20
20	MDPI	1 1,00	10	Academic Publicati...	1 1,10

2.039 Polymer Science					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	104 33,70	1	Elsevier	124 33,20
2	Wiley	52 16,80	2	MDPI	117 31,30
3	Royal Soc Chemistr...	38 12,30	3	Amer Chemical Soc	36 9,60
4	Amer Chemical Soc	21 6,80	4	Wiley	26 7,00
5	Springer Nature	16 5,20	5	Springer Nature	21 5,60
6	Amer Inst Physics	9 2,90	6	Royal Soc Chemistr...	12 3,20
7	MDPI	9 2,90	7	Taylor & Francis	6 1,60
8	Taylor & Francis	9 2,90	8	Amer Physical Soc	4 1,10
9	Amer Physical Soc	7 2,30	9	Natl Acad Sciences	3 0,80
10	Sage	7 2,30	10	AIP Publishing	2 0,50

2.165 Nanofibers, Scaffolds & Fabrication					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	73 34,90	1	Elsevier	153 34,30
2	Wiley	25 12,00	2	MDPI	139 31,20
3	Royal Soc Chemistr...	21 10,00	3	Springer Nature	34 7,60
4	Springer Nature	21 10,00	4	Wiley	22 4,90
5	Amer Chemical Soc	13 6,20	5	Amer Chemical Soc	18 4,00
6	Taylor & Francis	9 4,30	6	Royal Soc Chemistr...	13 2,90
7	Emerald Group Publ...	4 1,90	7	Emerald Group Publ...	12 2,70
8	Iop Publishing Ltd	4 1,90	8	Taylor & Francis	10 2,20
9	Mary Ann Liebert, ...	4 1,90	9	Frontiers Media Sa	8 1,80
16	MDPI	2 1,00	10	Iop Publishing Ltd	5 1,10

2.296 Textile Chemistry					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	4 30,80	1	MDPI	2 28,60
2	Inst Chemical Fibr...	2 15,40	2	Elsevier	1 14,30
3	Wiley	2 15,40	3	Korean Fiber Soc	1 14,30
4	Carl Hanser Verlag	1 7,70	4	Sage	1 14,30
5	Grupo Espanol I I ...	1 7,70	5	Taylor & Francis	1 14,30
6	INDA	1 7,70	6	Wiley	1 14,30
7	Sage	1 7,70			
8	Springer Nature	1 7,70			

2.326 Neutron Capture Therapy					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Royal Soc Chemistr...	6 26,10	1	MDPI	7 28,00
2	Wiley	6 26,10	2	Amer Chemical Soc	5 20,00
3	Springer Nature	4 17,40	3	Royal Soc Chemistr...	5 20,00
4	Amer Chemical Soc	3 13,00	4	Elsevier	4 16,00
5	Elsevier	3 13,00	5	Wiley	3 12,00
6	Soc Italiana Fisic...	1 4,30	6	Springer Nature	1 4,00

2.053 Polymers & Macromolecules					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	112 32,80	1	Elsevier	111 28,80
2	Wiley	56 16,40	2	MDPI	106 27,50
3	Amer Chemical Soc	43 12,60	3	Amer Chemical Soc	46 11,90
4	Royal Soc Chemistr...	41 12,00	4	Royal Soc Chemistr...	36 9,30
5	Springer Nature	19 5,60	5	Wiley	34 8,80
6	Taylor & Francis	11 3,20	6	Springer Nature	23 6,00
7	MDPI	8 2,30	7	Amer Physical Soc	4 1,00
8	Bentham Science Pu...	7 2,10	8	Iop Publishing Ltd	4 1,00
9	IEEE	5 1,50	9	IEEE	3 0,80
10	Amer Inst Physics	4 1,20	10	Bentham Science Pu...	2 0,50

2.241 Membrane Science					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	80 49,70	1	Elsevier	84 48,80
2	Taylor & Francis	26 16,10	2	MDPI	42 24,40
3	Desalination Publ	18 11,20	3	Desalination Publ	12 7,00
4	Royal Soc Chemistr...	8 5,00	4	Amer Chemical Soc	9 5,20
5	Amer Chemical Soc	5 3,10	5	Wiley	5 2,90
6	Wiley	5 3,10	6	Royal Soc Chemistr...	4 2,30
7	Aidic Servizi Srl	3 1,90	7	Federacion Asociac...	3 1,70
8	IEEE	2 1,20	8	Iwa Publishing	2 1,20
9	Iwa Publishing	2 1,20	9	Springer Nature	2 1,20
10	Czech Academy Agri...	1 0,60	10	Taylor & Francis	2 1,20

2.190 Surfactants, Lipid Bilayers & Antimicrobial Peptides					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	41 35,00	1	Elsevier	43 37,40
2	Amer Chemical Soc	24 20,50	2	MDPI	28 24,30
3	Royal Soc Chemistr...	11 9,40	3	Amer Chemical Soc	13 11,30
4	Springer Nature	10 8,50	4	Royal Soc Chemistr...	9 7,80
5	Wiley	6 5,10	5	Springer Nature	8 7,00
6	MDPI	3 2,60	6	Wiley	4 3,50
7	Amer Physical Soc	2 1,70	7	Frontiers Media Sa	2 1,70
8	Carl Hanser Verlag	2 1,70	8	Taylor & Francis	2 1,70
9	Hindawi Publishing...	2 1,70	9	AIP Publishing	1 0,90
10	Amer Inst Physics	1 0,90	10	Bentham Science Pu...	1 0,90

2.244 Chemometrics					
2015			2021		
#	Editorial	N %	#	Editorial	N %
1	Elsevier	60 47,60	1	Elsevier	83 48,00
2	Springer Nature	15 11,90	2	MDPI	42 24,30
3	Wiley	13 10,30	3	Springer Nature	10 5,80
4	Royal Soc Chemistr...	5 4,00	4	Amer Chemical Soc	7 4,00
5	IEEE	4 3,20	5	Royal Soc Chemistr...	6 3,50
6	Taylor & Francis	4 3,20	6	Sage	4 2,30
7	Amer Chemical Soc	3 2,40	7	Frontiers Media Sa	3 1,70
8	MDPI	2 1,60	8	IEEE	3 1,70
9	Oxford Univ Press	2 1,60	9	Wiley	3 1,70
10	Sage	2 1,60	10	Spie-Int Soc Optic...	2 1,20

2.067 Nanoparticles							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Amer Chemical Soc	106	19,30	1	MDPI	130	23,90
2	Elsevier	93	16,90	2	Elsevier	128	23,60
3	Royal Soc Chemistr...	80	14,60	3	Amer Chemical Soc	88	16,20
4	Springer Nature	52	9,50	4	Royal Soc Chemistr...	55	10,10
5	Wiley	36	6,60	5	Springer Nature	38	7,00
6	Iop Publishing Ltd	31	5,60	6	Wiley	26	4,80
7	IEEE	28	5,10	7	Iop Publishing Ltd	11	2,00
8	Amer Inst Physics	18	3,30	8	IEEE	9	1,70
9	Optical Soc Amer	18	3,30	9	Walter De Gruyter	9	1,70
11	MDPI	13	2,40	10	Optical Soc Amer	8	1,50

2.282 Hydrogen Chemistry & Storage							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	12	50,00	1	Elsevier	3	21,40
2	Amer Chemical Soc	5	20,80	2	MDPI	3	21,40
3	Royal Soc Chemistr...	3	12,50	3	Wiley	3	21,40
4	European Center Su...	1	4,20	4	Royal Soc Chemistr...	2	14,30
5	Higher Education P...	1	4,20	5	AIP Publishing	1	7,10
6	Iop Publishing Ltd	1	4,20	6	Amer Chemical Soc	1	7,10
7	MDPI	1	4,20	7	Iop Publishing Ltd	1	7,10

2.090 Water Treatment							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	200	57,10	1	Elsevier	304	60,90
2	Springer Nature	34	9,70	2	MDPI	103	20,60
3	Amer Chemical Soc	22	6,30	3	Springer Nature	27	5,40
4	Taylor & Francis	22	6,30	4	Wiley	10	2,00
5	Wiley	17	4,90	5	Royal Soc Chemistr...	8	1,60
6	Royal Soc Chemistr...	10	2,90	6	Amer Chemical Soc	7	1,40
7	Desalination Publ	7	2,00	7	Frontiers Media Sa	5	1,00
8	Iwa Publishing	5	1,40	8	Taylor & Francis	4	0,80
9	Hindawi Publishing...	4	1,10	9	Desalination Publ	3	0,60
11	MDPI	2	0,60	10	CSIC	2	0,40

2.209 Spectrometry & Separation							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	28	40,60	1	Elsevier	23	46,00
2	Royal Soc Chemistr...	19	27,50	2	MDPI	10	20,00
3	Springer Nature	6	8,70	3	Royal Soc Chemistr...	8	16,00
4	Amer Chemical Soc	4	5,80	4	Taylor & Francis	2	4,00
5	Taylor & Francis	4	5,80	5	Amer Chemical Soc	1	2,00
6	Wiley	2	2,90	6	Chiang Mai Univ, F...	1	2,00
7	ATOMIC SPECTROSCOP...	1	1,40	7	Desalination Publ	1	2,00
8	Aran Ediciones, S ...	1	1,40	8	Johnson Matthey Pu...	1	2,00
9	CENIM	1	1,40	9	Soc Leather Techno...	1	2,00
10	Soc Espanola Optic...	1	1,40	10	Springer Nature	1	2,00

2.166 Chromatography & Electrophoresis							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	43	44,80	1	Elsevier	42	46,20
2	Wiley	21	21,90	2	MDPI	17	18,70
3	Springer Nature	8	8,30	3	Springer Nature	6	6,60
4	Royal Soc Chemistr...	5	5,20	4	Aran Ediciones, S ...	3	3,30
5	Amer Chemical Soc	4	4,20	5	Bmj Publishing Gro...	3	3,30
6	Humana Press Inc	3	3,10	6	Frontiers Media Sa	3	3,30
7	Public Library Sci...	2	2,10	7	Wiley	3	3,30
8	Frontiers Media Sa	1	1,00	8	Amer Chemical Soc	2	2,20
9	Future Medicine Lt...	1	1,00	9	Taylor & Francis	2	2,20
10	Future Sci Ltd	1	1,00	10	AULA MEDICA EDICIO...	1	1,10

2.145 Biosensors							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	98	47,30	1	Elsevier	92	46,90
2	Wiley	30	14,50	2	MDPI	36	18,40
3	Royal Soc Chemistr...	20	9,70	3	Amer Chemical Soc	16	8,20
4	Springer Nature	17	8,20	4	Springer Nature	15	7,70
5	Amer Chemical Soc	15	7,20	5	Wiley	14	7,10
6	Electrochemical So...	4	1,90	6	Royal Soc Chemistr...	11	5,60
7	IEEE	3	1,40	7	IEEE	3	1,50
8	MDPI	3	1,40	8	Humana Press Inc	2	1,00
9	Bentham Science Pu...	2	1,00	9	AIP Publishing	1	0,50
10	Frontiers Media Sa	2	1,00	10	Assoc Neurologia C...	1	0,50

2.170 Nucleic Acids Chemistry							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Springer Nature	20	16,50	1	MDPI	28	17,40
2	Amer Chemical Soc	18	14,90	2	Elsevier	20	12,40
3	Elsevier	17	14,00	3	Springer Nature	18	11,20
4	Wiley	13	10,70	4	Wiley	18	11,20
5	Oxford Univ Press	9	7,40	5	Amer Chemical Soc	17	10,60
6	Public Library Sci...	6	5,00	6	Oxford Univ Press	10	6,20
7	Royal Soc Chemistr...	6	5,00	7	Royal Soc Chemistr...	9	5,60
8	Editura Acad Roman...	4	3,30	8	Humana Press Inc	6	3,70
9	Ios Press	4	3,30	9	Taylor & Francis	5	3,10
12	MDPI	2	1,70	10	World Scientific	5	3,10

2.211 Mass Spectrometry							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	43	25,40	1	Elsevier	71	32,00
2	Springer Nature	29	17,20	2	MDPI	38	17,10
3	Wiley	27	16,00	3	Springer Nature	29	13,10
4	Amer Chemical Soc	21	12,40	4	Amer Chemical Soc	18	8,10
5	Royal Soc Chemistr...	15	8,90	5	Wiley	15	6,80
6	Oxford Univ Press	7	4,10	6	Humana Press Inc	14	6,30
7	Frontiers Media Sa	4	2,40	7	Oxford Univ Press	10	4,50
8	Amer Soc Biochemis...	3	1,80	8	Public Library Sci...	6	2,70
9	Humana Press Inc	3	1,80	9	Royal Soc Chemistr...	5	2,30
22	MDPI	1	0,60	10	Bmj Publishing Gro...	3	1,40

2.311 Nitroxides, Antioxidants & Free Radicals							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Amer Chemical Soc	1	20,00	1	Elsevier	2	33,30
2	Asoc Espanola Diet...	1	20,00	2	MDPI	1	16,70
3	Int Union Crystall...	1	20,00	3	Public Library Sci...	1	16,70
4	Iop Publishing Ltd	1	20,00	4	Royal Soc Chemistr...	1	16,70
5	Wiley	1	20,00	5	Wiley	1	16,70

2.160 Microfluidic Devices & Superhydrophobicity							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	48	28,60	1	Elsevier	55	29,40
2	Springer Nature	18	10,70	2	MDPI	31	16,60
3	Royal Soc Chemistr...	16	9,50	3	Amer Chemical Soc	19	10,20
4	IEEE	13	7,70	4	Cambridge Univ Pre...	11	5,90
5	Amer Chemical Soc	11	6,50	5	Royal Soc Chemistr...	11	5,90
6	Wiley	10	6,00	6	Springer Nature	10	5,30
7	Amer Physical Soc	6	3,60	7	Wiley	9	4,80
8	Amer Inst Physics	5	3,00	8	Amer Physical Soc	7	3,70
9	Iop Publishing Ltd	5	3,00	9	AIP Publishing	6	3,20
10	MDPI	4	2,40	10	Amer Inst Physics	4	2,10

2.074 Photocatalysts							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	127	41,80	1	Elsevier	164	48,40
2	Royal Soc Chemistr...	41	13,50	2	MDPI	56	16,50
3	Amer Chemical Soc	32	10,50	3	Royal Soc Chemistr...	36	10,60
4	Wiley	25	8,20	4	Amer Chemical Soc	29	8,60
5	Springer Nature	22	7,20	5	Wiley	23	6,80
6	Iop Publishing Ltd	8	2,60	6	Springer Nature	10	2,90
7	IEEE	7	2,30	7	Taylor & Francis	4	1,20
8	Amer Scientific Pu...	5	1,60	8	Amer Inst Physics	3	0,90
9	Amer Inst Physics	4	1,30	9	Iop Publishing Ltd	3	0,90
12	MDPI	3	1,00	10	Walter De Gruyter	3	0,90

2.234 Photochemistry							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Royal Soc Chemistr...	13	26,50	1	Royal Soc Chemistr...	9	23,10
2	Elsevier	7	14,30	2	Elsevier	6	15,40
3	Taylor & Francis	5	10,20	3	MDPI	6	15,40
4	Wiley	5	10,20	4	Amer Chemical Soc	5	12,80
5	Amer Chemical Soc	4	8,20	5	Wiley	4	10,30
6	IEEE	3	6,10	6	Taylor & Francis	2	5,10
7	Optical Soc Amer	3	6,10	7	AIP Publishing	1	2,60
8	Iop Publishing Ltd	2	4,10	8	Amer Inst Physics	1	2,60
9	MDPI	2	4,10	9	Cambridge Univ Pre...	1	2,60
10	Amer Physical Soc	1	2,00	10	Edp Sciences S A	1	2,60

2.123 Protein Structure, Folding & Modelling							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	41	18,50	1	Elsevier	37	16,50
2	Amer Chemical Soc	32	14,40	2	Amer Chemical Soc	35	15,60
3	Springer Nature	31	14,00	3	MDPI	34	15,20
4	Wiley	31	14,00	4	Springer Nature	26	11,60
5	Bentham Science Pu...	11	5,00	5	Wiley	19	8,50
6	Royal Soc Chemistr...	11	5,00	6	Oxford Univ Press	17	7,60
7	Int Union Crystall...	10	4,50	7	Frontiers Media Sa	12	5,40
8	Public Library Sci...	10	4,50	8	Int Union Crystall...	10	4,50
9	Oxford Univ Press	9	4,10	9	Royal Soc Chemistr...	6	2,70
16	MDPI	2	0,90	10	Bentham Science Pu...	5	2,20

2.089 Ionic, Molecular & Complex Liquids							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	147	41,40	1	Elsevier	148	46,80
2	Amer Chemical Soc	45	12,70	2	MDPI	47	14,90
3	Royal Soc Chemistr...	44	12,40	3	Amer Chemical Soc	38	12,00
4	Amer Inst Physics	25	7,00	4	Royal Soc Chemistr...	20	6,30
5	Springer Nature	17	4,80	5	Springer Nature	18	5,70
6	Taylor & Francis	17	4,80	6	Wiley	10	3,20
7	Wiley	15	4,20	7	AIP Publishing	9	2,80
8	Iop Publishing Ltd	11	3,10	8	Amer Physical Soc	9	2,80
9	Amer Physical Soc	9	2,50	9	Amer Inst Physics	6	1,90
10	MDPI	4	1,10	10	Iop Publishing Ltd	3	0,90

2.041 Catalysts							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	251	50,10	1	Elsevier	289	45,60
2	Amer Chemical Soc	64	12,80	2	Amer Chemical Soc	104	16,40
3	Royal Soc Chemistr...	62	12,40	3	MDPI	90	14,20
4	Wiley	36	7,20	4	Royal Soc Chemistr...	57	9,00
5	Springer Nature	30	6,00	5	Springer Nature	31	4,90
6	MDPI	11	2,20	6	Wiley	31	4,90
7	Taylor & Francis	7	1,40	7	Frontiers Media Sa	6	0,90
8	Amer Inst Physics	4	0,80	8	Amer Assoc Advance...	4	0,60
9	Iop Publishing Ltd	4	0,80	9	Iop Publishing Ltd	3	0,50
10	Amer Scientific Pu...	3	0,60	10	Taylor & Francis	3	0,50

2.259 Optical Chemistry							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Optical Soc Amer	10	19,60	1	Elsevier	9	15,80
2	Royal Soc Chemistr...	7	13,70	2	MDPI	8	14,00
3	Amer Chemical Soc	6	11,80	3	Springer Nature	6	10,50
4	Wiley	6	11,80	4	Royal Soc Chemistr...	6	10,50
5	Spie-Int Soc Optic...	5	9,80	5	Amer Chemical Soc	4	7,00
6	Elsevier	3	5,90	6	Spie-Int Soc Optic...	4	7,00
7	Springer Nature	3	5,90	7	Iop Publishing Ltd	3	5,30
8	IEEE	2	3,90	8	Frontiers Media Sa	2	3,50
9	Taylor & Francis	2	3,90	9	IEEE	2	3,50
10	Hindawi Publishing...	1	2,00	10	Optica Publishing ...	2	3,50

2.059 Pigments, Sensors & Probes							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Royal Soc Chemistr...	99	31,80	1	Royal Soc Chemistr...	70	25,50
2	Wiley	61	19,60	2	Amer Chemical Soc	58	21,20
3	Amer Chemical Soc	53	17,00	3	Wiley	46	16,80
4	Elsevier	43	13,80	4	MDPI	38	13,90
5	MDPI	14	4,50	5	Elsevier	32	11,70
6	Springer Nature	14	4,50	6	Springer Nature	11	4,00
7	Taylor & Francis	5	1,60	7	Frontiers Media Sa	4	1,50
8	IEEE	3	1,00	8	World Scientific	3	1,10
9	Iop Publishing Ltd	2	0,60	9	Sage	2	0,70
10	World Scientific	2	0,60	10	Amer Assoc Advance...	1	0,40

2.167 Microelectromechanical Systems							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Amer Chemical Soc	37	18,80	1	Amer Chemical Soc	40	26,30
2	IEEE	25	12,70	2	Royal Soc Chemistr...	33	21,70
3	Iop Publishing Ltd	24	12,20	3	MDPI	19	12,50
4	Elsevier	19	9,60	4	Wiley	18	11,80
5	Springer Nature	17	8,60	5	Elsevier	12	7,90
6	Amer Physical Soc	14	7,10	6	Amer Physical Soc	7	4,60
7	Royal Soc Chemistr...	12	6,10	7	Springer Nature	7	4,60
8	Wiley	10	5,10	8	AIP Publishing	4	2,60
9	Beilstein-Institut	9	4,60	9	IEEE	3	2,00
12	MDPI	4	2,00	10	A V S Amer Inst Ph...	1	0,70

2.076 2D Materials							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	90	21,30	1	Elsevier	79	16,90
2	Amer Chemical Soc	54	12,80	2	Amer Chemical Soc	62	13,30
3	Royal Soc Chemistr...	49	11,60	3	Amer Physical Soc	59	12,60
4	Wiley	37	8,80	4	MDPI	58	12,40
5	Iop Publishing Ltd	36	8,50	5	Royal Soc Chemistr...	44	9,40
6	Amer Physical Soc	35	8,30	6	Springer Nature	39	8,40
7	Springer Nature	31	7,30	7	Wiley	39	8,40
8	IEEE	23	5,50	8	Iop Publishing Ltd	27	5,80
9	Amer Inst Physics	14	3,30	9	IEEE	21	4,50
18	MDPI	2	0,50	10	AIP Publishing	6	1,30

2.062 Electrochemistry							
2015			2021				
#	Editorial	N	%	#	Editorial	N	%
1	Elsevier	152	42,80	1	Elsevier	242	36,60
2	Royal Soc Chemistr...	57	16,10	2	Amer Chemical Soc	99	15,00
3	Amer Chemical Soc	41	11,50	3	MDPI	80	12,10
4	Wiley	38	10,70	4	Wiley	75	11,30
5	IEEE	22	6,20	5	Royal Soc Chemistr...	70	10,60
6	Springer Nature	14	3,90	6	Springer Nature	27	4,10
7	Electrochemical So...	8	2,30	7	IEEE	23	3,50
8	MDPI	5	1,40	8	Electrochemical So...	15	2,30
9	Grupo Espanol Carb...	3	0,80	9	Iop Publishing Ltd	8	1,20
10	Amer Scientific Pu...	2	0,60	10	Amer Assoc Advance...	3	0,50

2.078 Photoluminescence					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Elsevier	73	42,00	1	Elsevier
2	Royal Soc Chemistr...	17	9,80	2	Royal Soc Chemistr...
3	Wiley	16	9,20	3	MDPI
4	Amer Chemical Soc	15	8,60	4	Wiley
5	Springer Nature	12	6,90	5	Amer Chemical Soc
6	Amer Inst Physics	7	4,00	6	Amer Physical Soc
7	Iop Publishing Ltd	5	2,90	7	Springer Nature
8	Int Union Crystall...	4	2,30	8	Int Union Crystall...
9	Optical Soc Amer	4	2,30	9	Amer Inst Physics
10	IEEE	3	1,70	10	Iop Publishing Ltd

2.001 Synthesis					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Wiley	251	29,30	1	Wiley
2	Amer Chemical Soc	211	24,60	2	Amer Chemical Soc
3	Royal Soc Chemistr...	176	20,50	3	Royal Soc Chemistr...
4	Elsevier	112	13,10	4	Elsevier
5	MDPI	22	2,60	5	MDPI
6	Springer Nature	21	2,50	6	Springer Nature
7	Thieme Medical Pub...	19	2,20	7	Thieme Medical Pub...
8	Bentham Science Pu...	9	1,10	8	Taylor & Francis
9	Beilstein-Institut	8	0,90	9	Bentham Science Pu...
10	Taylor & Francis	6	0,70	10	Soc Chimica Italia...

2.022 Inorganic & Nuclear Chemistry					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Royal Soc Chemistr...	183	29,00	1	Royal Soc Chemistr...
2	Elsevier	145	23,00	2	Elsevier
3	Amer Chemical Soc	112	17,80	3	Amer Chemical Soc
4	Wiley	99	15,70	4	Wiley
5	MDPI	19	3,00	5	MDPI
6	Springer Nature	16	2,50	6	Springer Nature
7	Int Union Crystall...	15	2,40	7	Int Union Crystall...
8	Taylor & Francis	9	1,40	8	Amer Inst Physics
9	Amer Inst Physics	4	0,60	9	Taylor & Francis
10	Amer Physical Soc	3	0,50	10	AIP Publishing

2.114 Organic Semiconductors					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Royal Soc Chemistr...	47	23,60	1	Amer Chemical Soc
2	Amer Chemical Soc	41	20,60	2	Royal Soc Chemistr...
3	Elsevier	32	16,10	3	Elsevier
4	Wiley	23	11,60	4	Wiley
5	IEEE	15	7,50	5	MDPI
6	Springer Nature	11	5,50	6	IEEE
7	Amer Inst Physics	5	2,50	7	Iop Publishing Ltd
8	Beilstein-Institut	4	2,00	8	Springer Nature
9	MDPI	4	2,00	9	Grupo Espanol Carb...
10	Spie-Int Soc Optic...	4	2,00	10	AIP Publishing

2.015 Physical Chemistry					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Amer Chemical Soc	67	18,30	1	Amer Chemical Soc
2	Elsevier	53	14,50	2	Royal Soc Chemistr...
3	Royal Soc Chemistr...	46	12,60	3	Elsevier
4	Iop Publishing Ltd	43	11,70	4	Springer Nature
5	Springer Nature	41	11,20	5	MDPI
6	Amer Inst Physics	40	10,90	6	Wiley
7	Wiley	38	10,40	7	Iop Publishing Ltd
8	Amer Physical Soc	19	5,20	8	Amer Physical Soc
9	Taylor & Francis	8	2,20	9	AIP Publishing
12	MDPI	2	0,50	10	Amer Inst Physics

2.276 Metalloenzymes					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Elsevier	12	25,00	1	Elsevier
2	Wiley	11	22,90	2	Wiley
3	Royal Soc Chemistr...	6	12,50	3	Amer Chemical Soc
4	Amer Chemical Soc	5	10,40	4	Royal Soc Chemistr...
5	Springer Nature	5	10,40	5	Springer Nature
6	Amer Soc Microbiol...	3	6,20	6	Amer Soc Microbiol...
7	Public Library Sci...	3	6,20	7	MDPI
8	Amer Soc Biochemis...	1	2,10	8	Humana Press Inc
9	Int Union Crystall...	1	2,10		
10	Natl Acad Sciences	1	2,10		

2.298 Perovskite Solar Cells					
2015			2021		
#	Editorial	N	%	#	Editorial
1	Amer Chemical Soc	23	34,80	1	Wiley
2	Royal Soc Chemistr...	21	31,80	2	Amer Chemical Soc
3	Wiley	10	15,20	3	Royal Soc Chemistr...
4	IEEE	3	4,50	4	Elsevier
5	Elsevier	2	3,00	5	Springer Nature
6	Amer Assoc Advance...	1	1,50	6	MDPI
7	Amer Physical Soc	1	1,50	7	AIP Publishing
8	Cambridge Univ Pre...	1	1,50	8	Int Union Crystall...
9	Chemical Soc Japan	1	1,50	9	Chemical Soc Japan
10	Iop Publishing Ltd	1	1,50	10	IEEE

títulos de revisión, en cambio, son trabajos que pretenden, a partir de una revisión bibliográfica de los estudios publicados en un período de tiempo dado, fijar el estado de la cuestión sobre un tema resumiendo los descubrimientos, innovaciones e ideas vertidos en la literatura científica.

Tradicionalmente, las revisiones han sido artículos realizados por encargo del equipo editorial de la revista a científicos reputados, autoridades científicas en el campo, que por serlo tendrían la capacidad de resumir el estado del arte. Estas revisiones adoptan un estilo narrativo en el que siguiendo un hilo argumentativo lógico se van desgranando

do y valorando los conocimientos aflorados en el tema en cuestión y en el período demarcado. El incremento masivo de estudios empíricos producido en el último cuarto del siglo pasado como consecuencia de la expansión universal de la ciencia junto a la dificultad de sintetizar cualitativamente el torrente de datos arrojado por las nuevas aportaciones dio lugar al nacimiento de las revisiones sistemáticas y metaanálisis. Con una óptica cuantitativa estas revisiones pretenden obtener evidencias empíricas sólidas basándose en una síntesis de datos empíricos arrojados por estudios similares y con diseños metodológicos robustos. Nacidos en las ciencias

de la salud donde ha dado lugar a lo que se denomina la medicina basada en la evidencia, inmediatamente este tipo de trabajos se ha extendido a todas las ciencias biológicas, naturales, sociales y humanas.

Cómo lógicamente se puede presuponer, la utilidad de estos estudios secundarios es muy elevada, pues cualquier científico cuando afronta un trabajo de investigación precisa realizar una revisión bibliográfica sistemática de lo conocido en su tema. Justamente por esta razón, las revisiones cuentan con una alta repercusión en términos de consultas y, sobre todo, de citas. De otro lado, las revisiones, sobre todo las sistemáticas, son muy baratas en términos de costes de investigación pues no requieren de los recursos económicos y humanos que exige el trabajo de campo en la investigación observacional o experimental. Esto las hace muy atractivas para aquellos autores que sin medios o apenas recursos desean publicar y alcanzar cierta notoriedad. El mismo aliciente opera en las direcciones editoriales de las revistas que están tentadas a usar este tipo de trabajos tanto para atraer a autores como para incrementar sus índices de impacto.

Es por lo que determinar la tipología de los artículos publicados en la revista, y por elevación de una editorial, pero especialmente ponderando el porcentaje de artículos de revisión que publican nos permite conocer si pueden constatar políticas y estrategias editoriales anómalas. Entiéndase que carece de sentido que una revista dedicada a publicar fundamentalmente artículos de investigación se dedique a poblar sus páginas de artículos de revisión. Si este es su propósito, ya, desde hace muchos años, existen las revistas especializadas en revisiones cuyos títulos son expresivos de su orientación: *Annual review of, Trends in, Current opinion in*.

De nuevo, para comprobar posibles anomalías de publicación seguiremos la misma estrategia anterior. Primero detectar el patrón de publicación mundial y compararlo con el español y con el patrón de las editoriales. Pues bien, tal como se puede apreciar en el Gráfico 1, el porcentaje de artículos de revisión publicados en revistas indexadas en WoScc oscila entre el 3,4% en 2015 y el 6,6% en 2021. El número de revisiones crece considerablemente pues se ha duplicado en ocho años. No obstante, se mantiene en cifras reducidas en relación con el resto de tipos documentales de una revista. En el caso de los autores españoles se aprecia un ligero mayor nivel de producción de revisiones, que evoluciona a ritmos parecidos al resto del mundo hasta el año 2020 en que la tasa española de publicación de revisiones queda por debajo de la media mundial.

En cambio, cuando centramos el foco en las editoriales *Frontiers* y *MDPI* otra vez nos topamos con una anomalía más que considerable. *Frontiers* y *MDPI* publican significativamente más revisiones. Por término medio en el período analizado *Frontiers* cuadruplica la media española, llegando algún año a sextuplicar la media mundial (2015). En el caso de *MDPI*, duplica la media española y en algunos casos llega a cuadruplicar la media mundial (2015).

Parece claro que los investigadores españoles han visto en *Frontiers* y *MDPI* un acogedor espacio donde alojar sus revisiones, y estas editoriales una excelente oportunidad

para ofrecer hospedaje, tras el pago de las correspondientes tasas (más modestas APC en *MDPI* y algo más elevadas en *Frontiers*) y de camino, con la atracción de autores de instituciones científicas respetables, legitimar su negocio y disipar las dudas pasadas sobre su reputación.

En fin, aquí concuerdan en perfecta simbiosis de mercado una demanda insaciable (autores ávidos de publicaciones) con una oferta copiosa (revistas ávidas de publicaciones que reportan sustanciosos ingresos por medio de APCs).

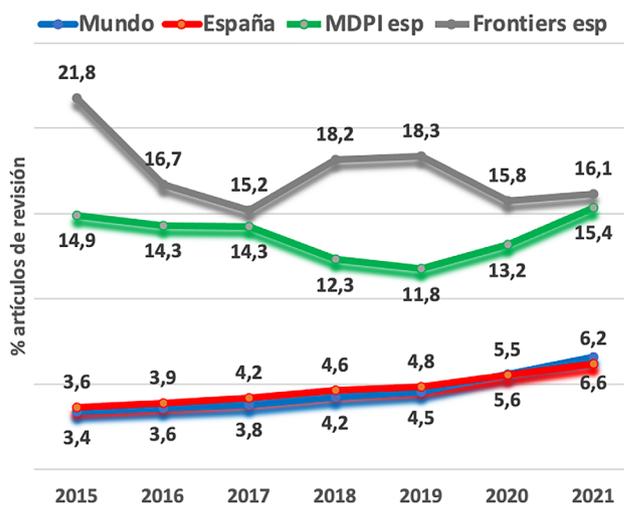


Gráfico 1. Comparación de los porcentajes de artículos de revisión publicados por investigadores españoles entre 2015 y 2021 en revistas MDPI y Frontiers frente a los publicados en España y el mundo en la Web of Science cc

La confirmación del comportamiento anómalo detectado en *Frontiers* y *MDPI* se corrobora al comparar sus tasas de publicación de revisiones por españoles con las de otras editoriales (Gráfico 2). Son muy superiores al resto de grandes editoriales; *Frontiers* triplica por término medio al resto de editoriales, mientras que *MDPI* duplica estos valores.

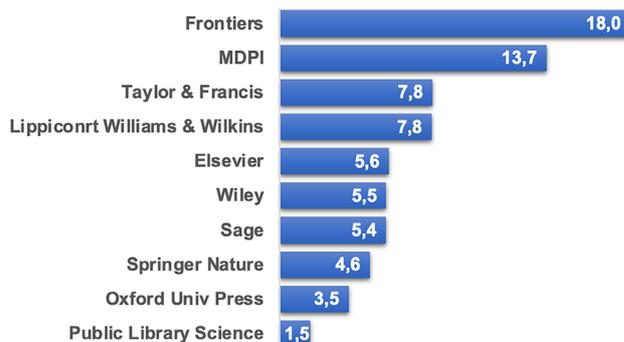


Gráfico 2. Porcentajes de artículos de revisión publicados por investigadores españoles en revistas editoriales indexadas en la Web of Science cc (2012-2021)

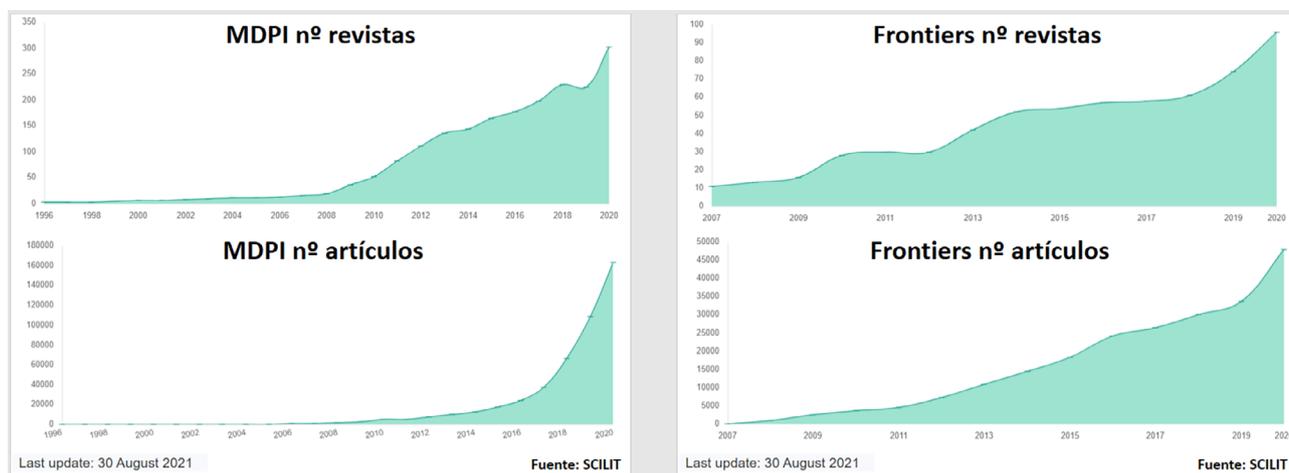


Gráfico 3. Crecimiento del número de revistas y artículos publicados por MDPI y Frontiers según Scilit

3.7 ¿Son estos anómalos patrones de publicación comunes a otros países? ¿Es España diferente?

El espectacular y desorbitado crecimiento de estas nuevas editoriales ya había sido advertido en estudios muy recientes centrados específicamente en el caso de MDPI [6-10]. Cabe recordar que se trata de dos editoriales de muy reciente creación: MDPI (Multidisciplinary Digital Publishing Institute) nace en 1996 y Frontiers en 2007 y que sólo publican artículos en acceso abierto tras el pago de unos cargos por procesamiento de artículos (APC). El crecimiento tanto en número de revistas como de artículos publicados es extraordinario, presentando rasgos propios en cada una de las editoriales (Gráfico 3). Si MDPI pasa de editar 173 revistas en 2015 a 417 en 2022, Frontiers pasará de 56 a 176. Si atendemos al volumen de artículos publicados en acceso abierto en la WoScc, MDPI se ha convertido en 2022 en la tercera editorial más productiva del mundo, encaramándose Frontiers a la sexta posición.

Dentro de esta dinámica, lo que hace singular el caso español es que su patrón de crecimiento está muy por encima de lo que acabamos de reseñar. En este sentido, podemos decir que lo ocurrido España no es diferente a lo que ha pasado en buena parte de los países de Europa del este y del sur. En un reciente trabajo [10] donde se listan los 20 países con mayor incremento en la cuota de mercado de MDPI entre 2011 y 2021, España se encuentra en la posición decimotercera, precedida por Rumanía, Polonia, Lituania, Eslovaquia, Letonia, Croacia, Eslovenia, Grecia, Portugal, Italia, Taiwan y Bulgaria (Gráfico 4).

Pero si hacemos un análisis tipológico de los 80 países con mayor tasa de publicación en MDPI (Gráfico 5) queda palpable que nuestro patrón de comunicación científica se parece bastante poco a los países que se sitúan en el centro de avance científico mundial (USA, Alemania, Gran Bretaña, Japón, Francia, Australia, Países Bajos, Suiza, países escandinavos). En cambio, presentamos similitudes elevadas con países que pueblan lo que podemos denominar de la periferia científica: aparte de los países del este y sur de Europa

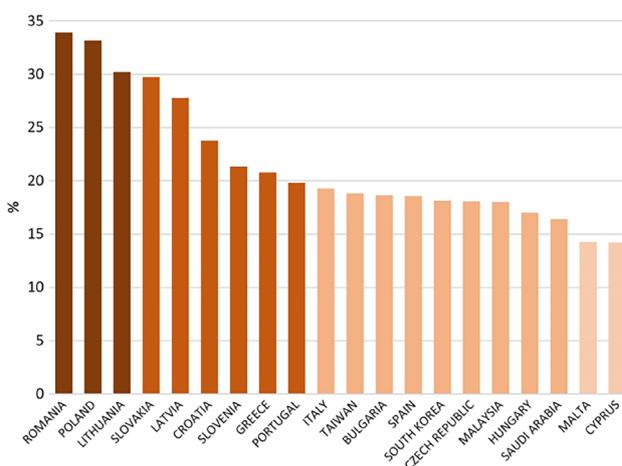


Gráfico 4. Países con mayor incremento en la cuota de mercado de MDPI entre 2011 y 2021

Fuente de datos: Csomós, G., Farkas, J.Z. (2022). Scientometrics. <https://doi.org/10.1007/s11192-022-04586-1> (gráfica reutilizada en virtud de la licencia CC-BY asignada al artículo)

se detectan parecidos con algunos países latinoamericanos como Ecuador, Colombia o Perú.

Lo que hay de común a esta serie de países es haber fijado políticas de evaluación de los investigadores que priorizan la publicación en revistas "internacionales" indexadas en los primeros cuartiles de los rankings bibliométricos derivados de la Web of Science (JCR) o Scopus (SJR) como principal indicador de éxito científico. El mérito de editoriales "nuevas" como MDPI y Frontiers es haber entendido mejor que nadie estas necesidades del "mercado" de publicación y haber ofrecido unos servicios editoriales muy eficientes (gran rapidez en el proceso de revisión y publicación a módicos costes y en acceso abierto) que las hacen enormemente atractivas para los investigadores. En fin, este es el mercado: los autores y las editoriales han optimizado sus comportamientos, unos para conseguir publicación rápida, fácil, y barata, los otros para captar muchos clientes que generen muchos ingresos en poco tiempo.

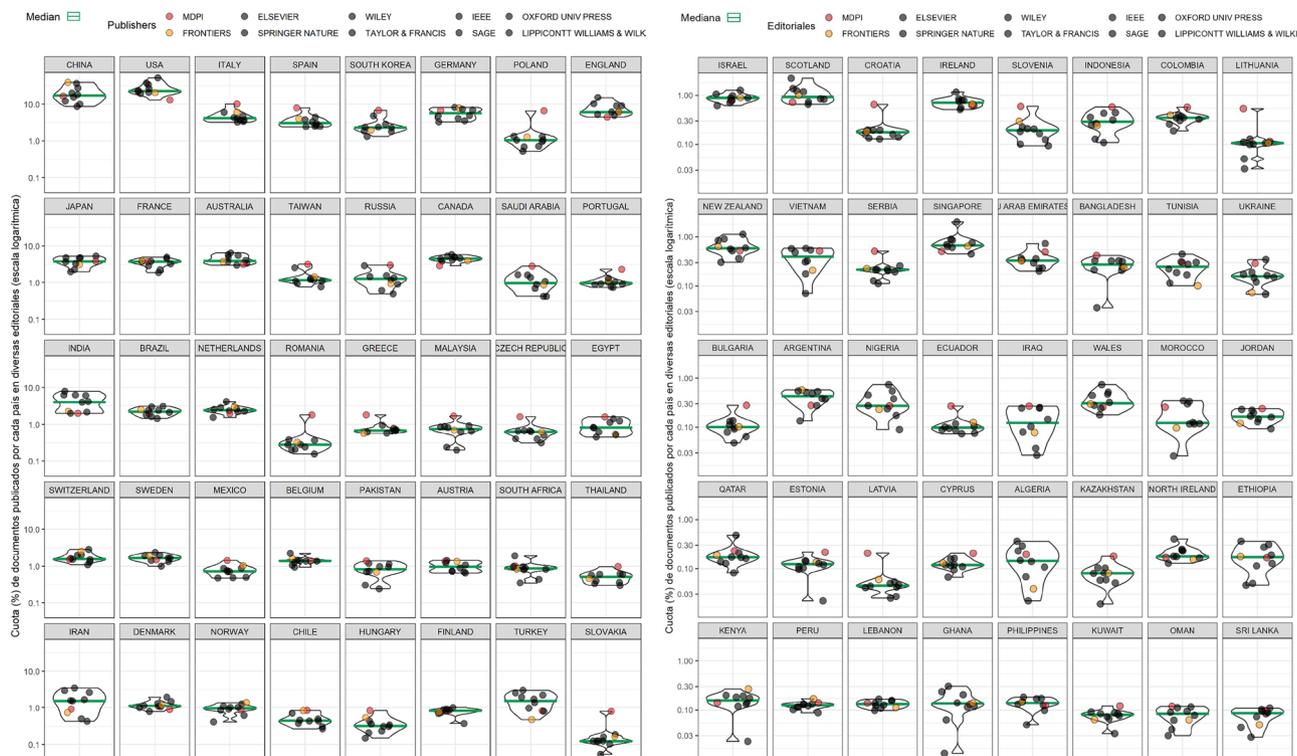


Gráfico 5. Distribución de cuotas de publicación por países en 10 grandes editoriales internacionales. Se muestran los 80 países con mayor cuota de publicación en MDPI.

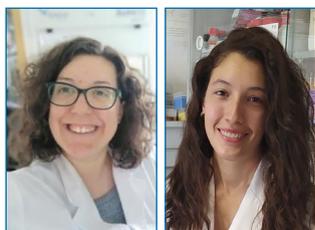
En un próximo artículo desgranaremos con detalle todos estos factores que son claves para entender los cambios en los patrones de comunicación científicos acaecidos en España en los últimos años y evidenciados en este trabajo.

Bibliografía

[1] M.Á. Oviedo-García, J.C. Casillas Bueno, M.R. González Rodríguez, *Análisis bibliométrico e impacto de las editoriales open-access en España 2021*.

[2] M.Á. Oviedo-García, *Research Evaluation* **2021**, *30*, 405-419.
 [3] M.Á. Oviedo-García, *Research Evaluation* **2021**, *30*, 420-420.
 [4] MDPI, *Response to: 'Bibliometric Analysis and Impact of Open-Access Editorials in Spain' report from ANECA 2021*.
 [5] V.A. Traag, L. Waltman, N.J. van Eck. *Scientific Reports* **2019**
 [6] D. Brockington, *MDPI Journals: 2015-2018* **2019**.
 [7] D. Brockington, *MDPI Journals: 2015-2019* **2020**.
 [8] D. Brockington, *MDPI Journals: 2015-2021* **2022**.
 [9] C. Petrou, *MDPI's Remarkable Growth* **2020**.
 [10] P. Crosetto, *Is MDPI a predatory publisher?* **2021**.
 [11] G. Csomós, J.Z. Farkas, *Scientometrics* **2022**.

ENSEÑANZA
DE LA QUÍMICA



A. González

L. Sabio



J. M. Domínguez-Vera

Departamento de Química Inorgánica,
Instituto de Biotecnología, Universidad
de Granada

C-e: josema@ugr.es

Recibido: 16/09/2022

Aceptado: 23/03/2023

ORCID: 0000-0001-9463-5717

ORCID: 0000-0002-9263-7177

ORCID: 0000-0002-1639-744X

Érase una vez el hierro

Ana González , Laura Sabio  y José M. Domínguez-Vera 

Resumen: El cuerpo humano ha desarrollado toda una maquinaria química dedicada exclusivamente al hierro. Esta maquinaria funciona de una forma tan extraordinariamente bella y eficaz que uno se asombra al conocerla. Este artículo muestra el “viaje” que hace el hierro de los alimentos por el cuerpo humano, descubriendo un mundo increíble de proteínas que lo captan, lo transforman, lo almacenan, lo liberan y lo emplean.

Palabras clave: Hierro, Bioinorgánica, Anemia.

Abstract: The human body has developed chemical machinery dedicated exclusively to iron. This machinery works in such an extraordinarily beautiful and effective way that one is astonished to meet it. This article shows the “journey” that iron from food makes through the human body, discovering an incredible world of proteins that capture it, transform it, store it, release it and use it.

Keywords: Iron, Bioinorganic Chemistry, Anemia.

Introducción

El “viaje” del hierro dentro del cuerpo humano es fascinante. La maquinaria química que el cuerpo humano ha desarrollado exclusivamente para el hierro es extraordinariamente bella y eficaz. Las funciones cruciales que el hierro desempeña justifican el esfuerzo por parte del cuerpo humano para desarrollar dicha maquinaria.

La cantidad de hierro que tenemos los humanos es muy pequeña, unos 4-5 gramos (0.005% del peso medio), pero es vital para que podamos respirar, para que nuestros músculos puedan funcionar, para nuestro sistema inmunológico, para la síntesis de muchas biomoléculas, etc.^[1]

Cabe preguntarse ¿por qué? ¿Por qué el hierro es tan importante para la vida? De hecho, la inmensa mayoría de los organismos vivos dependen del hierro para vivir. En nuestro planeta hay muchos metales además del hierro, ¿por qué la vida eligió al hierro para llevar a cabo la mayoría de los procesos fundamentales? Durante el desarrollo de las primeras formas de vida, o quizás incluso desde su origen, la vida requirió la presencia de iones metálicos para llevar a cabo determinadas funciones que le permitieran desarrollarse y evolucionar en su ambiente químico.

Este escenario puede visualizarse como si la vida hubiera convocado elecciones en busca del metal ideal para llevar a cabo su desarrollo y evolución. A estas elecciones se presentaron todos los metales. El hierro, en su programa electoral, llevaba dos propuestas muy convincentes. En primer lugar, el hierro es muy abundante.

En la corteza terrestre es de hecho, el cuarto metal más abundante.^[2] Hay que pensar que la composición química de cualquier organismo vivo es en cierta forma un reflejo de la composición química del entorno donde se origina y desarrolla. El desarrollo de un organismo vivo no puede depender de un elemento químico que sea escaso en el escenario donde vive. En segundo lugar, el hierro presenta básicamente dos estados de oxidación, Fe(II) y Fe(III). Ambos son relativamente estables y cinéticamente lábiles, lo que permite que su interconversión pueda ser utilizada para la captación o donación de electrones en otras reacciones. Además, el hierro, en diferentes estados de oxidación, puede interaccionar y activar algunas moléculas inertes, como O₂, N₂, CH₄, etc, y controlar su reactividad para generar nuevos compuestos químicos de interés para los organismos vivos.^[3-6] En definitiva, abundancia y propiedades químicas del hierro hicieron que la vida optara mayoritariamente por este metal

para llevar a cabo un gran número de funciones cruciales para los organismos vivos.

Cierto es que, tras la elección de hierro, la vida se encontró con algunos problemas. En primer lugar, la insolubilidad del ion Fe(III). La vida se originó hace unos 3.500 millones de años en una atmósfera reductora, y por tanto, el hierro era mayoritariamente Fe(II). Sin embargo, la proliferación de organismos fotosintéticos y su emisión de O₂ hizo que la atmósfera virara progresivamente de reductora a oxidante, lo que se ha denominado crisis o catástrofe del oxígeno, hace aproximadamente 2.500 millones de años, 1.000 millones de años después de la aparición de las primeras formas de vida.^[7] La presencia de O₂ en la atmósfera hizo que el hierro se encontrara fundamentalmente como Fe(III) y dada su insolubilidad, obligó a los organismos vivos a desarrollar moléculas específicas para su captación y solubilización. En segundo lugar, el hierro en exceso puede dar lugar a la formación de radicales libres OH·, mediante las reacciones de Fenton^[8] y Haber-Weiss.^[9] Esto obligó a los organismos a captar Fe(II) y Fe(III) y modular su potencial redox para impedir esta indeseable reacción.^[1]

En definitiva, la vida optó por hierro, pero se vio obligada a desarrollar toda una maquinaria para solventar sus inconvenientes. Desde esta elección, el hierro es tan importante para el desarrollo de los organismos vivos que la vida puede considerarse como una lucha por el hierro. Una bacteria patógena, por ejemplo, necesita hierro para proliferar e infectar, y dedica mucha energía para captarlo. Sintetiza un tipo de moléculas pequeñas, denominadas sideróforos, que son excretadas al medio para captar Fe(III), internalizándose posteriormente a través de canales específicos que la bacteria ha expresado en su membrana.

^[10] Otras bacterias han sido capaces de desarrollar en su membrana receptores específicos para captar el hierro en las formas químicas que tiene el propio huésped infectado.

^[11] De hecho, el cuerpo humano dispone de una proteína, la lactoferrina, presente en leche y la mayoría de los fluidos biológicos, cuya función es competir por el hierro que pueda ser captado eventualmente por un patógeno.^[12]

Los humanos adquirimos el hierro de la dieta alimentaria. La cantidad de hierro diaria recomendada es muy pequeña, 8 y 18 mg para adultos varones y hembras, respectivamente. Esto es así debido a que el hierro se recicla continuamente en el cuerpo humano. No existe ningún sistema de excreción específico. Las únicas pérdidas de hierro tienen lugar por heridas o durante la menstruación. Los humanos hemos desarrollado toda una maquinaria química para aprovechar el potencial químico del hierro al servicio de la vida, intentando evitar sus inconvenientes.

El viaje del hierro en el cuerpo humano

El hierro en los alimentos se encuentra en tres formas químicas: Fe(II), Fe(III) o hierro-hemo, dependiendo del tipo de alimento. El hierro-hemo es típico de los alimentos cárnicos.

¿Qué sucede cuando adquirimos los alimentos? Cuando comemos, el bolo alimenticio llega al estómago, se mezcla

con el ácido gástrico (pH 2-3) y es degradado por las enzimas digestivas en nutrientes, para que puedan ser absorbidos y pasar a la sangre. El hierro en el estómago queda como Fe(II), Fe(III) o hierro-hemo, dependiendo del alimento que estemos comiendo. En el estómago no hay absorción de hierro. La absorción de hierro tiene lugar mayoritariamente en el duodeno, que es la parte del intestino delgado (pH entorno a 6) que va justo después del estómago.

Cuando el bolo alimenticio pasa al duodeno, se encuentra con células de enterocito que tienen ciertas particularidades con respecto a los enterocitos del resto del aparato digestivo (Figura 1). Estas particularidades se han desarrollado precisamente para que tenga lugar la absorción de hierro. Hay que pensar que al pH del duodeno (pH 6), las especies Fe(II) y especialmente Fe(III), son insolubles. El Fe(III) es más insoluble debido a su mayor poder polarizante (menor radio atómico y mayor carga). Por lo tanto, el tejido adecuado donde absorber hierro es precisamente el duodeno, justo después del estómago, evitando así los impedimentos del trasiego de especies de hierro insolubles.

¿Qué sucede en el duodeno? Los enterocitos del duodeno contienen un receptor en su membrana, denominado HCP1 (haem carrier protein 1), para internalizar específicamente hierro-hemo.^[13] La presencia de este receptor hace que el hierro de la carne, básicamente hierro-hemo, se absorba con facilidad (Figura 1).

Pero el cuerpo humano necesita absorber las otras formas químicas Fe(II) y Fe(III). En el enterocito del duodeno, como en la gran mayoría de las células, existen canales DMT1 (divalent metal transporter), disponibles para la internalización de algunos iones metálicos divalentes, entre ellos el ion Fe(II). Sin embargo, el hierro en el duodeno es mayoritariamente Fe(III) debido a la actividad oxidante del estómago y al mayor pH del duodeno, que facilita la oxidación Fe(II) a Fe(III). Y el ion Fe(III) no puede usar este canal DMT1 para absorberse. Para solventar este problema, los enterocitos del duodeno han desarrollado una proteína de membrana, denominada DcytB (Duodenal cytochrome B), que facilita la reducción de Fe(III) a Fe(II), para que éste último pueda ser absorbido a través de DMT1 (Figura 1). DcytB cataliza la reducción del ácido ascórbico oxidado, para reducir Fe(III) a Fe(II).^[14] De ahí que cuando se prescribe medicamento el uso de suplementos de hierro para el tratamiento de anemia por deficiencia de hierro, se recomiende su coadministración con zumo de naranja, rico en vitamina C (ácido ascórbico).

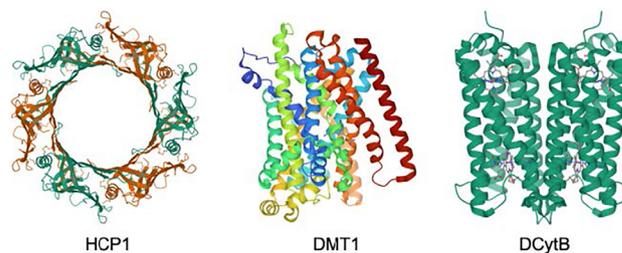


Figura 1. Proteínas de membrana del enterocito del duodeno relacionadas con la absorción de hierro. HCP1, canal específico para la internalización de hierro-hemo (PDB 1Y12). DMT1, transportador de iones metálicos divalentes, incluido Fe(II) (PDB 6TL2). DcytB, enzima ferrireductasa que facilita la reducción de Fe(III) a Fe(II) (PDB 5ZLE).

Todo el hierro una vez en el interior del enterocito del duodeno se encuentra en forma de Fe(II), independientemente del alimento que hayamos tomado: el ion Fe(II) se incorpora directamente por el canal DMT1; el Fe(III) es reducido a Fe(II), mediante ácido ascórbico con la participación de DcytB, e internalizado vía DMT1; y el hierro-hemo, internalizado directamente a través de HCP1, es degradado en el interior del enterocito a través de una enzima que libera Fe(II) de la forma hierro-hemo (Figura 1).

¿Qué ocurre con el Fe(II) una vez dentro del enterocito? El enterocito del duodeno, como cualquier otra célula del cuerpo humano, requiere hierro para diferentes funciones celulares. Una vez cubiertas estas necesidades, el hierro pasa al torrente sanguíneo.

El paso de Fe(II) del interior del enterocito del duodeno a la sangre tiene lugar a través de una proteína de membrana denominada ferroportina (Figura 2).^[15] Una vez en sangre, el hierro debe ser transportado a todas las células del cuerpo humano. El único transportador de hierro en sangre es la transferrina, una proteína con una alta afinidad por Fe(III), pero no por Fe(II). La esfera de coordinación del centro activo de la transferrina, formada por 2 fenolatos de aminoácidos tirosina, un oxígeno de carboxilato de un aminoácido aspartato y dos oxígenos del anión bicarbonato, justifican la preferencia por un ion metálico duro, como Fe(III) (Figura 3).^[16] Por tanto, el Fe(II) que alcanzara el torrente sanguíneo vía ferroportina, no tendría transportador. Este contratiempo ha sido solventado gracias a la expresión de una proteína de membrana en enterocito, que oxida el Fe(II) que atraviesa el canal ferroportina, a Fe(III), para que una vez en sangre pueda ser captado por la transferrina. Esta proteína ferrioxidasa es la hefaestina.^[17] La hefaestina es una proteína de cobre. Esto hace que, de hecho, un déficit de cobre en el cuerpo humano conlleve un déficit de hefaestina. Y, por tanto, una menor absorción de hierro, pudiéndose incluso generar anemia por deficiencia de cobre.



Figura 2. Ferroportina (PDB 6W4S), proteína de membrana del enterocito del duodeno que permite el paso del hierro desde el interior del enterocito al torrente sanguíneo.

Cada transferrina puede transportar un máximo de dos Fe(III) a todas las células del cuerpo humano, incluidas las del cerebro, puesto que esta proteína, una vez que contiene hierro,

atraviesa la membrana hematoencefálica. Todas las células del cuerpo humano tienen un receptor de membrana específico de transferrina (RTf), que permite la internalización de transferrina (si contiene hierro) y la posterior liberación de hierro en el citoplasma. RTf es regulado a nivel celular, de tal forma que es expresado según la necesidad de hierro de la célula. Si necesita hierro, aumenta la cantidad de receptor de transferrina en su membrana; si no necesita, elimina estos receptores.

Y es que es muy importante que cada célula tenga el nivel de hierro óptimo para funcionar. Poco hierro le impide funcionar bien, pero un exceso también es contraproducente, por el inconveniente de la producción de radicales tóxicos para la propia célula. Así que la célula controla de forma muy exhaustiva los niveles de hierro. Y, de hecho, cuando siente que tiene mucho hierro, lo almacena para que pueda ser utilizado en otro momento. Y, además, lo almacena de forma que este hierro sobrante no pueda generar radicales tóxicos. El almacén de hierro en la célula es la proteína ferritina. La ferritina es una proteína de alto peso molecular (450 KDa) con una estructura esférica, que contiene en su interior una cavidad hueca donde es capaz de albergar miles de átomos de hierro (Figura 4).^[18, 19]

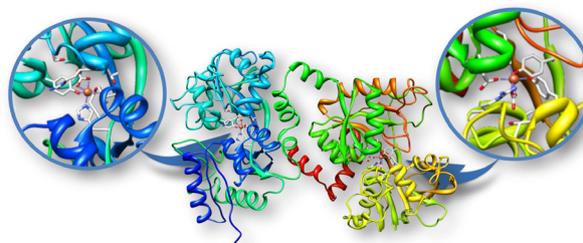


Figura 3. Estructura de la transferrina, transportadora de hierro, indicando la localización de los dos sitios de coordinación de Fe(III).

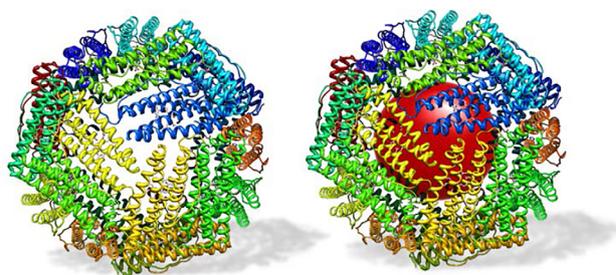


Figura 4. Estructura de la ferritina sin hierro (apoferritina) y con el hierro almacenado en su cavidad interna.

El proceso de captación de hierro por parte de cada célula está regulado por una proteína IRP (iron responsive protein). Si hay exceso de hierro en la célula, la proteína IRP adquiere una conformación estructural que bloquea la síntesis de RTf y promueve la síntesis de ferritina. Si, por el contrario, la célula requiere hierro, la IRP permite la expresión de RTf y bloquea la síntesis de almacén ferritina.^[20] Asimismo, si es

necesario, la célula pone en marcha la liberación del hierro de la ferritina existente.

Seguimos el viaje. Volvemos a la sangre. La transferrina lleva hierro a todas las células, pero donde más se necesita hierro, donde el cuerpo humano lleva casi todo su hierro, un 65%, es para producir hemoglobina, la proteína que está dentro de los glóbulos rojos de la sangre y cuya función es transportar oxígeno molecular (O_2).^[21] La hemoglobina se produce en la médula ósea, un tejido biológico que hay en muchos huesos del cuerpo, sobre todo los largos, y allí se producen los glóbulos rojos, los blancos y las plaquetas de la sangre. Toda la médula ósea de nuestro cuerpo produce al día unos 2 millones de glóbulos rojos.^[22] Y en cada glóbulo rojo hay aproximadamente 260 millones de hemoglobinas.^[23] La hemoglobina es una proteína de cuatro subunidades, cada una de las cuales contiene un hierro-hemo. El O_2 es captado y se transporta enlazado al hierro de este grupo hemo (Figura 5).^[21]

¿Por qué la hemoglobina es tan importante? La hemoglobina es la proteína que se encarga de transportar O_2 a todos los músculos para que tengan energía para funcionar. El O_2 es nuestra gasolina. Sin él, nos cansamos, no podemos hacer ejercicios físicos ni pensar, tenemos anemia. Si tenemos síntomas de anemia, vamos al médico y nos hace un análisis de sangre. Si tenemos bajos los niveles de hemoglobina, el primer diagnóstico es anemia por deficiencia de hierro. No tenemos hierro suficiente para sintetizar hemoglobina. Y el médico nos prescribe enriquecer nuestra dieta en hierro o incluso tomar algún suplemento de hierro extra.

La hemoglobina que va en el glóbulo rojo va por la sangre hasta el pulmón. Y en el pulmón, al respirar, hay una alta presión de O_2 , lo que permite que el hierro de la hemoglobina lo capte. Una vez saturada de O_2 , la hemoglobina lo lleva a todos los músculos del cuerpo que necesitan gasolina para poder funcionar. Y una vez liberado el O_2 , la hemoglobina capta el CO_2 (no enlazado al hierro) producido en el músculo, que es liberado a la vuelta en el pulmón, durante la espiración. Y vuelven a captar O_2 y llevarlo a los músculos, y así ciclos y ciclos...

¿Ciclos y ciclos hasta siempre? No. Los glóbulos rojos son células que no tienen núcleo y que carecen de un sistema potente de reparación celular. Los glóbulos tienen una vida media de 120 días y cuando envejecen (glóbulos rojos senescentes), son destruidos por un proceso de muerte celular programada, a través de unas células llamadas macrófagos, sobre todo del bazo y el hígado.

En los macrófagos, los glóbulos rojos son degradados y el hierro liberado, en forma de $Fe(II)$, vuelve a ser inyectado al torrente sanguíneo. Para pasar este $Fe(II)$ a la sangre, los macrófagos tienen, igual que los enterocitos del duodeno, los canales ferroportina. Al igual que ocurría con los enterocitos del duodeno, el $Fe(II)$ liberado del macrófago no puede ser captado por transferrina y por tanto tienen que ser convertido a $Fe(III)$. En la membrana de los macrófagos, a diferencia de los enterocitos del duodeno, no hay hefaestina, sino que es una proteína de sangre, muy parecida a la hefaestina, la que se encarga de convertir $Fe(II)$ en $Fe(III)$. Esta proteína, también de cobre, es la ceruloplasmina (Figura 6).^[17] Así que, una vez convertidos en $Fe(III)$, éstos vuelven a ser captados por la transferrina y vuelve a comenzar el transporte por sangre

a todas las células de nuestro cuerpo, especialmente a las de la médula ósea para la síntesis de hemoglobina.

Por tanto, el hierro recircula en el cuerpo humano. No hay de hecho un mecanismo para su excreción. Gracias a que el hierro de la hemoglobina es recirculado a través de los macrófagos, la cantidad de hierro que necesitamos al día es muy pequeña. De los 4-5 gramos que tenemos de hierro en el cuerpo, solo necesitamos ingerir 8-18 mg/día. El cuerpo humano nunca elimina hierro expresamente, excepto en las mujeres, quienes a través de la menstruación, excretan hierro. Por eso necesitan algo más de hierro en la dieta y son más propensas a sufrir episodios de anemia por deficiencia de hierro.

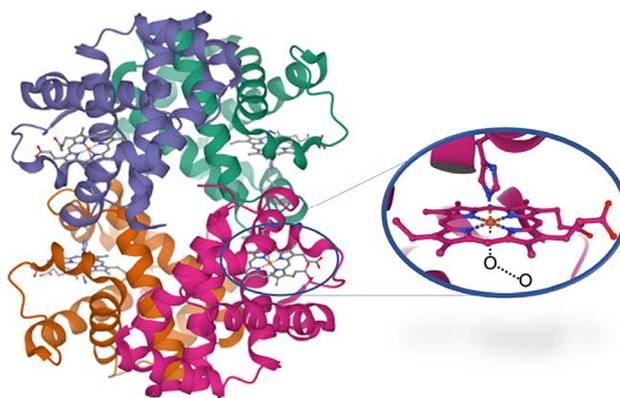


Figura 5. Estructura de la hemoglobina mostrando los cuatro centros activos, uno por cada subunidad. El enlace de la molécula de O_2 completa la esfera de coordinación del hierro en el grupo hemo. (PDB 1SI4).

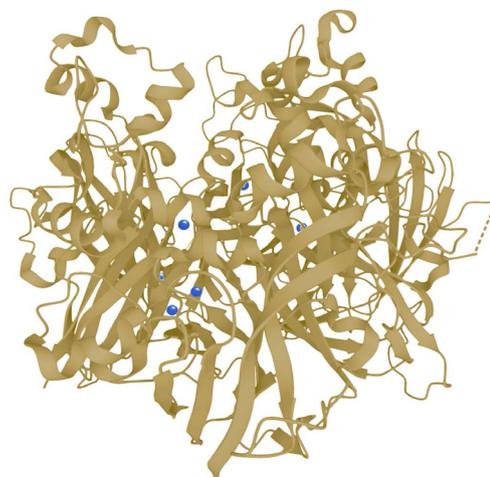


Figura 6. Estructura de la ceruloplasmina mostrando los iones de cobre en azul (PDB 4ENZ).

Es tan importante el hierro en el cuerpo humano que éste reacciona ante una falta de hierro e intenta maniobrar para compensar esta falta. Hay una proteína que tiene en estos procesos un papel determinante, la hepcidina (Figura 7).^[24]

¿Qué hace la hepcidina? La hepcidina bloquea los canales de ferroportina. Si el cuerpo tiene mucho hierro, los niveles de hepcidina en sangre aumentan para bloquear estos canales e impedir la entrada de hierro a la sangre desde el enterocito del duodeno y en la recirculación desde

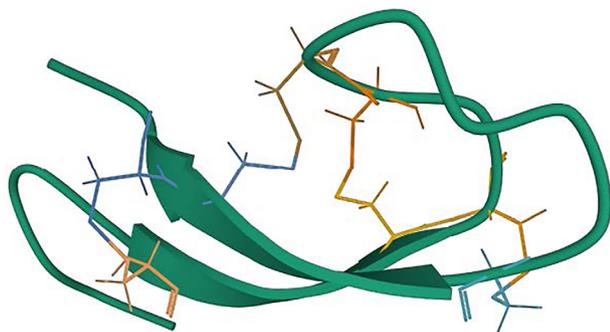


Figura 7. Estructura de la hormona hepcidina (PDB 2KEF).

los macrófagos. ¿Y si hay falta de hierro? Pues los niveles de hepcidina en sangre disminuyen y permite la entrada óptima de hierro a través de estos mismos canales. Así que los niveles de hepcidina en sangre nos revelan el estado del metabolismo del hierro en el cuerpo humano, y es por tanto un marcador esencial para diagnosticar posibles patologías asociadas al déficit o exceso de hierro.^[25]

Conclusiones

Los organismos vivos, para su propio origen y/o para evolucionar requirieron iones metálicos para llevar a cabo determinadas reacciones. El hierro, por abundancia en la corteza terrestre y por sus propiedades químicas fue el elegido mayoritariamente para estos fines. En el cuerpo humano, el hierro es protagonista porque constituye el centro activo de la hemoglobina, que se encarga de transportar oxígeno a todos los músculos, un proceso crucial para la vida. Pero también forma parte de otros procesos vitales, como transferencia electrónica, activación/catálisis de moléculas, etc. La importancia del hierro en nuestro cuerpo queda reflejada por el esfuerzo realizado para absorberlo, transportarlo, almacenarlo y utilizarlo adecuadamente. En este artículo describimos las proteínas fundamentales involucradas en estos procesos: HCP1, DcytB, DMT1, ferroportina, hefaestina, transferrina, ferritina, hemoglobina, ceruloplasmina y hepcidina. Todas ellas constituyen una maquinaria perfectamente orquestada para poder hacer uso de este metal fundamental para nuestras vidas.

Agradecimientos

Agradecimiento a la Junta de Andalucía (Grupo BioNano-Met, FQM368) y al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades (MICIU) (FEDER PID2019-111461GB-I00) por la financiación.

La historia "Erase una vez el hierro" está en versión vídeo animado (https://www.youtube.com/watch?v=fx_DvblpPUw). Queremos agradecer a Jesús Perfiñez, Concepción Alonso y M^o Carmen Hidalgo (Facultad de Bellas Artes, Universidad de Granada), la elaboración de dicho vídeo. Así como a M^o Isabel Fernández (Facultad de Ciencias de Lugo, Universidad de Santiago de Compostela) por su traducción al gallego.

Bibliografía

- [1] R. Crichton en *Inorganic Biochemistry of Iron Metabolism: From Molecular Mechanisms to Clinical Consequences*, (Ed. John Wiley & Sons), West Sussex, 2002.
- [2] J.J.R. Frausto da Silva, and R.J.P. Williams en *The Biological Chemistry of the Elements*, (Ed. Clarendon Press), Oxford, 1991.
- [3] S. Sahu, D. P. Goldberg, *J. Am. Chem. Soc.* **2016**, *138*, 11410–11428.
- [4] D. Kass, T. Corona, K. Warm, B. Braun-Cula, U. Kuhlmann, E. Bill, S. Mebs, M. Swart, H. Dau, M. Haumann, P. Hildebrandt, K. Ray, *J. Am. Chem. Soc.* **2020**, *142*, 5924–5928.
- [5] M. Costas, M. P. Mehn, M. P. Jensen, L. Que Jr., *Chem Rev.* **2004**, *104*, 939–86.
- [6] M. Sánchez, L. Sabio, N. Gálvez, M. Capdevila, J. M. Domínguez-Vera, *IUBMB Life* **2017**, *69*, 382–288.
- [7] T. W. Lyons, C. T. Reinhard, N. J. Noah, *Nature* **2014**, *506*, 307–15
- [8] H.J.H. Fenton, *J. Chem. Soc., Trans.* **1894**, *65*, 899–910.
- [9] F. Haber, J. Weiss, *Proc. Roy. Soc. Ser. A* **1934**, *147*, 332–51.
- [10] J. Kramer, Ö. Özkaya, R. Kümmerli, *Nat Rev Microbiol* **2020**, *18*, 152–163.
- [11] M. Caza, J. W. Kronstad. *Front. Cell. Infect. Microbiol.* **2013**, *3*, 80.
- [12] H. Vogel, *J. Biochem. Cell Biol.* **2012**, *90*, 233–244
- [13] M. Shayeghi, G. O. Latunde-Dada, J. S. Oakhill, A. H. Laftah, K. Takeuchi, N. Halliday, Y. Khan, A. Warley, F. E. McCann, R. C. Hider, D. M. Frazer, G. J. Anderson, C. D. Vulpe, R. J. Simpson, A. T. McKie, *Cell* **2005**, *122*, 789–801.
- [14] A. T. McKie, D. Barrow, G. O. Latunde-Dada, A. Rolfs, G. Sager, E. Mudaly, M. Mudaly, C. Richardson, D. Barlow, A. Bomford, T. J. Peters, K. B. Raja, S. Shirali, M. A. Hediger, F. Farzaneh, R. J. Simpson, *Science* **2001**, *291*, 1755–9.
- [15] L. T. Vlasveld, R. Janssen, E. Bardou-Jacquet, H. Venselaar, H. Hamdi-Roze, H. Drakesmith, D. W. Swinkels, *Pharmaceuticals* **2019**, *12*, 132.
- [16] A. M. N. Silva, T. Moniz, B. de Castro, M. Rangel, *Coord. Chem. Rev.* **2021**, *449*, 214186.
- [17] B. Jiang, G. Liu, J. Zheng, M. Chen, Z. Maimaitiming, M. Chem, S. Liu, R. Jiang, B. K. Fuqua, J. K. Dunaief, C. D. Vulpe, G. J. Anderson, H. Wang, H. Chen, *Sci Rep* **2016**, *6*, 39470.
- [18] N.D. Chasteen, P.M. Harrison, *J. Struct. Biol.* **1999**, *126*, 182.
- [19] F. Carmona, O. Palacios, N. Gálvez, S. Atrian, M. Capdevila, J.M. Domínguez-Vera. *Coord. Chem. Rev.* **2013**, *257*, 2752–2764.
- [20] G. P. Holmes-Hampton, M. C. Ghosh, T. A. Rouault, *Methods in Enzymology* **2018**, *599*, 139–155.
- [21] Y. Yuan, M. F. Tam, V. Simplaceanu, Ho., *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 1702–1724.
- [22] M. Moras, S. D. Lefevre, M. A. Ostuni, *Front. Physiol.* **2017**, *8*, 1076.
- [23] T. Yoshida, M. Prudent, A. D'Alessandro, *Blood Transf.* **2019**, *17*, 27–52.
- [24] C. B. Billesbolle, C. M. Azumaya, R. C. Kretsch, A. S. Powers, S. Gonen, S. Schneider, T. Arvedson, R. O. Dror, Y. Cheng, A. Manglik, *Nature* **2020**, *586*, 807–811.
- [25] Y. Pan, Z. Ren, S. Gao, J. Shen, L. Wang, Z. Xu, Y. Yu, P. Bachina, H. Zhang, X. Fan, A. Laganowsky, N. Yan, M. Zhou, *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 5686.

La regla de Madelung-Klechkowskii: origen, empleo como instrumento didáctico y limitaciones

J. Quílez Pardo 

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA



J. Quílez Pardo

GDH – RSEQ

Recibido: 19/12/2022

Aceptado: 07/05/2023

ORCID: 0000-0001-5428-4617

Resumen: Se realiza un análisis histórico inicial tanto del origen de la regla de Madelung-Klechkowskii como de su rápida incorporación como instrumento didáctico, lo que propició la propuesta de numerosas reglas nemotécnicas para facilitar su aprendizaje. Posteriormente, se analiza la incorrección con la que mecánicamente se suele aplicar esta regla, mediante un estudio particular de las configuraciones electrónicas de los elementos de la primera serie de transición. Finalmente, se ejemplifican sus limitaciones referidas a los elementos de transición y a sus iones.

Palabras clave: Configuración electrónica, sistema periódico, regla de Madelung, diagramas energéticos, reglas nemotécnicas

Abstract: It is carried out an initial historical analysis of the origin of the Madelung-Klechkowskii rule as well as of its rapid incorporation as a didactic instrument, which led to the proposal of numerous mnemonic rules to facilitate its learning. Subsequently, it is analysed the incorrect way with which this rule is usually mechanically applied, through a particular study of the electronic configurations of the elements of the first transition series. Finally, it is exemplified its limitations regarding the transition elements and their ions.

Keywords: Electronic configuration, periodic system, Madelung's rule, energetic diagrams, mnemonic rules.

Introducción

El conocimiento de la configuración electrónica de los elementos químicos es un tema fundamental en la enseñanza de la química, ya que resulta un requisito básico en la comprensión de: a) las propiedades periódicas que subyacen en el sistema periódico; b) los enlaces que forman los distintos elementos y, por tanto, de su reactividad química. Por ello, los criterios de distribución de electrones en los átomos normalmente se suelen introducir en los cursos de química preuniversitarios. Conviene, por tanto, desde la perspectiva del establecimiento del origen y del desarrollo de la ciencia,^[1] conocer cómo hemos llegado a saber lo que sabemos de la estructura electrónica de los átomos.

El objetivo de este trabajo es el de continuar la reconstrucción histórica de los primeros modelos de configuración electrónica realizados a principios del siglo pasado.^[2] Particularmente, se analizará críticamente la denominada regla de Madelung como principio de construcción electrónica, lo que nos permitirá conocer las propuestas didácticas que se han realizado para su enseñanza, así como sus limitaciones.

La regla de Madelung-Klechkowskii

A principios del siglo xx Thomson realizó el primer intento de explicación del sistema periódico en términos del establecimiento de las configuraciones electrónicas de los distintos

elementos químicos.^[3] Un avance importante se produjo con este propósito entre los años 1919 y 1924. Los trabajos de Langmuir,^[4] Bury,^[5] Bohr^[6] y Main Smith^[7] fueron progresando en el desarrollo de un patrón para la distribución de los distintos electrones de un átomo en capas sucesivas. Los trabajos pioneros de Stoner^[8] y de Pauli^[9] en la caracterización de cada uno de los electrones de un átomo mediante valores propios de cada uno de los cuatro números cuánticos, así como la posterior sustitución del concepto de órbita electrónica por el de orbital atómico, realizada por la mecánica cuántica, permitieron establecer una serie de reglas en la determinación de la estructura electrónica de los distintos elementos químicos.

A partir del trabajo seminal de Bohr,^[10] la teoría cuántica posibilitó explicar los espectros atómicos mediante las transiciones electrónicas producidas entre los correspondientes orbitales atómicos. Las configuraciones electrónicas de los distintos elementos químicos se determinaron mediante análisis espectral. Este conocimiento empírico se trató de justificar con la ayuda de conceptos teóricos. El principio de construcción electrónica establecido inicialmente por Bohr^[11] (en la que se señalaba que la adición sucesiva de electrones no modificaba los números cuánticos de los ya presentes), se mantuvo como idea básica a la hora de distribuir los electrones de un átomo en cada uno de los orbitales atómicos.

Este principio *Aufbau* (término alemán que significa construcción) en el que los electrones se distribuyen en

orbitales atómicos por orden creciente de energía, junto con la regla de Hund y el principio de exclusión de Pauli, determinan el conjunto de requisitos que se deben seguir para escribir la configuración electrónica que corresponda en cada caso.

Como criterio sencillo en el conocimiento del primer requisito mencionado, se formuló la regla empírica ($n + \ell, n$). Este patrón electrónico posee una autoría múltiple. Fue publicado en 1936 por Madelung (figura 1),^[12] aunque señaló que lo había descubierto diez años antes.^[13] Por su parte, Janet^[14] y Karapetoff^[15] también encontraron la misma regla, que se puede enunciar en dos apartados:

- en un átomo neutro, los distintos electrones se distribuyen sucesivamente en orbitales considerando los valores de los números cuánticos n y ℓ , según el orden creciente de la suma ($n + \ell$);
- para los electrones con idéntico valor de ($n + \ell$), el orden de llenado de orbitales es el que corresponde al valor creciente de n .

Z	I					II					IV					III					I					II					IV					III				
	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$	n	ℓ	m	s	$\frac{n+\ell}{2}$
1	H	1	0	0	+1/2	0	2	1S	52	Te	6	5	1	+1	-1/2	4	3	3P																						
2	He	1	0	0	-1/2	0	1	1S	53	J	6	5	1	0	-1/2	1	2	2P																						
3	Li	2	0	0	+1/2	0	2	2S	54	X	6	5	1	-1	-1/2	0	1	1S																						
4	Be	2	0	0	-1/2	0	1	1S	55	Cs	6	6	0	0	+1/2	0	2	2S																						
5	B	2	1	+1	+1/2	1	2	2P	56	Ba	6	6	0	0	-1/2	0	1	1S																						
6	C	2	1	0	+1/2	1	1	1S	57	La	7	4	3	+3	+1/2	3	2	2F																						
7	N	2	1	-1	+1/2	1	0	0	4S	58	Ce	7	4	3	+2	+1/2	5	3	3H																					
8	O	2	1	+1	-1/2	1	3	3P	59	Pr	7	4	3	+1	+1/2	6	4	4I																						
9	F	2	1	0	-1/2	1	2	2P	60	Nd	7	4	3	0	+1/2	6	5	5I																						
10	Ne	2	1	-1	-1/2	1	1	1S	61	Il	7	4	3	-1	+1/2	5	6	6H																						
11	Na	3	0	0	+1/2	0	2	2S	62	Sm	7	4	3	-2	+1/2	3	7	7F																						
12	Mg	3	0	0	-1/2	0	1	1S	63	Eu	7	4	3	-3	+1/2	0	8	8S																						
13	Al	3	1	+1	+1/2	1	2	2P	64	Gd	7	4	3	+3	-1/2	3	7	7F																						
14	Si	3	1	0	+1/2	1	3	3P	65	Tb	7	4	3	+2	-1/2	6	4	4I																						
15	P	3	1	-1	+1/2	1	0	0	4S	66	Dy	7	4	3	+1	-1/2	6	5	5I																					
16	S	3	1	+1	-1/2	1	3	3P	67	Ho	7	4	3	0	-1/2	6	4	4I																						
17	Cl	3	1	0	-1/2	1	2	2P	68	Er	7	4	3	-1	-1/2	5	3	3H																						
18	A	3	1	-1	-1/2	1	1	1S	69	Tu	7	4	3	-2	-1/2	3	2	2F																						
19	K	4	0	0	+1/2	0	2	2S	70	Yb	7	4	3	-3	-1/2	0	1	1S																						
20	Ca	4	0	0	-1/2	0	1	1S	71	Cp	7	5	2	+2	+1/2	2	2	2D																						
21	Sc	4	1	+1	+1/2	1	2	2P	72	Hf	7	5	2	+1	+1/2	3	3	3F																						
22	Ti	4	1	0	+1/2	1	3	3P	73	Ta	7	5	2	0	+1/2	3	4	4F																						
23	V	4	1	-1	+1/2	1	0	0	4S	74	W	7	5	2	-1	+1/2	2	5	5D																					
24	Cr	5	0	0	+1/2	0	2	2S	75	Re	7	5	2	-2	+1/2	0	6	6S																						
25	Mn	5	0	0	-1/2	0	1	1S	76	Os	7	5	2	+2	-1/2	2	5	5D																						
26	Fe	5	0	+1	-1/2	0	6	6S	77	Ir	7	5	2	+1	-1/2	3	4	4F																						
27	Co	5	0	0	-1/2	0	5	5D	78	Pt	7	5	2	0	-1/2	3	3	3F																						
28	Ni	5	0	-1	-1/2	0	4	4S	79	Au	7	5	2	-1	-1/2	2	2	2D																						
29	Cu	5	0	0	+1/2	0	3	3P	80	Hg	7	5	2	-2	-1/2	0	1	1S																						
30	Zn	5	0	-1	-1/2	0	2	2D	81	Tl	7	6	1	+1	+1/2	1	2	2P																						
31	Ga	5	1	+1	+1/2	1	2	2P	82	Pb	7	6	1	0	+1/2	1	3	3P																						
32	Ge	5	1	0	+1/2	1	3	3P	83	Bi	7	6	1	-1	+1/2	0	4	4S																						
33	As	5	1	-1	+1/2	1	0	0	4S	84	Po	7	6	1	+1	-1/2	1	3	3P																					
34	Se	5	1	+1	-1/2	1	3	3P	85	---	7	6	1	0	-1/2	1	2	2P																						
35	Br	5	1	0	-1/2	1	2	2P	86	Em	7	6	1	-1	-1/2	0	1	1S																						
36	Kr	5	1	-1	-1/2	1	1	1S	87	---	7	7	0	0	+1/2	0	2	2S																						
37	Rb	5	0	0	+1/2	0	2	2S	88	Ra	7	7	0	0	-1/2	0	1	1S																						
38	Sr	5	0	0	-1/2	0	1	1S	89	Ac	8	5	3	+3	+1/2	3	2	2F																						
39	Y	6	4	+2	+1/2	2	2	2D	90	Th	8	5	3	+2	+1/2	5	3	3H																						
40	Zr	6	4	+1	+1/2	2	3	3F	91	Pa	8	5	3	+1	+1/2	6	4	4I																						
41	Nb	6	4	0	+1/2	2	0	0	92	U	8	5	3	0	+1/2	6	5	5I																						
42	Mo	6	4	-1	+1/2	2	3	3F	93	---	8	5	3	-1	+1/2	5	6	6H																						
43	Ma	6	4	-2	-1/2	2	2	2S	94	---	8	5	3	-2	+1/2	3	7	7F																						
44	Ru	6	4	+2	+1/2	2	5	5D	95	---	8	5	3	-3	+1/2	0	8	8S																						
45	Rh	6	4	+1	-1/2	2	4	4F	96	---	8	5	3	+3	-1/2	3	7	7F																						
46	Pd	6	4	0	-1/2	2	3	3F	97	---	8	5	3	+2	-1/2	5	6	6H																						
47	Ag	6	4	-1	+1/2	2	2	2D	98	---	8	5	3	+1	-1/2	6	5	5I																						
48	Cd	6	4	-2	-1/2	2	1	1S	99	---	8	5	3	0	-1/2	6	4	4I																						
49	In	6	5	+1	+1/2	1	2	2P	100	---	8	5	3	-1	-1/2	5	3	3H																						
50	Sn	6	5	0	+1/2	1	3	3P	101	---	8	5	3	-2	+1/2	3	2	2F																						
51	Sb	6	5	-1	-1/2	1	0	0	4S	102	---	8	5	3	-3	-1/2	0	1	1S																					
									103	---	8	6	2	+2	+1/2	2	2	2D																						

Figura 1. Ordenación de Madelung^[12] de los elementos químicos en la que la secuencia de número atómico creciente responde a la regla ($n + \ell$).

Esta regla se reformuló posteriormente por varios autores.^[16-18] Dado que Klechkowski^[19] propuso una primera justificación de esta pauta, también se conoce como la regla de Madelung-Klechkowski (M-K).^[20] Según señalan varios autores,^[21-25] este patrón de relleno orbital no ha encontrado todavía una base teórica que esté fundamentada en los principios básicos de la mecánica cuántica.

Gráficos energéticos de orbitales atómicos y diagramas nemotécnicos

Para establecer el orden de llenado electrónico de los orbitales atómicos en la determinación de la configuración electrónica de un elemento particular, se han establecido diferentes gráficos energéticos y diagramas secuenciales.

Pauling incorporó un gráfico energético general de los distintos orbitales en su influyente libro *The Nature of Chemical Bond* (Figura 2),^[26] que rápidamente se incorporó tanto en libros que Química^[27-29] como en otros trabajos de enseñanza sobre la determinación de estructuras electrónicas,^[30] para lo que algunos autores han empleado analogías relacionadas con el orden de ocupación de un edificio particular.^[31] En este sentido, el propio Pauling reprodujo su diagrama inicial en su libro *College Chemistry*,^[32] en donde asignó de forma general la estructura electrónica que correspondía a cada elemento químico particular (Figura 3).



Figura 2. Secuencia energética (aproximada) de los distintos orbitales atómicos, según Pauling.^[26]

Desde hace más de 80 años, diferentes reglas nemotécnicas en forma de diagramas, se han propuesto para facilitar a los estudiantes el orden de ocupación de los diferentes orbitales atómicos. El primer diagrama secuencial de este tipo fue realizado por Sommerfeld en el año 1926 (figura 4).^[33]

Entre las reglas nemotécnicas que más éxito han tenido se encuentra la propuesta por Yi,^[34] que fue rediseñada

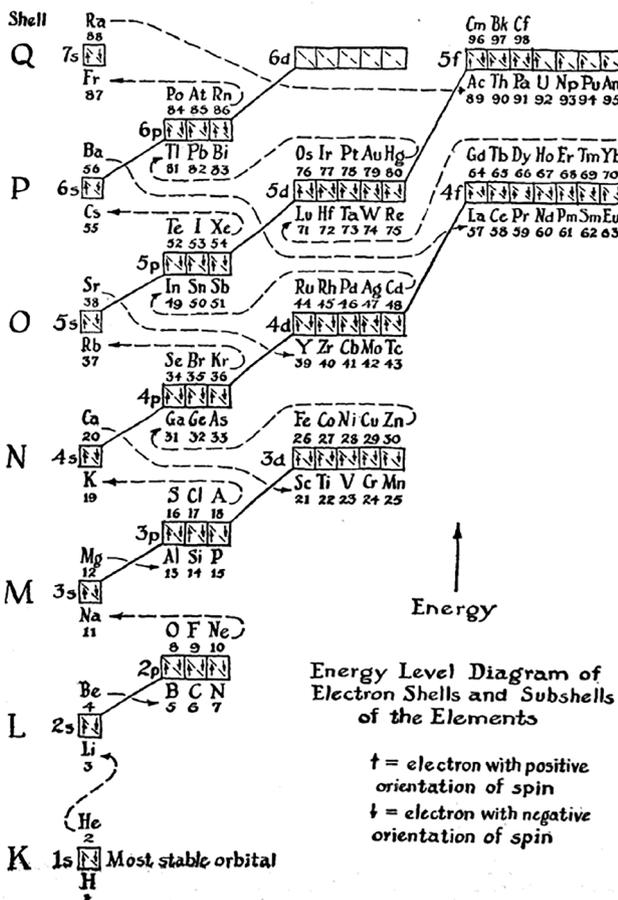


Figura 3. Configuraciones electrónicas de los elementos químicos obtenidas a partir del orden energético de los distintos orbitales, según Pauling.^[32]

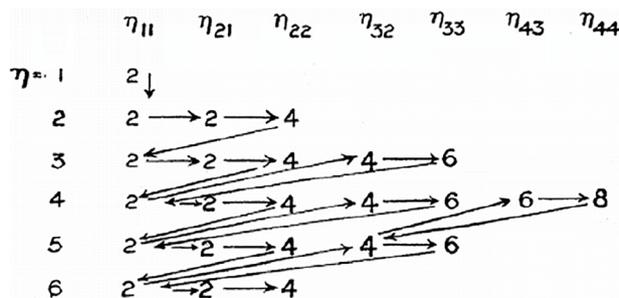


Figura 4. Secuencia de relleno electrónico realizada por Sommerfeld (1926).^[33] El valor del número cuántico n hace referencia al nivel energético, que corresponde a una determinada capa (ejemplos, $n = 1$ (K) con capacidad de 2 electrones; $n = 2$ (L): 8 electrones; $n = 3$ (M): 18 electrones). Los distintos tipos de orbitales se designan en función de tres números cuánticos, n, k, j : $n_{k,j}$ (a diferencia de Bohr que sólo utilizaba dos números cuánticos: n).^[2] Obsérvese que en la capa M, después del argón, se rellenan los dos primeros electrones de la siguiente capa ($n = 4$; N), que corresponden al potasio y al calcio, para luego completarse la capa M con los diez elementos de transición.

posteriormente por Moeller (Figura 5).^[29] Sobre esta base, diferentes diagramas se han ido publicando para facilitar al alumnado el recuerdo del orden general de relleno de orbitales.^[35]

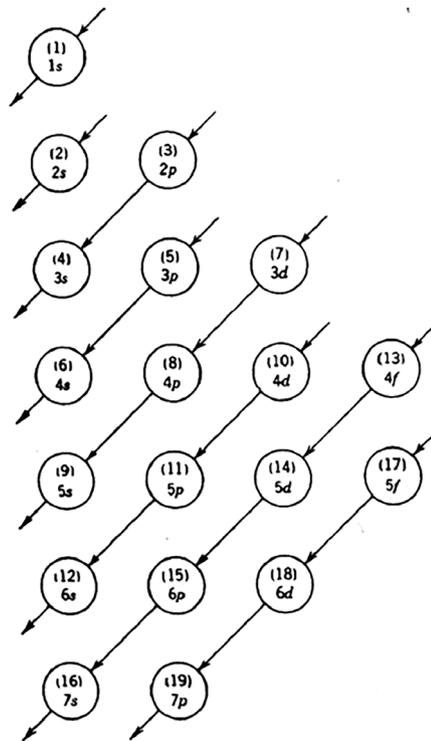


Figura 5. Diagrama de Moeller^[29] como regla nemotécnica para el establecimiento de configuraciones electrónicas.

Limitaciones de la regla de Madelung-Klechkowskii (M-K)

La regla de M-K es una primera aproximación para conocer la configuración electrónica de un elemento químico. Para los primeros 20 elementos químicos proporciona correctamente la distribución electrónica que corresponde para cada uno de estos elementos, obtenida mediante análisis espectral.

Hasta el calcio, también se cumple que en la formación de los correspondientes cationes se pierden siempre los últimos electrones adicionados, según el principio de construcción (*Aufbau*) de la regla M-K. Esta circunstancia también se corresponde con el hecho de que en todos los casos la configuración de un ion monovalente de un elemento es idéntica a la del átomo neutro del elemento que posee un protón menos. Por ejemplo, la configuración electrónica del ion Be^+ es la misma que la del Li: $[\text{He}] 2s^1$. Es decir, la regla M-K funciona bien en la determinación de las configuraciones electrónicas de estos átomos neutros como de sus iones.

Por el contrario, en el caso de los elementos de la primera serie de transición, su aplicación estricta genera varios problemas, a diferencia de lo que ocurre en los primeros veinte elementos químicos. En primer lugar, según los diagramas y las reglas referenciadas previamente como procedimientos didácticos, para estos elementos de transición los últimos electrones adicionados serían siempre del subnivel 3d, por lo que deberían ser los primeros que se pierden en la formación del correspondiente catión. Sin embargo, no se cumple el comportamiento esperado según este razonamiento.

Por ejemplo, la configuración electrónica del hierro es Fe: $[\text{Ar}] 4s^2 3d^6$ y la del hierro (II) es Fe^{2+} : $[\text{Ar}] 3d^6$, lo que supone la pérdida de los dos electrones $4s$, que se habrían adicionado al átomo de hierro antes que los correspondientes del subnivel $3d$. Además, la configuración electrónica de un catión monovalente de un elemento de transición normalmente no coincide con la del átomo neutro del elemento que le precede en la Tabla Periódica. Por ejemplo, las configuraciones electrónicas del Sc^+ y del calcio son diferentes Sc^+ : $[\text{Ar}] 3d^1 4s^1$ y Ca: $[\text{Ar}] 4s^2$.

En la discusión que sigue nos centraremos en el análisis pormenorizado de estos aspectos particulares, revisando y ampliando algunos estudios iniciales.^[36] Cada uno de los apartados que siguen trata uno de los aspectos problemáticos señalados.

Energía relativa de los orbitales $3d$ y $4s$

Un primer aspecto problemático de la regla M-K hace referencia a la energía relativa de los distintos tipos de orbital. En la discusión que sigue nos centraremos en el caso particular de los orbitales $3d$ y $4s$, que se ha discutido ampliamente por varios autores.^[37-50]

La figura 6 muestra la variación de energía de los distintos tipos de orbitales atómicos (hasta $4p$). La energía del orbital $4s$ va disminuyendo con el número atómico, de forma que llega a tener un valor inferior que los orbitales $3d$ en el potasio ($Z = 19$) y en el calcio ($Z = 20$), lo que explica sus configuraciones electrónicas con electrones de valencia en el orbital $4s$, K: $[\text{Ar}] 4s^1$ y Ca: $[\text{Ar}] 4s^2$. Pero en el elemento $Z = 21$ (Sc) se produce una inversión en este orden energético, lo que se aprecia con mayor detalle en la figura 7. Para estos tres elementos químicos (K, Ca y Sc), la secuencia energética de los distintos orbitales atómicos es la siguiente:^[48]

K: $3p \ll 4s < 4p \ll 3d < \dots$
 Ca: $3p \ll 4s < 3d < 4p \ll \dots$
 Sc: $3p \ll 3d < 4s \ll 4p \ll \dots$

Esta circunstancia cuestiona el orden energético general que se suele proporcionar en muchos libros de texto: $np < (n+1)s < nd < (n+1)p$.^[50]

A pesar de que los orbitales $3d$ poseen a partir del escandio una energía inferior a la del orbital $4s$, la regla M-K proporciona correctamente la configuración electrónica de los elementos de transición (salvo en el cromo y el cobre), aunque mediante una base incorrecta. Por ello, para evitar esta incorrección, la configuración electrónica de un elemento de transición debería expresarse escribiendo primero los electrones $3d$ y posteriormente los electrones $4s$.^[51] Por ejemplo, la del escandio se debería escribir: $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$ y no $[\text{Ar}] 4s^2 3d^1$.

Según acabamos de indicar, en los elementos de la primera serie de transición, los electrones empiezan a ocupar antes los orbitales $3d$ que los $4s$. A partir de esta afirmación surge una primera pregunta: ¿por qué la configuración electrónica del escandio es: $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$ y no $[\text{Ar}] 3d^3$?^[41,51-53] Una cues-

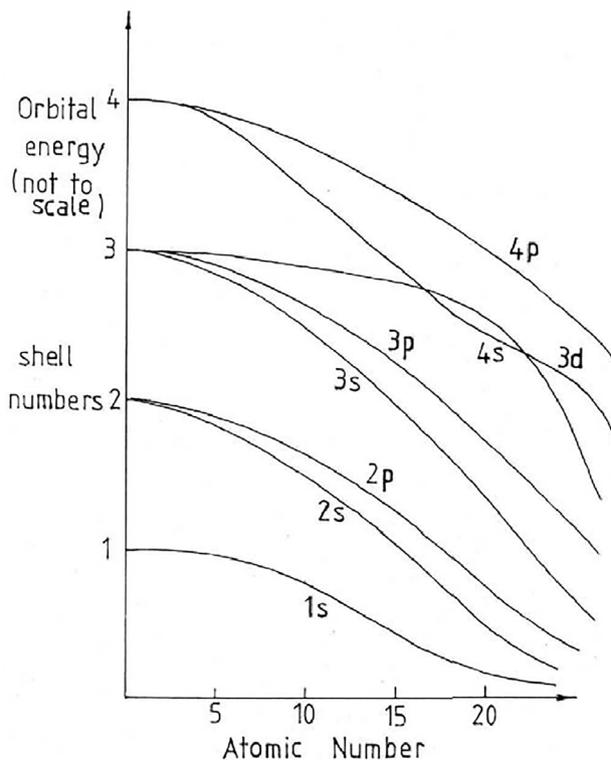


Figura 6. Variación relativa de las energías de los orbitales con el número atómico.^[38]

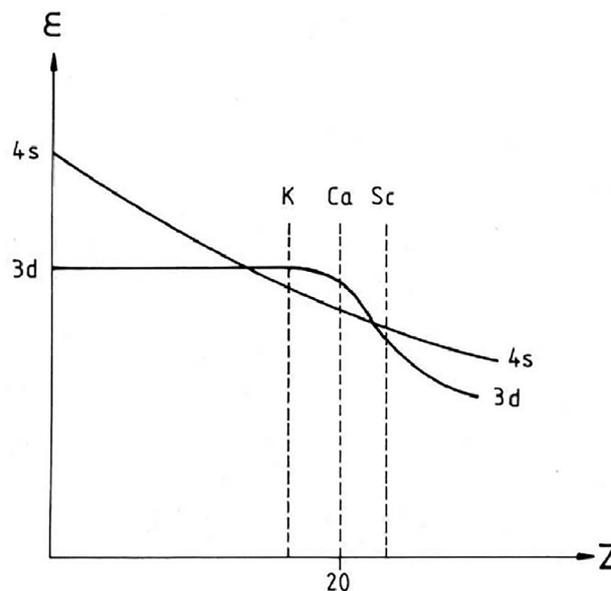


Figura 7. Detalle de la variación de la energía, en función del número atómico, de los orbitales $4s$ y $3d$. En el potasio y el calcio, el orbital $4s$ posee menor energía que los $3d$. A partir de $Z = 21$ (Sc) los orbitales $3d$ poseen menor energía que el $4s$.^[41]

tion semejante se puede formular para el resto de elementos de transición, ya que tienen uno o dos electrones $4s$, pero con orbitales $3d$ disponibles de menor energía. La respuesta completa a esta pregunta posee una cierta complejidad por todos

los factores adicionales que se deben considerar^[40,41,47,48,50] que excede el ámbito y el propósito de este estudio. De una forma cualitativa sencilla se debe considerar el aumento de carga nuclear que se produce según nos vamos moviendo hacia la derecha en la Tabla Periódica, lo que implica una variación de las interacciones de los electrones con el núcleo y de los electrones entre ellos, lo que finalmente determina una configuración electrónica estable. En primera aproximación, podemos decir que el factor de repulsión electrónica explica que existan electrones 4s. Esta configuración es más estable, ya que existe una menor interacción entre los electrones en esta distribución electrónica, comparada con la que implica únicamente electrones 3d, ya que estos orbitales son más compactos que los 4s, por lo que la repulsión electrónica entre electrones 3d es mayor que entre electrones 4s.

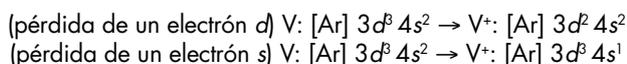
Cationes de elementos de transición

Según se ha indicado en el apartado anterior, en los elementos de la primera serie de transición, los electrones empiezan a ocupar antes los orbitales 3d que los 4s. Pero, en muchos libros de texto se señala lo contrario. Además, se indica que cuando el átomo se ioniza, los electrones que primero se pierden son los 4s. A pesar de que ambas afirmaciones entran en contradicción, normalmente no se profundiza mediante un estudio que resuelva esta incoherencia.^[39,47]

A partir de las figuras 6 y 7 se podría afirmar de forma simple que dado que los electrones 3d poseen un contenido energético menor que los de un orbital 4s en un elemento de transición, estos electrones serán los que se pierdan primero cuando se ionice un átomo neutro. De nuevo, la situación es más compleja que lo que supone considerar únicamente la interpretación de esas dos figuras.^[45]

De forma general, se puede argumentar que en un elemento de transición la eliminación de un electrón con formación de un ion monovalente supone el aumento de la carga nuclear efectiva. Este incremento tiene como resultado una estabilización electrónica, que predomina sobre el efecto antagónico que implica una mayor repulsión electrónica de los electrones de valencia. Como consecuencia, habitualmente la nueva situación ya no propicia seguir manteniendo los electrones en el orbital 4s.^[40,41,54] En el caso de un átomo M de configuración $3d^m 4s^2$, para su ion M^+ normalmente se produce un cambio en términos de estabilidad electrónica, de forma que en la nueva situación se suele cumplir la siguiente relación energética: $3d^m 4s^1 < 3d^{m-1} 4s^2$; en general: $(n-1)d^m 4s^1 < (n-1)d^{m-1} ns^2$.^[55] Por tanto, la configuración típica de un ion de transición monovalente suele ser para estos elementos: $3d^m 4s^1$ (en general, $(n-1)d^m ns^1$) y la de un catión divalente: $3d^m$; en general, $(n-1)d^m$.

Sin embargo, existen excepciones a este planteamiento general. Tomemos como ejemplo el caso del vanadio, para el que podemos formular dos posibles mecanismos de formación del ion V^+ :



Ninguna de estas dos configuraciones del ion V^+ se corresponde con la del estado fundamental de este ion: $[Ar] 3d^4$. Otros ejemplos de esta serie de transición que corresponden a una 'doble ordenación' electrónica^[45] son las de los iones Co^+ : $[Ar] 3d^8$ y Ni^+ : $[Ar] 3d^9$.^[55]

Por último, veremos que la regla *Aufbau* M-K no se cumple para los iones de los elementos de transición^[47] y que, por tanto, especies químicas isoelectrónicas no poseen la misma configuración electrónica. En la Tabla I se exponen las configuraciones electrónicas del Sc, Ti y V, así como las de los correspondientes iones, partiendo siempre de la correspondiente del argón. Si se estudia la Tabla I en vertical, se comprueba que en cada una de las columnas no se cumple el principio de construcción $(n + \ell, n)$ para los cationes de los elementos de transición.^[45,56] En concreto, el orden de llenado de orbitales desde el ion con 18 electrones hasta el átomo neutro es el siguiente para cada elemento: a) Sc: $+d+s+s$; b) Ti: $+d+d+s+s$; V: $+d+d+d+(2s-d)$.

Además, si la tabla I se lee en horizontal (filas), se ponen de manifiesto las diferentes configuraciones electrónicas que presentan distintas especies químicas isoelectrónicas (por ejemplo, para 21 electrones). Finalmente, se puede comprobar que no se obtienen los resultados correctos si se intenta aplicar la regla de M-K para establecer la configuración de iones de la misma carga de elementos de transición sucesivos (Sc^+ : $[Ar] 3d^1 4s^1$, Ti^+ : $[Ar] 3d^2 4s^1$ y V^+ : $[Ar] 3d^4$). En general, no se puede establecer la configuración electrónica de un ion de un elemento de transición, empleando la regla de M-K, una vez conocida la configuración electrónica de una especie química que posea un electrón menos.

Tabla I. Configuraciones electrónicas del Sc, Ti y V, así como de sus respectivos cationes.

Número de electrones	Configuraciones electrónicas		
	Sc	Ti	V
18	$Sc^{3+}: [Ar]$	$Ti^{4+}: [Ar]$	$V^{5+}: [Ar]$
19	$Sc^{2+}: [Ar] 3d^1$	$Ti^{3+}: [Ar] 3d^1$	$V^{4+}: [Ar] 3d^1$
20	$Sc^+: [Ar] 3d^1 4s^1$	$Ti^{2+}: [Ar] 3d^2$	$V^{3+}: [Ar] 3d^2$
21	$Sc: [Ar] 3d^1 4s^2$	$Ti^+: [Ar] 3d^2 4s^1$	$V^{2+}: [Ar] 3d^3$
22		$Ti: [Ar] 3d^2 4s^2$	$V^+: [Ar] 3d^4$
23			$V: [Ar] 3d^3 4s^2$

Predicciones incorrectas en elementos de transición

Existen 19 elementos de transición que presentan configuraciones electrónicas anómalas con respecto a la regla M-K (Tabla II).^[55,56] Si bien en algunos grupos, como el 4, todos los elementos poseen el mismo patrón en su configuración electrónica, existen otros en los que uno o más elementos no poseen la misma distribución de los electrones de valencia. Un caso singular es el del grupo 10, en el que ninguno de los tres primeros elementos comparte el mismo patrón de estructura electrónica (Ni: $[Ar] 3d^8 4s^2$; Pd: $[Kr] 4d^{10} 4s^0$; Pt: $[Xe] 4f^{14} 3d^9 4s^1$).

Si continuamos particularizando nuestro estudio para los elementos químicos de la primera serie de transición, la regla M-K predice para el cromo la siguiente configuración electrónica, Cr: [Ar] $3d^4 4s^2$, en lugar de la que se observa experimentalmente, Cr: [Ar] $3d^5 4s^1$. En algunos libros de texto^[57] se explica esta anomalía señalando que en estos casos los subniveles *d* semillenos son más estables. En realidad, esta aseveración no es una explicación sino simplemente una descripción evidente, ya que no existe ningún principio físico en el que apoyar teóricamente esa afirmación.^[39] Además, si nos centramos en el grupo 6, sólo el molibdeno también presenta la misma anomalía (Mo: [Kr] $3d^5 4s^1$), ya que el wolframio y el seaborgio poseen configuraciones que cumplen la regla M-K. Se trataría, por tanto, de sendas excepciones de la anomalía explicada con el argumento de la estabilidad que confiere un subnivel *d* semilleno. Otros elementos (niobio, rutenio y rodio) también presentan un único electrón en el orbital *s*, pero ello no significa que posean orbitales *d* semillenos.

Los múltiples aspectos teóricos que se deben considerar en la determinación de la configuración electrónica de los distintos elementos suponen una enorme complejidad.^[23] Por ello, el intento de explicación del estado electrónico de mínima energía del cromo,^[39] así como del resto de anomalías de los elementos de transición, lleva asociada una elevada sofisticación, que no resulta apropiada para un curso de química general.^[45]

Tabla II. Elementos químicos para los que la regla M-K no proporciona la estructura electrónica observada experimentalmente.^[55]

Electron configurations of selected elements

Atom	Ground state configuration	
	Predicted	Found
Cr	[Ar] $4s^2 3d^4$	[Ar] $4s^1 3d^5$
Cu	[Ar] $4s^2 3d^9$	[Ar] $4s^1 3d^{10}$
Nb	[Kr] $5s^2 4d^3$	[Kr] $5s^1 4d^4$
Mo	[Kr] $5s^2 4d^4$	[Kr] $5s^1 4d^5$
Ru	[Kr] $5s^2 4d^6$	[Kr] $5s^1 4d^7$
Rh	[Kr] $5s^2 4d^7$	[Kr] $5s^1 4d^8$
Pd	[Kr] $5s^2 4d^8$	[Kr] $4d^{10}$
Ag	[Kr] $5s^2 4d^9$	[Kr] $5s^1 4d^{10}$
La	[Xe] $6s^2 4f^1$	[Xe] $6s^2 5d^1$
Ce	[Xe] $6s^2 4f^2$	[Xe] $6s^2 4f^1 5d^1$
Gd	[Xe] $6s^2 4f^8$	[Xe] $6s^2 4f^7 5d^1$
Pt	[Xe] $6s^2 5d^8$	[Xe] $6s^1 5d^9$
Au	[Xe] $6s^2 5d^9$	[Xe] $6s^1 5d^{10}$
Ac	[Rn] $7s^2 5f^1$	[Rn] $7s^2 6d^1$
Th	[Rn] $7s^2 5f^2$	[Rn] $7s^2 6d^2$
Pa	[Rn] $7s^2 5f^3$	[Rn] $7s^2 5f^2 6d^1$
U	[Rn] $7s^2 5f^4$	[Rn] $7s^2 5f^3 6d^1$
Np	[Rn] $7s^2 5f^5$	[Rn] $7s^2 5f^4 6d^1$
Cm	[Rn] $7s^2 5f^8$	[Rn] $7s^2 5f^7 6d^1$

Conclusiones

La regla empírica M-K se formuló en los primeros años de los años treinta del siglo pasado, incorporándose con cierta rapidez a los libros de enseñanza de la química con la ayuda de numerosas propuestas nemotécnicas para favorecer su aprendizaje. Sin embargo, esta regla no ha podido deducirse

teóricamente a partir de los principios básicos de la mecánica cuántica.

En la determinación de la configuración electrónica de un átomo, la regla M-K establece el siguiente orden de llenado de orbitales atómicos:

$$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s < 4d < 5p < 6s < 4f < 5d < 6p < 7s < 5f < 6d < 7p$$

Este orden es correcto para la determinación de la configuración electrónica de los átomos neutros de los primeros 20 elementos químicos. A partir del escandio empiezan a producirse las primeras incorrecciones y anomalías. A pesar de que se obtienen configuraciones electrónicas de los elementos de transición que formalmente son correctas, se asume incorrectamente que el orbital *4s* posee menor energía que los *3d*, por lo que según esta regla los electrones llenan antes ese orbital que los *3d*. Lo mismo puede decirse para las otras dos series de transición del bloque *d* de la Tabla Periódica. Además, aproximadamente para un tercio de los elementos de transición no es posible predecir su configuración electrónica, una vez conocida la del elemento químico que le precede, ya que existen 19 excepciones (10 elementos del bloque *d* y 9 del bloque *f*) a la regla M-K.

La regla M-K.^[55,56] posee una contradicción en la explicación de la formación de iones de los elementos de transición. Se establece que el orbital *4s* se llena antes que los *3d*, pero se asume de una forma enigmática que ese orbital es el primero que pierde electrones. Adicionalmente, existen diferentes patrones de llenado en el caso de iones de elementos de transición, lo que origina que distintos cationes isoelectrónicos posean estructuras electrónicas diferentes, por lo que la regla M-K no resulta de aplicación para estos iones.

Bibliografía

- [1] M. Monk, J. Osborne. *Sci. Educ.* **1997**, *81*, 405-424.
- [2] J. Quílez. *An. Quím.* **2022**, *119*(1), 42-48.
- [3] a) J.J. Thomson, *Philos. Mag.* **1904**, *7*, 237-265; b) J.J. Thomson, *The Corpuscular Theory of Matter*. Londres, Archibald Constable. 1907.
- [4] a) I. Langmuir, *J. Am. Chem. Soc.* **1919**, *41*, 868-904; b) I. Langmuir, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **1919**, *5* (7), 252-259.
- [5] a) C.R. Bury, *J. Am. Chem. Soc.* **1921**, *43*, 1602-1609; b) M. Davies, *Arch. Hist. Exact Sci.* **1986**, *36*(1), 75-90.
- [6] a) N. Bohr, *Nature* **1921**, *107*, 104-107; b) N. Bohr, *Nature* **1921**, *108*, 208-209; c) N. Bohr, *Zeitschrift für Physik* **1922**, *9*, 1-67; d) N. Bohr, *Nobel Prize Lecture*. 1922; e) N. Bohr, *The Theory of Spectra and Atomic Constitution. Three essays*, pp. 92-188. Cambridge University Press. Cambridge. 1922; f) N. Bohr, *Nature* **1923**, *112*, 29-44; g) N. Bohr, D. Coster, *Zeitschrift für Physik*, **1923**, *12*, 342-374.
- [7] a) J.D. Main Smith, *Chemistry & Atomic Structure*, Ernest Benn, Londres. 1924; b) E.R. Scerri. *A tale on seven scientists and New Philosophy of Science*. Oxford. OUP. 2016.

- [8] a) E.C. Stoner, *Philos. Mag.* **1924**, 48(286), 719-736; b) E.R. Scerri. *A tale on seven scientists and New Philosophy of Science*. Oxford. OUP. 2016.
- [9] W. Pauli, *Zeitschrift für Physik* **1925**, 31, 765-785.
- [10] N. Bohr, *Philos. Mag.* **1913**, 26, 1-25.
- [11] a) N. Bohr, *Ann. Phys.* **1923**, 376, 228-288; b) N. Bohr, *Zeitschrift für Physik* **1923**, 13, 117-165.
- [12] E. Madelung, *Die Mathematischen Hilfsmittel des Physikers*, Springer. Berlin. 1936, pp. 359-60.
- [13] S. A. Goudsmit, P.I. Richards, *Proceedings of the National Academy of Sciences – USA*, **1964**, 51, 664-671.
- [14] a) C. Janet, *La classification hélicoïdale des éléments chimiques*. Imprimerie Départementale de l'Oise, Beauvais. 1928; b) C. Janet, *Concordance de l'arrangement quantique, de base, des électrons planétaires, des atomes, avec la classification scalariforme, hélicoïdale, des éléments chimiques*. Imprimerie Départementale de l'Oise, Beauvais. 1930; c) P.J. Stewart, *Found. Chem.* **2010**, 12, 5-15.
- [15] V. Karapetoff, *J. Franklin Inst.* **1930**, 210(5), 609-624.
- [16] W. J. Wiswesser, *J. Chem. Educ.* **1945**, 22(7), 314-322.
- [17] Y. Ta, *Ann. Phys.* **1946**, 12(1), 88-99.
- [18] L.M. Simmons, *J. Chem. Educ.* **1948**, 25, 658-661.
- [19] V.M. Klechkowskii, *Soviet Phys. JETP* **1962**, 14(2), 334-335.
- [20] T. Bahoueddine, *World J. Chem. Educ.* **2015**, 3(6), 160-167.
- [21] P.O. Löwdin, *Int. J. Quantum Chem.* **1969**, 3S, 331-334.
- [22] E.R. Scerri, *Int. J. Quantum Chem.* **2009**, 109, 959-971.
- [23] W.H.E. Schwarz, R.L. Rich, *J. Chem. Educ.* **2010**, 87(4), 435-443.
- [24] E.R. Scerri, *Nature* **2019**, 565, 557-559.
- [25] C.-S. Cao, H.-S. Hu, J. Li, W.H.E. Schwarz, *Pure App. Chem.* **2019**, 91(12), 1969-1999.
- [26] L. Pauling *The Nature of Chemical Bond*, Cornell University Press, Nueva York, 1939.
- [27] W. Foster, H. Alyea. *An Introduction to General Chemistry*. Nueva York. Van Nostrand Company. 1941.
- [28] H.H. Sisler, C.A. Vanderwerf, A.W. Davidson. *General Chemistry. A systematic Approach*. Nueva York. MacMillan. 1949.
- [29] T. Moeller, *Inorganic Chemistry*, Wiley, Nueva York. 1952.
- [30] a) T.H. Hazlehurst, *J. Chem. Educ.* **1941**, 18(12), 580-581; b) W.F. Luder, *J. Chem. Educ.* **1943**, 20(1), 21-25; c) B. Carroll, A. Lehrman, *J. Chem. Educ.* **1948**, 25(12), 662-666; d) H.C. Longuet-Higgins, *J. Chem. Educ.* **1957**, 34(1), 30-31; e) D.H. Everett, A, *J. Chem. Educ.* **1959**, 36(6), 298-299; f) N. Iza, M. Gil, *J. Chem. Educ.* **1995**, 72(11), 1025-1026.
- [31] a) R.T. Sanderson, *J. Chem. Educ.* **1960**, 37(5), 262; b) A. Garofalo, *J. Chem. Educ.* **1997**, 74(6), 709-710.
- [32] L. Pauling, *College Chemistry*, Freeman, San Francisco. 1957.
- [33] A. Sommerfeld. *Memoires and proceedings of the Manchester Literary and Philosophical Society* **1925/26**, 70, 14, 141-151
- [34] P.-F. Yi, *J. Chem. Educ.* **1947**, 24(11), 567.
- [35] a) R.W. Hakala, *J. Chem. Educ.*, **1948** 25, 229; b) J.W. Eichinger, *J. Chem. Educ.* **1957**, 34(10), 504-505; c) M. Krupsaw, G. Ng, *J. Chem. Educ.* **1972**, 49(6), 433; d) J. R. Hanley, *J. Chem. Educ.* **1979**, 56(11), 747A; e) K. Carpenter, *J. Chem. Educ.* **1983**, 60(7), 562; f) J.P. Bevak, E.J. McDevitt, *J. Coll. Sci. Teach.* **1987**, 16(5), 434-436; g) J.A. Darsey, *J. Chem. Educ.* **1988**, 65, 1036; h) S.C. Grenda, *J. Chem. Educ.* **1988**, 65, 697; i) A.K. Hovland, *J. Chem. Educ.* **1986**, 63, 607; j) R.W. Parsons, *J. Chem. Educ.* **1989**, 66, 319; k) D.F. Rieck, *J. Chem. Educ.* **1990**, 67(5), 398; l) S. T. Mabrouk, *J. Chem. Educ.* **2003**, 80 (8), 894; m) C. Adhikary, S. Sana, K.N. Chattopadhyay, *J. Chem. Educ.*, **2015**, 92, 664-667; n) M. Kurushkin, *J. Chem. Educ.*, **2015**, 92, 1127-1129; ñ) M. Kurushkin, *J. Chem. Educ.* **2017**, 94, 976-979; o) A. Soto-Ospina, L. M. Castro, *Ed. Quím.* **2022**, 33(4), 111-122.
- [36] a) S. Glasstone, *Textbook of Physical Chemistry*, Van Nostrand, Nueva York. 1946; b) D. DeVault, *J. Chem. Educ.* **1944** 21, 526-534; c) D.F. Swinehart, *J. Chem. Educ.* **1950**, 27, 622-624; d) L. Pauling *The Nature of Chemical Bond*, Cornell University Press, Nueva York, 1960; e) R.N. Keller, *J. Chem. Educ.* **1962**, 39(6), 289-293.
- [37] a) F.L. Pilar, *J. Chem. Educ.* **1978** 55(1), 2-6; b) F.L. Pilar, *J. Chem. Educ.* **1979**, 56(11), 767.
- [38] E.R. Scerri, *J. Chem. Educ.* **1989**, 66(6), 481-483.
- [39] E. R. Scerri, *The Periodic Table. Its Story and its Significance*. Oxford University Press, Londres. 2019.
- [40] L.G. Vanquickenborne, K. Pierloot, D. Devoghel, *Inorg. Chem.* **1989**, 28, 1805-1813.
- [41] L. G. Vanquickenborne, K. Pierloot, D. Devoghel, *J. Chem. Educ.* **1994**, 71, 469-471.
- [42] M.P. Melrose, E.R. Scerri, *J. Chem. Educ.* **1996**, 73(6), 498-503.
- [43] J.L. Bills, *J. Chem. Educ.* **1998**, 75, 589-593.
- [44] W.H.E. Schwarz, En E.J. Brändas, E. Kryachko (Eds.) *The Fundamental World of Quantum Chemistry: A Tribute to the Memory of Per-Olov Löwdin. III*, pp. 645-669. Kluwer, Dordrecht. 2004.
- [45] S.-G. Wang, Y.X. Qiu, H. Fang, W.H.E. Schwarz, *Chem. Eur. J.* **2006**, 12, 4101 - 4114.
- [46] W. H. E. Schwarz, *Found. Chem.* **2007**, 9, 139-188.
- [47] S.-G. Wang, W.H.E. Schwarz, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**, 48, 3404 - 3415.
- [48] W.H.E. Schwarz, *J. Chem. Educ.* **2010**, 87(4), 444-448.
- [49] W.H.E. Schwarz, S.-G. Wang, *Int. J. Quantum Chem.* **2010**, 110, 1455-1465.
- [50] W. H. E. Schwarz, U. Müller, F. Kraus, *Z. Anorg. Allg. Chem.* **2022**, 648, e202200008, 1 - 10
- [51] S. Salehzadeh, F. Maleki, *Found. Chem.* **2016**, 18, 57-65.
- [52] E.R. Scerri, *Found. Chem.* **2019**, 21, 61-69
- [53] E. R. Scerri, *Found. Chem.* **2021**, 23, 247-251
- [54] R.M. Hochstrasser, *J. Chem. Educ.* **1965**, 42(3), 154-156.
- [55] T.L. Meek, L.C. Allen, *Chem. Phys. Lett.* **2002**, 362, 362-364.
- [56] E. R. Scerri, *Ed. Chem.* **2013** 50(6), 24-26.
- [57] a) R.H. Petrucci, F.G. Herring, J.D. Madura, C. Bissonnette, *Química General*, Pearson. Madrid. 2011; b) T.L. Brown, H.L. Lemay, B.E. Bursten, C.J. Bursten, C.J. Murphy, P.M. Woodward, *Chemistry. The Central Science*. Pearson. Nueva York. 2012; c) R. Chang, K.A. Goldsby. *Química*. McGrawHill. México. 2013.

Algunas consideraciones y propuestas en torno a la determinación del contenido en oxígeno del aire usando lana de acero

Antonio Tomás-Serrano  y Marta Pastor-Belda 

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA



Antonio Tomás-Serrano^a

Marta Pastor-Belda^b

^a IES Vega del Táder
Avda. Gutiérrez Mellado. Molina de
Segura, 30500 Murcia

C-e: atserrano@gmail.com

^b Universidad de Murcia, Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, Campus de Espinardo, 30100 Murcia

C-e: marta.pastor@um.es

Recibido: 26/01/2023

Aceptado: 18/05/2023

ORCID: 0000-0002-4325-6562

ORCID: 0000-0001-7389-0380

Resumen: El experimento que utiliza lana de acero, para determinar el contenido de oxígeno en la atmósfera, aparece en muchos manuales de química elemental, dado que se trata de un procedimiento extremadamente simple y que proporciona buenos resultados. En efecto, basta con unos pocos gramos de lana de acero, una probeta (o un vaso cilíndrico), una vasija con agua y una regla para comprobar, mediante una sencilla operación, que el porcentaje en volumen de oxígeno en el aire es, aproximadamente, el 21 %. No obstante, la realidad es algo más compleja, ya que para calcular el contenido de oxígeno con mayor exactitud deben tenerse en cuenta las condiciones en las que se realiza el experimento, en concreto, la humedad relativa del aire, la temperatura ambiente y la presión atmosférica. En este artículo se analiza la influencia de dichos factores y se presenta una variante del experimento, realizado con una botella de plástico, con el que, además de determinar la fracción molar del oxígeno en el aire con un error inferior al 5 %, se evidencia de una forma bastante llamativa la fuerza que ejerce la presión atmosférica cuando la reacción del oxígeno con la lana de acero ocurre en un recipiente cerrado.

Palabras clave: Fracción molar del oxígeno en el aire, lana de acero, fuerza que ejerce la atmósfera, experimentos con materiales cotidianos.

Abstract: Steel wool experiment to determine the oxygen content in the atmosphere has been described in many elementary chemistry textbooks, due to it is an extremely simple procedure that gives good results. Just a few grams of steel wool, a graduated cylinder (or cylindrical glass), a water container and a ruler are necessary to check, by means of a simple operation, that the volume percentage of oxygen in the air is approximately 21 %. However, the truth is slightly more challenging, since in order to calculate the oxygen content more accurately, the conditions under which the experiment is carried out, namely the relative humidity of the air, the ambient temperature and the atmospheric pressure, must be taken into account. In the present article, the influence of these factors is analysed and a variant of the experiment with a plastic bottle is presented in which, in addition to determining the mole fraction of oxygen in air with an error of less than 5 %, the force exerted by the atmospheric pressure when the chemical reaction takes place in a closed vessel is demonstrated in a rather striking way.

Keywords: Mole fraction of oxygen in air, steel wool, force exerted by the atmosphere, experiments with everyday materials.

1. Introducción

La medida de la concentración de oxígeno en el aire es de suma importancia en muchas actividades humanas relacionadas con la industria, la alimentación, la investigación, etc., pero resulta vital cuando se trata de garantizar que el aire contenido en un recinto cerrado, o mal ventilado, es respirable.

Actualmente, existen varios tipos de sensores electrónicos que permiten medir, con rapidez y exactitud, el contenido de oxígeno de una mezcla gaseosa. Estos dispositivos determinan el nivel de oxígeno a partir de la variación de alguna propiedad que depende de la concentración de oxígeno, tal como la intensidad de la corriente generada en un proceso electroquímico, la luminiscencia de otro compuesto, la intensidad de un haz láser de determinada frecuencia,^[1,2] etc.

El uso de estas tecnologías ha desplazado a los procedimientos químicos clásicos, basados en la medida de la reducción

de volumen que experimenta una mezcla gaseosa al eliminar de ella el oxígeno presente. Esta eliminación se lleva a cabo mediante la reacción cuantitativa del oxígeno, con un agente reductor (pirogalol, hidrógeno, fósforo blanco, cobre a alta temperatura, lana de acero, óxido nítrico, etc.), en un recipiente que permite medir con exactitud la variación de volumen.^[3-9]

Aunque estos procedimientos no suelen emplearse en la actualidad para hallar la concentración de oxígeno en mezclas gaseosas, el método que utiliza como reductor lana de acero es ampliamente utilizado en el ámbito educativo por sus numerosas ventajas, ya que se lleva a cabo a temperatura ambiente, no emplea reactivos peligrosos para las personas o el medio ambiente, no precisa material especial de laboratorio y permite determinar la fracción molar del oxígeno en el aire con un error inferior al 5 %.

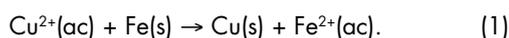
En condiciones ordinarias, la lana de acero se oxida muy lentamente debido a que, en su proceso de fabri-

cación, se recubre de una delgada capa de aceite que la preserva de la acción del oxígeno ambiental. Por este motivo, antes de realizar el experimento debe lavarse con agua jabonosa o acetona. Para aumentar todavía más la rapidez con que la lana de acero reacciona con el oxígeno atmosférico, algunos autores han propuesto modificaciones consistentes en elevar la temperatura de la lana de acero, con ayuda de un mechero,^[10] o en aplicarle un tratamiento que acelere su oxidación, tal como el uso de ácido acético concentrado.^[6]

A pesar de que ambos métodos reducen notablemente la duración del experimento, los riesgos que entraña el uso del mechero o el ácido acético concentrado limitan su aplicación didáctica, especialmente, en el ámbito no universitario. Además, en el caso de usar ácido acético, antes de proceder con el experimento es necesario enjuagar minuciosamente la lana de acero para evitar que se forme hidrógeno al reaccionar el ácido residual con el hierro.^[6]

En la propuesta que se presenta en este artículo, se ha optado por simplificar al máximo el procedimiento, ya que se trabaja a temperatura ambiente y se utilizan sustancias inocuas, tal como el cloruro de sodio. Así, en lugar de tratar la lana de acero con acetona o ácido acético, se rocía con una disolución de NaCl al 5% para aumentar la conductividad eléctrica de su superficie y favorecer la oxidación del hierro, consiguiéndose que la duración del experimento esté en torno a las 24 horas.

No obstante, todavía se puede reducir más la duración del proceso si se sustituye la disolución de NaCl por otra de CuSO_4 , de una concentración similar, puesto que la pequeña cantidad de cobre metálico que se forma al reaccionar los iones Cu^{2+} con el hierro acelera el proceso de oxidación del hierro restante^[11]



En todo caso, el hecho de que este experimento supere ampliamente la duración de un período ordinario de prácticas de laboratorio no debería ser una limitación importante en su aplicación didáctica, dado que no es preciso registrar detalladamente la evolución del experimento, sino que solo es necesario efectuar medidas al principio y al final de este.

Otro aspecto importante a considerar es que en las publicaciones y guías de laboratorio, en las que se detalla el procedimiento experimental a seguir, generalmente, no se tienen en cuenta las condiciones de presión y temperatura en las que se lleva a cabo el experimento.^[6,12-14] Como se mostrará a continuación, ese planteamiento solo es válido cuando dichas magnitudes sean prácticamente iguales al principio y al final del proceso.

2. Fundamento

2.1 Reacción del oxígeno con lana de acero

En presencia de agua, el oxígeno reacciona lentamente con el hierro para formar una mezcla de óxidos, parcial o



Figura 1. Montaje experimental para hallar la fracción molar de oxígeno en el aire. Una pequeña cantidad de lana de acero humedecida se introduce en el fondo de una probeta que se coloca invertida sobre un recipiente con agua. (Se ha teñido el agua con un colorante para aumentar el contraste en la fotografía).

totalmente hidratados, que se puede representar mediante la ecuación^[15]



donde $z \text{H}_2\text{O}$ indica una cantidad variable de agua.

La cantidad variable de agua en el producto final no es relevante para este propósito, sino que únicamente es importante que el oxígeno, presente en la mezcla problema, reaccione cuantitativamente con el hierro y se incorpore a la fase sólida ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot z \text{H}_2\text{O}(\text{s})$).

Habitualmente, este experimento se realiza introduciendo la lana de acero en un recipiente cilíndrico que se coloca invertido sobre una vasija con agua (Figura 1). La reducción de presión que ocurre en el interior del recipiente, al disminuir el número de moles de gas, origina una diferencia entre la presión exterior (presión atmosférica) y la interior que impulsa la entrada de agua. Transcurridas entre 24 h y 48 h de iniciado el experimento, deja de aumentar la altura de la columna de agua y, a partir de su valor y de la altura del recipiente, se puede hacer una estimación aceptable de la concentración de oxígeno en el aire.

2.2 Fracción molar del oxígeno en el aire

La fracción molar del oxígeno en el aire depende de la proporción de vapor de agua que este contenga, o sea, de

la humedad relativa del aire. En el aire exento de humedad (aire seco), el valor medio de la fracción molar del oxígeno es 0,2095,^[16] pero en el aire ordinario (generalmente, aire húmedo) este valor disminuye conforme aumenta la proporción de vapor de agua.

Si se llama x a la fracción molar del oxígeno en el aire atmosférico (aire húmedo), p_{O_2} a la presión parcial del oxígeno, p_a a la presión que ejerce el aire seco y p_0 a la presión atmosférica, de acuerdo con la ley de Dalton se cumplirá que

$$p_{O_2} = 0,2095 \cdot p_a = x \cdot p_0, \quad (3)$$

siendo p_0 igual a la suma de la presión que ejerce el aire seco y la presión debida al vapor de agua p_{H_2O} , es decir,

$$p_0 = p_a + p_{H_2O}. \quad (4)$$

La combinación de estas dos ecuaciones conduce a una expresión que permite calcular la fracción molar del oxígeno en función de la presión parcial del vapor de agua:

$$x = \frac{p_{O_2}}{p_0} = \frac{0,2095 \cdot p_a}{p_0} = \frac{0,2095 \cdot (p_0 - p_{H_2O})}{p_0} \quad (5)$$

En la Tabla 1 se muestran algunos valores de la fracción molar del oxígeno (calculados con la ec. 5) para el aire saturado en vapor de agua a diferentes temperaturas y a una presión estándar de 101,3 kPa. Como puede apreciarse, la fracción molar del oxígeno disminuye al aumentar la temperatura, llegando a ser inferior en un 4 % a la del aire seco a 30 °C.

Tabla 1. Fracción molar del oxígeno, en el aire saturado en vapor de agua, a diferentes temperaturas y una presión atmosférica de 101,3 kPa.

T (°C)	p_{H_2O} (kPa)	x
15	1,705	0,206
20	2,338	0,205
25	3,169	0,203
30	4,245	0,201

2.3 Relación entre la fracción molar del oxígeno en el aire y la cantidad de agua que entra al recipiente

En lo que sigue, se supondrá que la reacción entre el oxígeno y la lana de acero ocurre en un recipiente de volumen V_0 (una probeta de altura L y sección transversal constante) que contiene n_0 moles de aire (húmedo) a presión atmosférica $p_{0,1}$ y temperatura ambiente $T_{0,1}$, en el que se introduce suficiente cantidad de lana de acero para eliminar el oxígeno del aire contenido en el recipiente (ec. 2).

Al colocar la probeta invertida en un recipiente con agua (a temperatura ambiente), quedará atrapada en su interior una pequeña cantidad de agua, por lo que disminuirá el volumen que ocupa el aire y aumentará ligeramente la presión dentro de la probeta. No obstante, como la altura del agua

en el recipiente contenedor es de unos pocos cm y la presión que ejerce es mucho menor que la presión atmosférica, la lámina de agua ocluida en la probeta es tan delgada que se puede considerar que el volumen final que ocupa el aire es igual a la capacidad de la probeta y la presión que ejerce es igual a la atmosférica.

A medida que reaccione el hierro con el oxígeno del aire encerrado en la probeta, y disminuya la presión en su interior, aumentará la altura de la columna de agua que entra a la probeta (Figura 2). Una vez consumido todo el oxígeno, se cumplirá que

$$p = p_{0,2} - \rho g \Delta H, \quad (6)$$

donde p es la presión que ejerce el gas contenido en la probeta, ρ es la densidad del agua, g es la aceleración de la gravedad, ΔH es la diferencia entre la altura final del agua dentro y fuera de la probeta y $p_{0,2}$ es la presión atmosférica final (que, normalmente, será diferente de la presión atmosférica inicial $p_{0,1}$).

Por otra parte, si se admite que se puede aplicar la ley de los gases, en las condiciones en las que se lleva a cabo el experimento, cuando haya reaccionado todo el oxígeno se cumplirá que

$$pV = (p_{0,2} - \rho g \Delta H) \cdot (V_0 - V_H) = nRT_{0,2}, \quad (7)$$

donde V es el volumen que ocupa el gas remanente en la probeta, que se calcula como la diferencia entre el volumen total V_0 y el volumen de agua V_H que ha entrado a la probeta tras finalizar el experimento, n es el número de moles de gas al acabar el experimento, R es la constante de los gases y $T_{0,2}$ es la temperatura final en el interior de la probeta (normalmente, igual a la temperatura ambiente).

Teniendo en cuenta la alta densidad del hierro (7,9 g/cm³), se puede ignorar el volumen ocupado por la lana de acero, ya que es mucho menor que la capacidad de la probeta. También se pueden despreciar el volumen de agua que queda ocluida inicialmente en la probeta y el volumen de la disolución salina con la que se trata la lana de acero, porque la suma de ambos es mucho menor que el volumen total de agua que absorbe la probeta.

El gas que queda en la probeta al acabar el experimento estará constituido por nitrógeno y, en mucha menor proporción, por vapor de agua (y otros gases, como argón y dióxido de carbono). Una parte de este vapor de agua ya se encontraba presente en el aire (húmedo) que contenía inicialmente la probeta; el resto corresponde al agua evaporada durante el transcurso del experimento. Si se llama n_{H_2O} al número de moles de agua que se evaporan en el interior de la probeta y n_{O_2} al número de moles de oxígeno que reaccionan con el hierro, el número de moles de gas final n será

$$n = n_0 - n_{O_2} + n_{H_2O}, \quad (8)$$

Aunque el valor de n_{H_2O} se puede calcular si se conoce la humedad relativa del aire, al principio y al final del proceso, resulta más sencillo realizar el experimento si el aire

está inicialmente saturado en vapor de agua, de modo que no ocurra evaporación neta durante el curso del experimento (esto es, $n_{H_2O} \cong 0$), lo que puede conseguirse fácilmente enjuagando la probeta y dejándola invertida, sobre agua, durante unos 15 minutos antes de llevar a cabo el experimento. En estas condiciones, la ec. 7 se puede escribir en función de la fracción molar del oxígeno ($x = \frac{n_{O_2}}{n_0}$) en el aire saturado de vapor de agua a la temperatura $T_{0,1}$:

$$(p_{0,2} - \rho g \Delta H) \cdot (V_0 - V_H) \cong (n_0 - n_{O_2})RT_{0,2} = (1 - x)n_0RT_{0,2} \quad (9)$$

Considerando que $n_0 = \frac{p_{0,1}V_0}{RT_{0,1}}$ y simplificando, la ec. 9 conduce a

$$(p_{0,2} - \rho g \Delta H) \cdot \left(1 - \frac{V_H}{V_0}\right) \cong (1 - x) \cdot p_{0,1} \cdot \frac{T_{0,2}}{T_{0,1}} \quad (10)$$

de donde se puede obtener la relación entre la fracción molar del oxígeno x y el volumen de agua V_H que entra a la probeta:

$$x = 1 - \frac{(p_{0,2} - \rho g \Delta H) \cdot T_{0,1}}{p_{0,1} \cdot T_{0,2}} \cdot \left(1 - \frac{V_H}{V_0}\right) \quad (11)$$

En el caso de que el recipiente utilizado tenga una sección transversal constante (como es el caso de una probeta), la ec. 11 se puede escribir como

$$x \cong 1 - \frac{(p_{0,2} - \rho g \Delta H) \cdot T_{0,1}}{p_{0,1} \cdot T_{0,2}} \cdot \left(1 - \frac{H}{L}\right) \quad (12)$$

siendo H la altura final de la columna de agua dentro de la probeta y L la altura de la probeta.

Como en la mayoría de los casos se cumple que $T_{0,1} \cong T_{0,2}$ y que $p_{0,1} \cong p_{0,2} - \rho g \Delta H$ (téngase en cuenta que $\rho g \Delta H \ll p_{0,2}$), se puede hacer una segunda aproximación en las ecuaciones 11 y 12 que permite efectuar una rápida

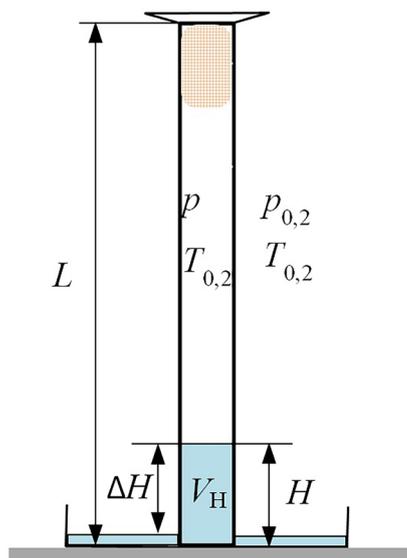


Figura 2. Situación final una vez que ha reaccionado todo el oxígeno contenido en la probeta. La presión interna p es menor que la presión atmosférica final $p_{0,2}$, mientras que la temperatura interna será igual a la temperatura ambiente final $T_{0,2}$.

estimación de la fracción molar del oxígeno mediante un simple cociente:

$$x \approx \frac{V_H}{V_0} \left(\approx \frac{H}{L} \right) \quad (13)$$

Nótese que, una vez iniciado el experimento, los valores de $T_{0,1}$, $p_{0,1}$ y x quedan fijados, por lo que la cantidad de agua dentro de la probeta dependerá de los valores finales de la temperatura y la presión atmosférica ($T_{0,2}$, y $p_{0,2}$). De acuerdo con las ec. 11 y 12, V_H y H aumentarán al hacerlo la presión atmosférica final y disminuirán al aumentar la temperatura ambiente final.

3. Materiales y métodos

3.1 Reactivos y materiales

A continuación se relacionan los materiales que se han utilizado en la realización de este experimento: lana de acero de grano fino (que se puede adquirir en cualquier ferretería), disolución de NaCl al 5 %, una probeta de capacidad nominal comprendida entre 100 cm³ y 500 cm³, una placa de Petri de 13 cm de diámetro o un cristallizador, un termómetro digital (que aprecia $\pm 0,1$ °C), una regla o cinta métrica (± 1 mm), una balanza ($\pm 0,1$ g), una botella de plástico (PET) transparente, un pequeño imán (preferiblemente de neodimio), una lupa (para medir con mayor exactitud la altura de la columna de agua) y un soporte universal.

Las cantidades necesarias de los reactivos se establecieron realizando diferentes experimentos encaminados a reducir su duración y conseguir la mejor reproducibilidad. Se estudió así la cantidad de lana de acero necesaria para minimizar la duración del proceso, rociándola con un pequeño volumen de disolución de NaCl al 5 %. El experimento se realizó con diferentes masas de lana de acero comprendidas entre 0,5 g y 6 g por litro de aire, correspondientes a, aproximadamente, la cantidad estequiométrica (calculada a partir de la ec. 2, a 298 K) y 10 veces esta. Usando las cantidades más bajas de lana de acero se obtuvieron resultados aceptables para el valor de la fracción molar del oxígeno, pero el experimento tardaba mucho más tiempo en completarse y, generalmente, sobrepasaba las 72 horas. El tiempo óptimo se consiguió con una masa de lana de acero comprendida entre 8 y 10 veces la cantidad estequiométrica (esto es, entre 5 g y 6 g de hierro por cada litro de aire); no se consideró conveniente utilizar cantidades mayores porque, además de no conseguirse una reducción importante en la duración del experimento, el volumen ocupado por la lana de acero comenzaba a ser significativo respecto del volumen de agua que entra a la probeta.

3.2 Disposición experimental

En primer lugar, se lava la probeta y se coloca invertida sobre una vasija con agua, durante unos 15 minutos, para que se renueve el aire que contiene y se sature en vapor de

agua. A continuación, se pesa la cantidad adecuada de lana de acero (2 g, para una probeta de 250 cm³, cuya capacidad real está cercana a 300 cm³) y se pulveriza sobre ella 0,5 cm³ (aproximadamente) de una disolución de cloruro sódico al 5 %. Una vez realizada esta operación, con ayuda de una varilla, se introduce la lana de acero hasta el fondo del recipiente, procurando que no quede compactada para que presente la máxima superficie de contacto con el aire.

A continuación, se mide la temperatura en el interior de la probeta (que, normalmente, será similar a la temperatura ambiente $T_{0,1}$) y se toma nota de la presión atmosférica $p_{0,1}$. A este respecto, lo más sencillo es consultar el valor de la presión atmosférica en alguna de las aplicaciones de información meteorológica disponibles en internet^[17]. En realidad, no es necesario conocer con exactitud la presión atmosférica; lo importante para hallar el valor de la fracción molar del oxígeno no es el valor más exacto posible de la presión atmosférica, sino la variación que sufre desde el inicio hasta el final del experimento.

Finalmente, se dispone la probeta invertida sobre agua, se sujeta a un soporte y se coloca un imán sobre su base para evitar que la lana de acero caiga sobre el agua (Figura 1). Cada 24 h se mide la altura de la columna de agua, la temperatura ambiente $T_{0,2}$ y la presión atmosférica $p_{0,2}$ y, a partir de la ec. 12, se calcula la fracción molar del oxígeno en el aire saturado en vapor de agua.

4. Resultados y discusión

4.1 Fracción molar del oxígeno utilizando una probeta

Los resultados que se presentan en esta sección corresponden a una serie de experimentos realizados, según el procedimiento descrito en la sección 3.2, con probetas de capacidades comprendidas entre 100 cm³ y 500 cm³ y en

diferentes condiciones ambientales en las que la temperatura estuvo comprendida entre 14 °C y 26 °C y la presión atmosférica varió entre 100,2 kPa y 102,6 kPa.

En cada uno de estos experimentos se registraron los valores de temperatura, presión atmosférica y altura de la columna de agua durante un período de varios días y se utilizó la ec. 12 para calcular los correspondientes valores de la fracción molar del oxígeno, para lo cual se consideró una imprecisión de $\pm 0,5$ °C en las medidas de la temperatura ambiente, de ± 100 Pa en la presión atmosférica y de $\pm 0,001$ m en las medidas de longitud.

Procediendo de este modo, se obtuvo un total de 260 valores experimentales para la fracción molar del oxígeno, con un valor medio de $0,212 \pm 0,005$ y distribuidos como se muestra en la Figura 3.

En la Tabla 2 se muestra la evolución de los resultados de uno de estos experimentos, durante los diez días siguientes a su inicio, de cuyo análisis se pueden extraer algunas conclusiones que se pueden extender al resto de experimentos realizados.

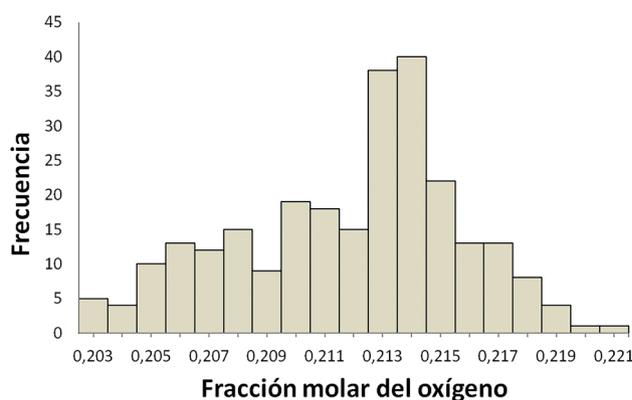


Figura 3. Distribución de los valores experimentales obtenidos en la determinación de la fracción molar del oxígeno en diferentes condiciones de presión y temperatura.

Tabla 2. Resultados obtenidos, durante un período de 10 días, en la determinación de la fracción molar x del oxígeno con una probeta de 250 cm³ de capacidad nominal y 0,313 m de altura.

Día	$T_0 \pm 0,5$ (K)	$p_0 \pm 100$ (Pa)	$H \pm 0,001$ (m)	$\Delta H \pm 0,001$ (m)	$H/L \pm 0,004$	$x \pm 0,005$
0	294,3	101270	0	0	Inicio del experimento	
1	291,6	101590	0,068	0,062	0,217	0,212
2	291,7	101610	0,068	0,063	0,217	0,212
3	294,4	101480	0,066	0,062	0,211	0,214
4	292,9	101120	0,065	0,060	0,208	0,210
5	291,9	101510	0,067	0,062	0,214	0,210
6	291,1	100930	0,067	0,061	0,214	0,213
7	292,1	100525	0,066	0,061	0,211	0,215
8	292,2	100560	0,066	0,060	0,211	0,215
9	293,0	100340	0,063	0,058	0,201	0,210
10	292,5	100450	0,065	0,061	0,208	0,214
Valor medio:					0,211	0,213

- 1) El valor obtenido, a partir de la ec. 12, para la fracción molar del oxígeno con los datos correspondientes al día 1

$$x \cong 1 - \frac{(101590 - 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,062) \cdot 294,3}{101270 \cdot 291,6} \cdot \left(1 - \frac{0,068}{0,313}\right) = 0,212 \pm 0,005,$$

indica que la práctica totalidad del oxígeno reacciona con la lana de acero durante las primeras 24 h del experimento.

- 2) Aunque todo el oxígeno contenido en la probeta se haya consumido entre las 24 h y 48 h de iniciada la reacción, la altura de la columna de agua no permanece constante. Si se comparan los valores de H en los días 3 y 5 de la Tabla 2 se observa que, al aumentar la temperatura (manteniéndose, aproximadamente, constante la presión atmosférica), disminuye la altura. Esto es así porque, al aumentar la temperatura del gas encerrado en la probeta, aumenta la presión que ejerce sobre la columna de agua y fuerza la salida de agua hasta que se restablezca nuevamente el equilibrio (dado por la ec. 6) en el que la suma de la presión interna y la presión que ejerce la columna de agua igualen a la presión atmosférica. Inversamente, al aumentar la presión atmosférica (con T_0 constante, Tabla 2, días 4 y 9), entrará agua a la probeta y aumentará H .
- 3) En general, el valor de la relación H/L en cada experimento es distinto al de la fracción molar x (calculada con la ec. 12). Sin embargo, el valor medio de H/L de un número suficiente de experimentos ($x = 0,211$ en la Tabla 2) da un resultado aceptable para la fracción molar del oxígeno.
- 4) El valor medio de la fracción molar del oxígeno ($x = 0,213$, Tabla 2), generalmente, se diferencia en menos del 5 % respecto del correspondiente valor teórico en las condiciones de trabajo ($x = 0,205$, $p_0 = 100,3$ kPa, $T_0 = 293$ K, $p_{H_2O} = 2,34$ kPa).

4.2. Fracción molar del oxígeno utilizando una botella

Usualmente, la determinación de oxígeno en el aire se realiza con un recipiente alto y de sección transversal constante de modo que el volumen del agua absorbida es proporcional a la altura de la columna de agua que entra al recipiente. No obstante, si se puede medir este volumen de agua con una exactitud aceptable, el experimento también se puede llevar a cabo con otros recipientes (p. ej., una botella). En la propuesta que se describe a continuación se presenta una variante del experimento con la que, además de determinar el contenido de oxígeno en el aire con un error similar al procedimiento convencional de la probeta, se pone de manifiesto la intensidad de la fuerza que puede llegar a ejercer la atmósfera.

Aunque los volúmenes V_0 y V_H (capacidad total de la botella y volumen de agua absorbida, respectivamente) se pueden medir con una probeta, con la finalidad de mejorar la

exactitud del método, dichos volúmenes se han determinado indirectamente, mediante diferencia de pesadas, con una balanza que aprecia décimas de gramo. Como la densidad ρ del agua utilizada en el experimento se puede considerar igual a $1,00$ g/cm³, el volumen V_0 (expresado en cm³) será numéricamente igual a la masa m_0 (medida en gramos) del agua que contiene la botella completamente llena ($V_0 = \frac{m_0}{\rho}$). Análogamente, V_H será igual a la diferencia entre la masa final de la botella m_2 , una vez finalizado el experimento, y la masa inicial m_1 , antes de que le entre agua ($V_H = \frac{m_2 - m_1}{\rho}$).

El procedimiento experimental es similar al descrito en la sección 3.2, pero utilizando una botella, de plástico transparente, de 1 L de capacidad nominal.

Una vez renovado y humedecido el aire del interior de la botella, se rocía la lana de acero (aproximadamente, unos 6 g) con disolución de cloruro sódico al 5 %, se introduce en la botella, se mide la temperatura $T_{0,1}$ en su interior y se toma nota de la presión atmosférica $p_{0,1}$. A continuación, se tapa la botella y se mide la masa m_1 del conjunto botella-lana-tapón. Para evitar que la lana de acero entre en contacto con el agua, se retiene con un imán en la base de la botella y se coloca esta invertida en un recipiente que contenga unos 300 cm³ de agua (Figura 4). Para facilitar la medida del volumen V_H de agua, es conveniente dejar el tapón parcialmente enroscado en la boca de la botella, de tal forma que permita la entrada de agua durante el curso del experimento y se pueda cerrar fácilmente al acabar este.

Cuando se observe que se estabiliza el volumen de agua dentro de la botella, se toma nota de la presión atmosférica final $p_{0,2}$ y de la temperatura ambiente final $T_{0,2}$, se enrosca completamente el tapón, se mide la diferencia ΔH entre los dos niveles del agua (dentro y fuera de la botella) y se retira el imán. Una vez secada la botella, se mide la masa m_2 del conjunto botella-lana-agua-tapón, se halla el valor del volumen V_H de agua absorbido y se calcula, a partir de la ec. 11, el contenido de oxígeno en el aire.

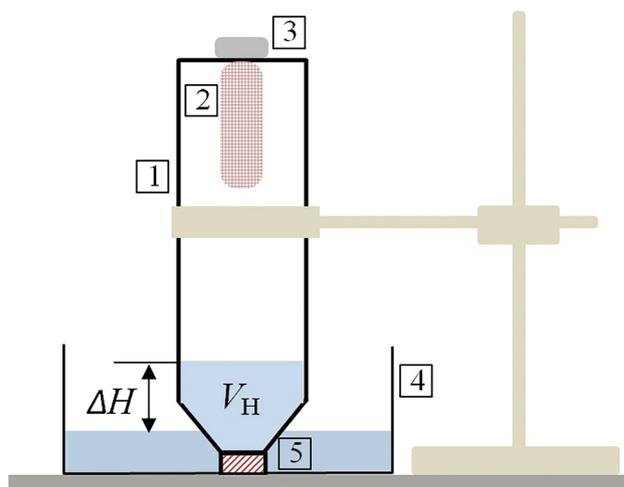


Figura 4. Montaje experimental para determinar el contenido en oxígeno del aire utilizando una botella.

(1): Botella traslúcida de polietileno. (2): Lana de acero humedecida con disolución de cloruro sódico. (3) Imán, para evitar que la lana de acero caiga al agua. (4) Recipiente con suficiente cantidad de agua para impedir la entrada de aire a la botella. (5): Tapón parcialmente enroscado en la botella.

Tabla 3. Parámetros obtenidos en la determinación de la fracción molar del oxígeno con una botella de 1 L de capacidad nominal y 6 g de lana de acero. La masa m_1 corresponde a la masa inicial de la botella con la lana de acero y la masa m_2 a la masa final de la botella, con el agua que le ha entrado y la lana de acero.

$V_0 \pm 1$ (cm ³)	$T_{0,1} \pm 0,5$ (K)	$T_{0,2} \pm 0,5$ (K)	$p_{0,1} \pm 100$ (Pa)	$p_{0,2} \pm 100$ (Pa)	$\Delta H \pm 0,001$ (m)	$m_1 \pm 0,1$ (g)	$m_2 \pm 0,1$ (g)	$V_H \pm 0,2$ (cm ³)
1036	293,4	292,9	100300	100400	0,085	45,1	257,2	212,1

En la Tabla 3 se muestra un resultado que se puede considerar representativo de los obtenidos por los autores con una botella de 1 L de capacidad nominal y 6 g de lana de acero, rociada con 1 cm³ de disolución de NaCl al 5 %.

Sustituyendo los datos de la Tabla 3 en la ec. 11 se encuentra un valor para la fracción molar del oxígeno

$$x \cong 1 - \frac{(100400 - 1000 \cdot 9,8 \cdot 0,085) \cdot 293,4}{100300 \cdot 292,9} \cdot \left(1 - \frac{212,1}{1036}\right) = 0,209 \pm 0,003,$$

que se diferencia en un 2 % del valor teórico de la fracción molar del oxígeno en el aire saturado en vapor de agua ($x = 0,205$) en las condiciones de trabajo ($p_0 = 100,3$ kPa, $T_0 = 293$ K, $p_{H_2O} = 2,34$ kPa).

4.3 Demostración de la fuerza que ejerce la atmósfera

Una ligera modificación del experimento anterior puede evidenciar la magnitud de la fuerza debida a la presión atmosférica. En este caso, la reacción tendrá lugar en el interior de la botella con el tapón firmemente enroscado, sobre cinta de teflón, para garantizar la estanqueidad del recipiente. En estas condiciones, la disminución de presión que ocurre en el interior de la botella, al reaccionar el oxígeno con la lana de acero, provocará el progresivo aplastamiento de la botella de tal modo que, a las 48 h de iniciado el experimento, presentará un aspecto similar al mostrado en la Figura 5. En este período de tiempo se habrá consumido la mayor parte del oxígeno que contenía y la botella estará deformada debido a la diferencia de presiones Δp entre el exterior ($p_0 \cong 100$ kPa) y el interior ($p \cong 80$ kPa).

Si se mide la superficie lateral S de la botella (aproximadamente, 500 cm² para una botella de 1 L), se puede realizar una estimación de la fuerza neta ΔF que experimenta dicha superficie, debido a la diferencia de presiones a la que está sometida:

$$\Delta F = \Delta p \cdot S \cong (1 \cdot 10^5 - 8 \cdot 10^4) \cdot 0,05 = 1000 \text{ N}$$

Para acabar la demostración, se puede introducir la botella invertida en un recipiente que contenga un volumen de agua superior al 21 % de la capacidad total de la botella (que suele ser un 5 % mayor que su capacidad nominal), se le quita el tapón bajo el agua y, una vez que haya recuperado su forma inicial, se tapa y se mide el volumen de agua que ha absorbido. En teoría, el volumen del agua que entra a

la botella debería estar próximo al 21 % de su capacidad, pero en la práctica suele estar comprendido entre el 19 % y el 21 % debido a que la botella puede quedar deformada irreversiblemente (y no recupera su forma y capacidad iniciales) y a que la lana de acero retiene algo de agua.

Conclusiones

La determinación del contenido en oxígeno de una mezcla gaseosa, utilizando lana de acero, presenta una exactitud similar a las técnicas clásicas en las que, mediante una reacción química, se elimina el oxígeno de la fase gaseosa.

No obstante, este procedimiento no es equiparable, ni en rapidez ni exactitud, a los métodos analíticos modernos que miden la variación de alguna magnitud relacionada con la concentración de oxígeno. Aunque este hecho ha limitado la utilidad práctica del método de la lana de acero en ámbitos más profesionales, este procedimiento presenta un indudable interés didáctico por sus numerosas ventajas:



Figura 5. Diferentes perspectivas de la deformación causada por la presión atmosférica sobre dos botellas de plástico, a las que no puede entrar aire, cuando la lana de acero consume el oxígeno del aire que contenían inicialmente.

- Es altamente instructivo para los estudiantes, puesto que intervienen conceptos relacionados con la corrosión del hierro, la composición de la atmósfera, las propiedades de los gases, la presión atmosférica y la evaporación del agua.
- Se trata de un procedimiento muy simple que no requiere material especial de laboratorio y en el que no intervienen sustancias que entrañen riesgos para las personas o el medio ambiente.
- Apenas requiere manipulación; el dispositivo experimental se monta en unos pocos minutos y no hay que realizar ninguna operación durante el curso del experimento. De hecho, este experimento puede ser llevado a cabo por estudiantes con conocimientos básicos de física y química.
- A pesar de su simplicidad, este método permite calcular fácilmente la fracción molar del oxígeno en el aire con un error inferior al 5 %.
- Dado que, frecuentemente, se cumple que tanto la temperatura ambiente del laboratorio como la presión atmosférica son, aproximadamente, iguales al inicio y al final del experimento ($T_{0,1} \cong T_{0,2}$ y $p_{0,1} \cong p_{0,2} - \rho g \Delta H$), el cálculo de la fracción molar del oxígeno en el aire se puede simplificar notablemente (ec. 13), por lo que este experimento se puede plantear al alumnado de 1º de bachillerato e, incluso, al de 4º de ESO.
- Alternativamente, este experimento se puede plantear como una demostración simple, pero muy efectiva, de la magnitud de la fuerza que ejerce la presión atmosférica.

Teniendo en cuenta que la determinación del contenido en oxígeno del aire se puede realizar con materiales cotidianos, fácilmente accesibles e inoocuos, que las medidas a realizar son muy sencillas y que proporciona buenos resultados, este experimento resulta idóneo para ser planteado como un trabajo de investigación que los estudiantes pueden realizar en sus domicilios.^[18]

Bibliografía

- [1] D. C. Harris, *Análisis Químico Cuantitativo*, 3.º ed., Reverté, Barcelona, 2016.
- [2] O. S. Wolfbeis, *BioEssays* **2015**, *37*, 921-928.
- [3] L. A. Munro, *Chem. Educ.* **1928**, *5*, 741-742.
- [4] G. B. Cooke, *J. Chem. Educ.* **1929**, *6*, 105-106.
- [5] A. T. Lincoln, H. P. Klug, *J. Chem. Educ.* **1935**, *12*, 375-376.
- [6] J. P. Birk, L. McGrath, S. K. Gunter, *J. Chem. Educ.* **1981**, *58*, 804-805.
- [7] G. F. Martins, *J. Chem. Educ.* **1987**, *64*, 809-810.
- [8] F. P. Treadwell, *Tratado de Química Analítica*, 7.º ed., Manuel Marín ed., Barcelona, 1949.
- [9] M. Najdoski, V. M. Petruševski, *J. Chem. Educ.* **2000**, *77*, 1447-1448.
- [10] F. Vera, R. Rivera, C. J. Núñez, *J. Chem. Educ.* **2011**, *88* (9), 1341-1342.
- [11] P. Atkins, L. Jones, *Química, moléculas, materia y cambio*, 3.º ed., Omega, Barcelona, 1998.
- [12] The University of Arizona, «Measuring the Percentage Concentration of Oxygen in Air», http://www.atmo.arizona.edu/students/courselinks/spring12/atmo170a1s1/coming_up/week_1/oxygen_conc_expt.html (visitada 15/01/2023).
- [13] Royal Society of Chemistry, «How much oxygen is used when iron wool rusts?» <https://edu.rsc.org/experiments/how-much-oxygen-is-used-when-iron-wool-rusts/453.article#:~:text=From%20their%20two%20measurements%20for,of%20oxygen%20in%20the%20air> (visitada 15/01/2023).
- [14] JCE staff, *J. Chem. Educ.* **2001**, *78* (4), 512A.
- [15] T. L. Brown, H. E. LeMay, B. E. Bursten, *Química, la ciencia central*, 7.º ed., Prentice Hall, México, 1997.
- [16] W. M. Haynes (ed.), *CRC Handbook of Chemistry and Physics*, 97th ed., CRC Press LLC - Taylor and Francis, Boca Raton, 2015. (<http://hbcponline.com/>)
- [17] AEMET, «El tiempo, observación y últimos datos», <https://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/ultimosdatos> (visitada 20/01/2023).
- [18] A. Tomás, J. Hurtado, *An. Quím.* **2019** *115* (5), 421-428.

El Instituto Nacional del Combustible del CSIC.

Parte 1. Puesta en marcha y primeros años

HISTORIA
DE LA
QUÍMICA

Juan M. D. Tascón 



Juan M. D. Tascón

Instituto de Ciencia y Tecnología del
Carbono, INCAR-CSIC
F. Pintado Fe 26, 33011, Oviedo

C-e: tascon@incarcsic.es

Recibido: 23/03/2023

Aceptado: 23/05/2023

ORCID: 0000-0001-9219-7266

Resumen: En esta serie de dos artículos se examina la evolución histórica del Instituto Nacional del Combustible, centro de investigación que existió entre 1940 y 1965 y fue el origen común de dos actuales institutos del CSIC. En esta primera parte se examinan los siete primeros años de su existencia (1940-46), entre los que el último tiene especial relevancia debido a la reestructuración del propio Instituto Nacional del Combustible, la creación del Instituto Nacional del Carbón y la puesta en marcha de un sistema de financiación mediante aportaciones económicas de empresas mineras.

Palabras clave: Carbón, Combustibles, CSIC, Química de combustibles, Tecnología de combustibles

Abstract: This series of two articles examines the historical evolution of the National Fuel Institute, a research center that existed between 1940 and 1965 and was the common origin of two current CSIC institutes. In this first part, the first seven years of its existence (1940-46) are examined. The last year is especially significant due to the restructuring of the National Fuel Institute itself, the creation of the National Coal Institute and the implementation of a financing system through economic contributions from mining companies.

Keywords: Coal, CSIC, Fuels, Fuel chemistry, Fuel technology

1. El marco institucional. El CSIC y el Patronato "Juan de la Cierva"

El 24 de noviembre de 1939, tal como lo indica su ley fundacional,¹ se crea el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), al que, como es de sobra conocido, se traspasaron los bienes de la preexistente Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), cuya actividad se dirigía hacia la investigación fundamental. Mucho menos conocido es el paralelo traspaso al CSIC de los bienes de la Fundación Nacional de Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas (FNICER), creada en 1931 y orientada hacia la investigación aplicada.² Con ello se ponía el patrimonio de ambas instituciones en manos de un colectivo de investigadores muy mermado tras la Guerra Civil por los fallecimientos, el exilio y la depuración. Esta última fue llevada a cabo por una comisión presidida por Antonio de Gregorio Rocasolano,³ quien sería vicepresidente del CSIC y en 1946 daría nombre al Instituto de Química Física del mismo (nombre que en mayo de 2023 ha sido cambiado a Instituto de Química Física Blas Cabrera).

Tan solo tres meses después de la creación del CSIC, el primero de los decretos que regularon su funcionamiento⁴ lo estructura en un conjunto de seis divisiones denominadas

patronatos, nombre que evoca la tutela ejercida sobre este tipo de institución por un conjunto de patronos procedentes de diferentes estamentos. La Figura 1a muestra un antiguo emblema del CSIC, representado alegóricamente mediante el árbol luliano de la ciencia, que incluye los nombres de los patronatos. La misma Orden de 8 de marzo de 1940 que asigna el patronazgo espiritual de la nueva institución a San Isidoro de Sevilla se detiene a especificar la planta concreta a la que correspondería el "arbor scientiae" del CSIC: un granado (ver Fig. 1a). La división en patronatos subsistiría hasta que, en los albores de la Democracia, el Real Decreto 62/1977 los suprime, siendo asumidas las competencias de todos ellos por la Junta de Gobierno del CSIC.⁵

Numerosos escritos de la época del primer franquismo señalaban como uno de los (entonces forzados) ideales de dicho régimen el alcanzar en España la autarquía, sistema económico según el cual un país busca la autosuficiencia, reduciendo al mínimo los intercambios comerciales y de capital con otros países e intentando abastecerse exclusivamente de sus propios recursos económicos. Como es bien conocido, el aislamiento de España al final de la Guerra Civil se vio acrecentado seis años después al término de la Segunda Guerra Mundial, cuando las potencias vencedoras decidieron ejercer un bloqueo invitando a los diferentes países del mundo a retirar sus embajadas de España en castigo por



Figura 1. a, Antigua emblema del CSIC, que incluye los nombres de los patronatos constituyentes del mismo. b, Fotografía del edificio de la sede central del Patronato "Juan de la Cierva", situado en la calle Serrano 150 de Madrid; adaptado de la ref. 9.

© 2023 Real Sociedad Española de Química

la vinculación que había mantenido con las potencias del Eje. Resulta sorprendente desde la perspectiva actual imaginar una España que, como consecuencia de aquel bloqueo, únicamente mantenía relaciones diplomáticas plenas con la Argentina del general Perón, el Portugal del general Salazar y el Vaticano! El bloqueo no se relajaría hasta que, gracias a la situación geoestratégica del país, se firman en 1953 los *Pactos de Madrid*, que hacían posible el establecimiento de bases militares de Estados Unidos en España. Ello propició la importación de tecnología proveniente de la otra orilla del Atlántico, flujo que había sido ralentizado por parte norteamericana a partir de 1945.

El bloqueo internacional sufrido por aquella España de los años 40 del pasado siglo produjo una imperiosa necesidad de desarrollar tecnología propia, favoreciéndose la investigación de carácter aplicado, particularmente en tecnología química.⁶ No nos extraña, pues, la especial relevancia que en aquellos primeros años del CSIC tuvo el Patronato "Juan de la Cierva Codorniu", de Investigación Técnica (el Patronato por antonomasia, cuyo nombre abreviaremos como PJC), que tuvo sus propias normas así como una generosa dotación de

medios materiales y humanos en comparación con el resto. Como muestra de ello, cuando en 1973 se publicaron por separado en el BOE sendas relaciones de funcionarios de carrera referidas a la fecha del 4 de septiembre de 1971, el PJC arrojaba una nómina de 1581 empleados⁷ frente a solo 831 para todo el resto del CSIC.⁸ Tengamos en cuenta que la segunda cifra englobaba, entre otros, a los centros de biología, biomedicina y ciencias agrarias, áreas científicas de importante implantación en el CSIC.

La sede central del PJC se situó en un edificio de la calle Serrano 150 de Madrid (Fig. 1b) proyectado por Ricardo Fernández Vallespín, quien afirmaba explícitamente⁹ su pretensión de que el inmueble fuese una imagen representativa de la investigación y la ciencia en España. Para ello, aportaba soluciones novedosas de diseño en aspectos como el control del soleamiento o avanzadas instalaciones de climatización. Además, de acuerdo con Aguado Benito y Benito Roldán,¹⁰ el edificio tenía una clara intención propagandística de modernidad ("el edificio no debe ser solamente moderno, tiene que parecerlo"); eso sí, una modernidad en consonancia con el carácter técnico de la institución que albergaba. Los anteriores autores¹⁰ han inferido además la existencia de aportaciones originales del lenguaje arquitectónico-constructivo propio de Miguel Fisac (quien no firmó el proyecto, pero dirigió la obra), la más significativa de ellas en el salón de actos.

En esta serie de dos artículos se lleva a cabo una presentación con perspectiva histórica de las actividades del Instituto del Combustible (a partir de 1946, Instituto Nacional del Combustible), uno de los principales centros constituyentes del PJC del CSIC, prestando especial atención a su primera década de existencia. La Parte 1 da cuenta de los principales hechos ocurridos entre 1940 y 1946, mientras que la Parte 2 abarca el período 1947-65. Creemos que un examen, aunque sea somero, de la trayectoria de aquel instituto puede arrojar información de interés sobre la posterior evolución de los centros derivados del mismo, que en último término son los actuales institutos de Carboquímica (ICB-CSIC) y de Ciencia y Tecnología del Carbono (INCAR-CSIC). Este trabajo intenta limitarse a aquello que es propio del Instituto Nacional del Combustible, evitando dar excesivos datos específicos sobre cada uno de los dos institutos derivados de él, ya que de lo que se trata es de presentar la historia del primero, no de los segundos. Como justificación adicional, creemos que los trabajos del Instituto Nacional del Combustible están entre los primeros antecedentes de la actividad de grupos investigadores sobre carbón mineral y materiales carbonosos en España. De hecho, las primeras publicaciones sobre adsorción y sólidos carbonosos del profesor Juan de Dios López González, que muchos admiramos con veneración,¹¹⁻¹⁵ no surgirían hasta los años 50 del pasado siglo.

2. El Instituto del Combustible. La actividad de la Sección de Zaragoza en sus primeros años de existencia

En el antes citado⁴ primer Reglamento del CSIC, de 1940, se enumeran los dos únicos centros constituyentes del PJC en

aquel momento inicial: el Instituto "Leonardo Torres Quevedo" de Material Científico y el Instituto del Combustible (todavía sin el calificativo de "nacional" en su nombre). El primero de ellos era heredero del Laboratorio Torres Quevedo, que se había incorporado a la FNICER en 1934, habiendo funcionado en ese período de la Segunda República más como centro de normalización que de investigación propiamente dicha.² La Tesis Doctoral de López García¹⁶ y la serie de tres artículos derivados de la misma publicados en *Arbor*^{2,17,18} proporcionan una interesante y completa visión de conjunto de los condicionantes que rigieron la actuación del PJC, así como muchos datos específicos sobre el Instituto del Combustible de los que no hubiéramos tenido conocimiento de otro modo.

La creación del Instituto del Combustible y, muy poco después, la del Instituto Técnico de la Construcción y Edificación (antecedente del actual Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETCC-CSIC) daban respuesta, respectivamente, a dos necesidades perentorias en aquella época de la postguerra:¹⁷ disponer de combustible para generar la energía necesaria para "poner en funcionamiento" el país y reconstruir los edificios e infraestructuras dañados durante la Guerra Civil. La primera necesidad explica la pronta puesta en marcha del Instituto del Combustible, al que Gómez Aranda¹⁹ asignaba como fecha de fundación el 10 de febrero de 1940 (fecha de publicación en el BOE del antes mencionado Reglamento del CSIC). Vemos, pues, la considerable importancia que se atribuyó en aquel momento al campo de los combustibles, anticipándose a los metales, que años después coparían el grueso del PJC y, por ende, del CSIC; nos referimos a los institutos de la Soldadura (1946), del Hierro y el Acero (1947) y de Metales no Férricos (1958), que en 1963 se fusionarían en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, CENIM-CSIC.

Según López García,¹⁷ el germen del Instituto del Combustible estuvo en el laboratorio de la Compañía Arrendataria del Monopolio de Petróleos, S.A. (CAMPESA), empresa, que había sido creada ya en 1927. De hecho, en la memoria de 1946 del PJC se indica que las actividades propias de este instituto "ya existían antes que el propio PJC". El Instituto del Combustible estuvo inicialmente localizado en la Facultad de Ciencias de Madrid, que puso a su disposición varios locales y un laboratorio,²⁰ muy probablemente gracias al apoyo de Luis Bermejo Vida, que era desde 1927 catedrático de Química Orgánica en la Universidad Central y que en marzo de 1940 es nombrado primer director del Instituto del Combustible²¹, siendo asistido en esta función por un vicedirector, Eugenio Cueto y Rui-Díaz y un secretario, Vicente Gómez Aranda.

Bermejo Vida (Figura 2a²²) era un catedrático de larga trayectoria en las Universidades de Santiago, Valencia y Central—hoy Complutense, además de haber ejercido varios cargos políticos (por ejemplo, los de alcalde de Valencia y gobernador civil de Murcia y Sevilla). Gómez Aranda, antiguo doctorando suyo³ y uno de sus principales colaboradores en Madrid,²³ indicaba en un artículo biográfico sobre su maestro²⁴ que el interés investigador de Bermejo Vida estuvo principalmente en los combustibles líquidos²⁵ y los carburantes.²⁶ Bermejo Vida falleció en 1941, no siendo nombrado un

sucesor suyo para el cargo de director entre 1941 y 1945, período en que el Instituto del Combustible funcionaría con un vicedirector y un secretario. El vicedirector del Instituto, Eugenio Cueto y Rui-Díaz, era ingeniero de minas y jefe del Distrito Minero de Oviedo. Su interés estuvo en la explotación de yacimientos de carbón, particularmente los de Asturias.²⁷ Por su parte, el secretario del instituto, Vicente Gómez Aranda, era profesor auxiliar en la Universidad Central desde 1924. En ese mismo año de 1940, Gómez Aranda consigue la cátedra de Química Orgánica de la Universidad de Murcia.

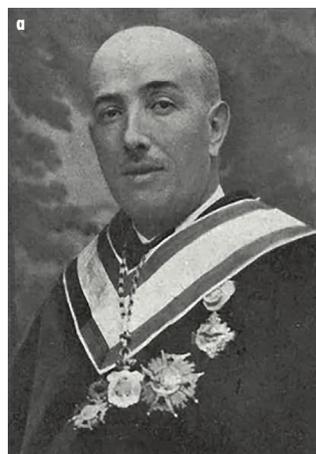


Figura 2. Los tres primeros directores del Instituto Nacional del Combustible: a, Luis Bermejo Vida; b, Joaquín Planell Riera; c, Enrique Conde Díez; imágenes adaptadas respectivamente de los refs. 22, 41 y 42.

En 1941, Gómez Aranda consigue el traslado a la cátedra de Química Orgánica de la Universidad de Zaragoza. Y a esta última ciudad se desplaza con él en 1942 gran parte de la actividad del Instituto del Combustible, quedando en Madrid un grupo dedicado a combustibles líquidos, aceites y carbones, dirigido por Rafael Gayoso Besteiro y localizado en el laboratorio central de CAMPESA, tal como lo especificaba la memoria de 1942 del CSIC. Gómez Aranda dirigiría la Sección de Zaragoza desde 1941 hasta 1973, fecha en la que le sucedería en el cargo José María Gavilán Rodríguez, quien dos años después se convertiría en el primer director del Instituto de Carboquímica como centro independiente.

El Instituto del Combustible publicó una revista denominada *Combustibles* (ISSN: 0366-7707), cuyo primer número lleva Madrid y 1941 como lugar y fecha de publicación. En 1942 la sede editorial pasa a ser Zaragoza y allí se seguiría publicando al menos hasta 1965 (último número que hemos encontrado en las bases de datos bibliográficas). Esta revista y las sucesivas memorias del CSIC del período 1940-1945 (que constituyen una fuente de información esencial, ya que el PJC no publicaría su primera memoria hasta el año 1946) muestran que en aquellos años 40 se llevaban a cabo en Zaragoza no solo trabajos dedicados a los combustibles líquidos y compuestos orgánicos (relacionados o no con ellos),²⁸⁻³⁰ sino también otros relativos a los combustibles sólidos,³¹⁻³⁶ tema sobre el que volveremos más adelante. En las memorias del CSIC de 1943 y 1944 se indicaba que los locales ocupados a la sazón por el Instituto del Combustible en la Facultad de Ciencias de Zaragoza se encontraban afectados por obras que dificultaban la ejecución de los trabajos. Tal situación pudo persistir hasta la satisfactoria conclusión de las obras unos años después.¹⁹

3. La reorganización en forma de Instituto Nacional del Combustible y la creación del Instituto Nacional del Carbón en 1946

En 1945, el CSIC aprueba un Reglamento del PJC³⁷ cuyo aspecto más relevante para nosotros fue la creación de varias Comisiones Técnicas Especializadas (CTEs). Una de ellas, la de Combustibles, estuvo presidida por Joaquín Planell Riera, entonces vicepresidente del Instituto Nacional de Industria (INI) y presidente de la Empresa Nacional "Calvo Sotelo" (ENCASO). Fueron nombrados vocales Vicente Gómez Aranda, Pío Suárez Inclán, José María de Aguinaga, José Rubí y Rubí, Juan García Dueñas y Antonio Mora Agüés, que ocupaban cargos directivos en diferentes organismos y empresas.³⁸ En el año siguiente al de su constitución, la CTE de Combustibles emite un largo y pormenorizado informe para el PJC,³⁹ que contiene numerosas recomendaciones para dos centros ya existentes: el Centro de Investigación de ENCASO para Combustibles Líquidos y Lubricantes, llamado a integrar todas las actividades que afectasen a esas especialidades incluyendo instalaciones semi-industriales e industriales y el allí denominado como "Laboratorio de Investigaciones sobre Combustibles, de Zaragoza", para el que a diferencia del anterior se proponía exclusivamente trabajo a escala de laboratorio.

En lo relativo a combustibles sólidos, la CTE de Combustibles del PJC³⁹ recomendaba la creación de un nuevo centro para el que proponía tentativamente el nombre de "Instituto Nacional del Carbón", que además de disponer de laboratorios de investigación y de análisis debería llevar a cabo trabajos a escala al menos de planta piloto para poder obtener resultados relevantes para la industria. El proyecto propone la instalación de plantas para lavado, mezclas, aglomeración y coquización de carbones. Adelantando acontecimientos, podemos decir que de este programa de trabajo derivan

muchas de las actividades que desarrollaría el INCAR sobre preparación del carbón, mezclas de carbones para coque y coquización. Sin embargo, en lo relativo a la aglomeración o a mezclas de carbones para la generación de vapor nunca se cumplieron las propuestas de la comisión, probablemente demasiado ambiciosas o incluso improcedentes.

En otro artículo de aquel mismo año de 1946, Manuel Lora Tamayo⁴⁰ informaba que ya estaba aprobada la denominación de Instituto Nacional del Carbón, su ubicación en Oviedo y la instalación de plantas para "investigaciones a escala industrial de lavado, mezclas, aglomeración y cok, que pongan a punto las modernas orientaciones de la técnica de carbones". De acuerdo con este autor, el Instituto del Combustible se constituía en dos secciones. Una era la de Combustibles Sólidos, que se identificaba con el Instituto Nacional del Carbón. La otra (Sección de Combustibles Líquidos) estaba constituida por el Centro de Investigación de ENCASO, los Laboratorios de Carburantes y Lubricantes del Instituto Nacional de Tecnología Aeronáutica y los Laboratorios de Investigación sobre Combustibles de Zaragoza. Hemos observado que esta distribución en secciones seguía estrictamente lo recomendado poco antes por la CTE de Combustibles del PJC.³⁹

Además de lo ya indicado por Lora Tamayo,⁴⁰ encontramos las primeras referencias al Instituto Nacional del Carbón en la memoria de 1946 del PJC, que es especialmente prolija en lo relativo a carbones minerales. Así, en su preámbulo se indica textualmente: "... acordada la creación del Instituto del Carbón en Oviedo, gran centro ...". La memoria se hace eco de negociaciones con el Ayuntamiento de Oviedo para la cesión de terrenos y de largas gestiones para la designación de cargos directivos. En cuanto al Instituto del Combustible, se informa que con fecha de 19 de junio de 1946 sufrió una profunda reorganización, cambiando su nombre a Instituto Nacional del Combustible (nombre que hemos utilizado en el título del presente trabajo por creer que es el que más representa a la institución dado el mayor número de años en que incluyó esa denominación de "nacional"). Joaquín Planell Riera (Fig. 2b⁴¹) es designado director y presidente del Consejo de Administración del Instituto Nacional del Combustible, siendo nombrado secretario Juan García Dueñas. Tal como lo señalábamos anteriormente, Planell Riera había presidido la CTE de Combustibles y había ostentado altos cargos en el INI y en ENCASO; cesaría en la presidencia del Instituto Nacional del Combustible en 1953 al ser nombrado ministro de Industria. Fue sucedido en esa fecha por Enrique Conde Díez (Fig. 2c⁴²), que era en ese momento director general de Minas y Combustibles y había sido, desde 1933, catedrático de Electrotecnia en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas (de Madrid, la única existente en aquellos años en España). Dicha memoria de 1946 del PJC describía también las instalaciones del Centro de Zaragoza y del Centro de Investigación de ENCASO. Ya hemos esbozado al final de la sección anterior el tipo de labor que desarrollaba el primero. En el segundo se trabajaba en temas como la producción de cetonas carburantes, la hidrólisis de materias lignocelulósicas o la destilación a baja temperatura de lignina.

4. La implementación del sistema de aportaciones industriales al Instituto Nacional del Combustible

El año 1946 fue importante para el Instituto Nacional del Combustible por una razón más, ésta de tipo económico. En ese año se aprobaron tres decretos según los cuales las empresas de los sectores de carbón, cemento, productos siderúrgicos y soldadura deberían contribuir económicamente a las actividades del PJC en esos campos de trabajo mediante las denominadas aportaciones industriales. Estas se aplicaban a la producción o a las ventas de las empresas mediante cánones fijados por separado para cada producto. En el caso del carbón, el Decreto de 25 de febrero de 1946 del Ministerio de Industria y Comercio,⁴³ continuación de uno anterior sobre intensificación de la producción de hulla,⁴⁴ imponía un canon de 4 pesetas por tonelada de este tipo de carbones.

Cabe señalar que, a diferencia de otros sectores para los que las aportaciones de las empresas (entre 0,01 y 0,02 pesetas por kilogramo producido en el caso de productos siderúrgicos; el 1% del importe de las facturas en el caso del cemento) iban destinadas exclusivamente a subvencionar las actividades del PJC, en el caso de las compañías hulleras una parte de los fondos generados se destinaba a dotar primas empresariales que premiaban el incremento, el rendimiento y la mejora de calidad en la producción de hulla; es decir, no todo el dinero iba al PJC inicialmente.

Ahora bien, la anterior situación no fue inamovible y las aportaciones industriales fueron modificadas en varias ocasiones. Por ejemplo, en 1960,⁴⁵ en que se las pasa a denominar exacciones parafiscales, se fijaron cánones sobre las ventas (entre 1 y 4 pesetas por tonelada de carbón vendida) y también sobre los transportes marítimos de carbón, aplicándose estas exacciones exclusivamente a subvencionar las actividades del PJC. Por tanto, ahí los fondos ya iban en su totalidad al PJC e incluían un sustancioso canon sobre los fletes marítimos. En la Parte 2 de esta serie de artículos⁴⁶ se mostrará, entre otros aspectos, la excepcional importancia que tuvieron las aportaciones industriales para el funcionamiento del Instituto Nacional del Combustible en sus años de consolidación como institución, es decir, de 1947 en adelante.

Agradecimientos

El autor agradece la ayuda económica (subvención IDI/2021/000037) recibida conjuntamente del Gobierno del Principado de Asturias y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF/FEDER), así como el apoyo para conseguir material bibliográfico recibido del profesor Antonio Guerrero Ruiz (UNED, Madrid) y del bibliotecario del INCAR-CSIC D. Luis Gutiérrez Fernández-Tresguerres. Este último merece nuestro especial reconocimiento por su iniciativa de digitalizar y archivar los contenidos del *Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón*, ayudando a preservar una parte muy importante del patrimonio del centro y las instituciones relacionadas con el mismo (<https://digital.csic.es/handle/10261/92518>).

Bibliografía

- [1] Ley de 24 de noviembre de 1939 creando el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. BOE del 28 de noviembre de 1939, pp. 6668-6671.
- [2] S. López García, El Patronato "Juan de la Cierva" (1939-1960). I parte: Las instituciones precedentes, *Arbor* **1998**, 157(619), 201-238.
- [3] J. Forniés, A. Laguna, Los orígenes del Departamento de Química Inorgánica de Zaragoza, *An. Quím.* **2020**, 116, 210-213.
- [4] Decreto de 10 de febrero de 1940 regulando el funcionamiento del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. BOE del 17 de febrero de 1940, pp. 1201-1203.
- [5] Real Decreto 62/1977, de 21 de enero, por el que se reestructura el Consejo Superior de Investigaciones Científicas. BOE del 25 de enero de 1977, pp. 1719-1720.
- [6] A. Toca, Dos profesiones para un solo cometido. La introducción de la ingeniería química en España durante el primer franquismo, *DYNAMIS* **2006**, 26, 233-285.
- [7] Resolución del Patronato de investigación Científica y Técnica "Juan de la Cierva" por la que se dispone la publicación en el "Boletín Oficial del Estado" de la relación de funcionarios de carrera de este Organismo referida al 4 de septiembre de 1971. BOE del 22 de febrero de 1973, pp. 3493-3517.
- [8] Resolución del Consejo Superior de Investigaciones Científicas por la que se dispone la publicación en el "Boletín Oficial del Estado" de la relación de los funcionarios de carrera de este Organismo, referida al 4 de septiembre de 1971. BOE del 19 de febrero de 1973, pp. 3209-3223.
- [9] R.F. Vallespín, Edificio para el Patronato Juan de la Cierva, *Revista Española de Arquitectura* **1953**, 142, 10-14.
- [10] J.A. Aguado Benito, E. Benito Roldán, El hormigón como elemento continuo. Miguel Fisac y el origen de las estructuras híbridas, *Revista Indexada de Textos Académicos (RITA)* **2020**, 13, 118-128.
- [11] J.D. Lopez-Gonzalez, V.R. Deitz, Surface changes in an original and activated bentonite, *J. Res. NBS* **1952**, 48, 325-333.
- [12] J.D. Lopez-Gonzalez, F.G. Carpenter, V.R. Deitz, Adsorption of nitrogen on carbon adsorbents at low pressures between 69° and 90°K, *J. Res. NBS* **1955**, 55, 11-18.
- [13] J.D. López-González, Teoría sobre la adsorción física de gases en sólidos en la zona de presiones medias, *An. Real Soc. Esp. Fís. Quím.* **1956**, 52, 387-400.
- [14] J.D. López-González, Adsorción física de gases en sólidos en la zona de muy bajas presiones, *An. Real Soc. Esp. Fís. Quím.* **1956**, 52-B(3), 139-150.
- [15] J.D. Lopez-Gonzalez, F.G. Carpenter, V.R. Deitz, Adsorption of nitrogen and argon on mineralogical graphite and diamond at 77 and 90°K, *J. Phys. Chem.* **1961**, 65, 1112-1119.
- [16] S. López García, *El saber tecnológico en la política industrial del primer franquismo*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid, 2002, 2 vols., 462 pp.
- [17] S. López García, El Patronato "Juan de la Cierva" (1939-1960). II parte: La organización y la financiación, *Arbor* **1998**, 159(625), 1-44.
- [18] López García S. El Patronato "Juan de la Cierva" (1939-1960). III parte: La investigación científica y tecnológica, *Arbor* **1999**, 162(637), 1-32.

- [19] V. Gómez Aranda, Los nuevos laboratorios del Instituto del Combustible en Zaragoza, *Combustibles* **1949**, 50, 161-170.
- [20] Anónimo, Crónica del Instituto del Combustible, *Combustibles* **1941**, 1, 51-52.
- [21] Orden de 14 de marzo de 1940 designando a los señores que se indica para el Instituto del Combustible, dependiente del Patronato «Juan de la Cierva Codorníu», del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. BOE del 26 de marzo de 1940, pág. 2066.
- [22] Anónimo, Luis Bermejo Vida ¡Presente!, *Combustibles* **1941**, 5, 77.
- [23] L. Bermejo, V. Gómez Aranda, I. Martín Panizo, Hidrogenación catalítica de la colofonia, *Combustibles* **1941**, 1, 15-19.
- [24] V. Gómez Aranda, Luis Bermejo Vida, *Combustibles* **1941**, 5, 179-181.
- [25] L. Bermejo Vida, El combustible líquido en la economía de la nueva España, *Combustibles* **1941**, 5, 185-193.
- [26] L. Bermejo Vida, Los progresos de la fabricación de carburantes por el procedimiento Fischer Tropsch, *Combustibles* **1941**, 5, 194-202.
- [27] E. Cueto y Rui-Díaz, Condiciones actuales de la explotación del carbón en Asturias, *Combustibles* **1941**, 1, 10-14.
- [28] V. Gómez Aranda, F. Martín Panizo, El craquing hidrogenante de la cera de abejas, *Combustibles* **1941**, 6, 228-233.
- [29] V. Gómez Aranda, Supercarburantes, *Combustibles* **1942**, 11-12, 201-206.
- [30] V. Gómez Aranda, Carburantes naturales y artificiales, *Combustibles* **1947**, 37, 30-44.
- [31] V. Gómez Aranda, Briquetización sin aglomerante, *Combustibles* **1941**, 3, 115-121.
- [32] V. Gómez Aranda, Química de los carbones. Curso de conferencias y trabajos prácticos, *Combustibles* **1945**, 25-26, 43-44.
- [33] V. Gómez Aranda, El azufre en los gases de destilación de carbones, *Combustibles* **1948**, 43, 97-111.
- [34] V. Gómez Aranda, F. González Sánchez, Métodos de trabajo en la química de los carbones. I. Análisis inmediato. A. Cenizas. Continuación, *Combustibles* **1949**, 48, 51-63.
- [35] F. González Sánchez, Toma de muestras de combustibles sólidos y preparación de las mismas para su análisis. I Parte, *Combustibles* **1949**, 47, 16-34.
- [36] F. González Sánchez, Toma de muestras de combustibles sólidos y preparación de las mismas para su análisis. Continuación, *Combustibles* **1949**, 48, 64-76.
- [37] Anónimo, Reglamento del Patronato «Juan de la Cierva Codorníu». Aprobado por el Consejo Ejecutivo del Superior de Investigaciones Científicas, en sesión de 28 de junio de 1945, *Combustibles* **1945**, 27-28, 78-83.
- [38] Anónimo, Información general. Actividad de las Comisiones Técnicas del Patronato «Juan de la Cierva». - Hacia una técnica nacional adecuada en materia de combustibles, *Combustibles* **1946**, 31-32, 47.
- [39] Anónimo, Estudio y dictamen de la Comisión Técnica Especializada de Combustibles, *Combustibles* **1946**, 35-36, 135-155.
- [40] M. Lora Tamayo, Organización actual de la investigación científica, *Combustibles* **1946**, 33-34, 76-88.
- [41] Anónimo, El Excmo. Sr. D. Joaquín Planell Riera, Ministro de Industria, cesa en la Presidencia del Instituto Nacional del Combustible, *Combustibles* **1953**, 67, 165.
- [42] Anónimo, El Ilmo. Sr. D. Enrique Conde Díez, Director General de Minas y Combustibles, nuevo Presidente del Instituto Nacional del Combustible, *Combustibles* **1953**, 67, 166.
- [43] Decreto de 22 de febrero de 1946 sobre precios y estímulos a la producción y mejora de los carbones de hulla. BOE del 1 de marzo de 1946, pp. 1605-1607.
- [44] Decreto de 4 de mayo de 1944 relativo a la intensificación de la producción de hulla de más de 14 por 100 de volátiles. BOE del 5 de mayo de 1944, pp. 3540-3542.
- [45] Decreto 662/1960, de 31 de marzo, para convalidación de las exacciones parafiscales del Patronato «Juan de la Cierva» de investigación técnica. BOE del 12 de abril de 1960, pp. 4742-4743.
- [46] J.M.D. Tascón, El Instituto Nacional del Combustible del CSIC. Parte 2. Consolidación y desaparición, *An. Quím.*, en prensa.

El Instituto Nacional del Combustible del CSIC. Parte 2. Consolidación y desaparición

HISTORIA
DE LA
QUÍMICA

Juan M. D. Tascón 



Juan M. D. Tascón

Instituto de Ciencia y Tecnología del
Carbono, INCAR-CSIC
F. Pintado Fe 26, 33011, Oviedo

C-e: tascon@incar.csic.es

Recibido: 23/03/2023

Aceptado: 23/05/2023

ORCID: 0000-0001-9219-7266

Resumen: Esta serie de dos artículos sobre la evolución histórica del Instituto Nacional del Combustible se completa con un análisis del período 1947-65. La Parte 2 se inicia examinando la construcción de instalaciones y edificios para los diferentes centros en Zaragoza, Madrid y Oviedo alrededor de 1950. Se muestra la existencia de antecedentes científicos no aprovechados en Oviedo, así como el proyecto de crear una sección en León que nunca se llegó a implementar. Se examina el papel del Instituto Nacional del Combustible como coordinador de actividades y su desaparición en 1965, transformándose en el Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados, con sede en Oviedo y laboratorios en Oviedo y Zaragoza.

Palabras clave: Carbón, Combustibles, CSIC, Química de combustibles, Tecnología de combustibles

Abstract: This series of two articles on the historical evolution of the National Fuel Institute is completed with an analysis of the period 1947-65. Part 2 begins by reporting on the construction of facilities and buildings for the different centers in Zaragoza, Madrid and Oviedo around 1950. It shows the existence of unused scientific precedents in Oviedo, as well as a project to create a section in León that was never implemented. The role of the National Fuel Institute as coordinator of activities and its disappearance in 1965, becoming the National Institute of Coal and its Derivatives, with headquarters in Oviedo and laboratories in Oviedo and Zaragoza, are examined.

Keywords: Coal, CSIC, Fuels, Fuel chemistry. Fuel technology

1. Nuevos edificios e instalaciones en Zaragoza y Madrid

En la primera parte de esta serie de dos artículos¹ se examinaron la creación y los inicios del Instituto Nacional del Combustible del CSIC. El análisis de su evolución histórica se completa en esta segunda parte, comenzando por la construcción de instalaciones y edificios para sus diferentes secciones.

En 1949, una vez terminadas las obras de ampliación y reforma de las instalaciones de la Sección de Zaragoza a las que se aludió anteriormente,¹ Gómez Aranda² proporcionaba una descripción de los nuevos laboratorios, instalados en locales de una superficie de unos 700 metros cuadrados cedidos al Patronato "Juan de la Cierva" (PJC) por la Universidad de Zaragoza y situados en la planta sótano de la entonces Facultad de Medicina y Ciencias (hoy día, edificio Paraninfo) de dicha universidad. Se observa² que el resultado de las obras estaba en concordancia con la propuesta de la Comisión Técnica Especializada (CTE) de Combustibles de que ese centro trabajase "desde un punto de vista puramente científico y sin rebasar la escala de trabajo de Laboratorio".³

Recomendamos a quien se interese en profundizar en la historia de la Sección de Zaragoza consultar el mencionado

artículo de Gómez Aranda,² que iba ilustrado con abundantes fotografías de buena resolución. A modo de ejemplo, la Figura 1 (a y b) reproduce dos imágenes de los recién estrenados laboratorios. Gómez Aranda indicaba como principales temas de trabajo del centro en aquel momento la realización de un inventario de los carbones aragoneses (con todo lo que ello implicaba de optimizar métodos analíticos y controlar la higroscopicidad de las muestras), la destilación a baja temperatura, purificación del gas, estudios del semicoque y los alquitranes, hidrogenación a presión, control del azufre, catálisis ácida y propiedades de los hidrocarburos. Creemos que la antes aludida¹ división de tareas entre combustibles sólidos y líquidos² dentro del Instituto Nacional del Combustible debió ser más formal que otra cosa, ya que la Sección de Zaragoza trabajaría en campos de los combustibles sólidos no necesariamente relacionados con la obtención de combustibles líquidos a partir de ellos, sino con aspectos tan variados como la briquetación,⁴ los compuestos de azufre presentes en gases derivados del carbón,⁵ el análisis inmediato de carbones,⁶ la toma de muestras representativa,^{7,8} la destilación a baja temperatura,⁹ la oxidación superficial del carbón,¹⁰ el alquitrán de hulla¹¹ o el azufre en el carbón.¹² Nos parece relevante mencionar esto porque en escritos posteriores se ha simplificado excesivamente la división de tareas entre

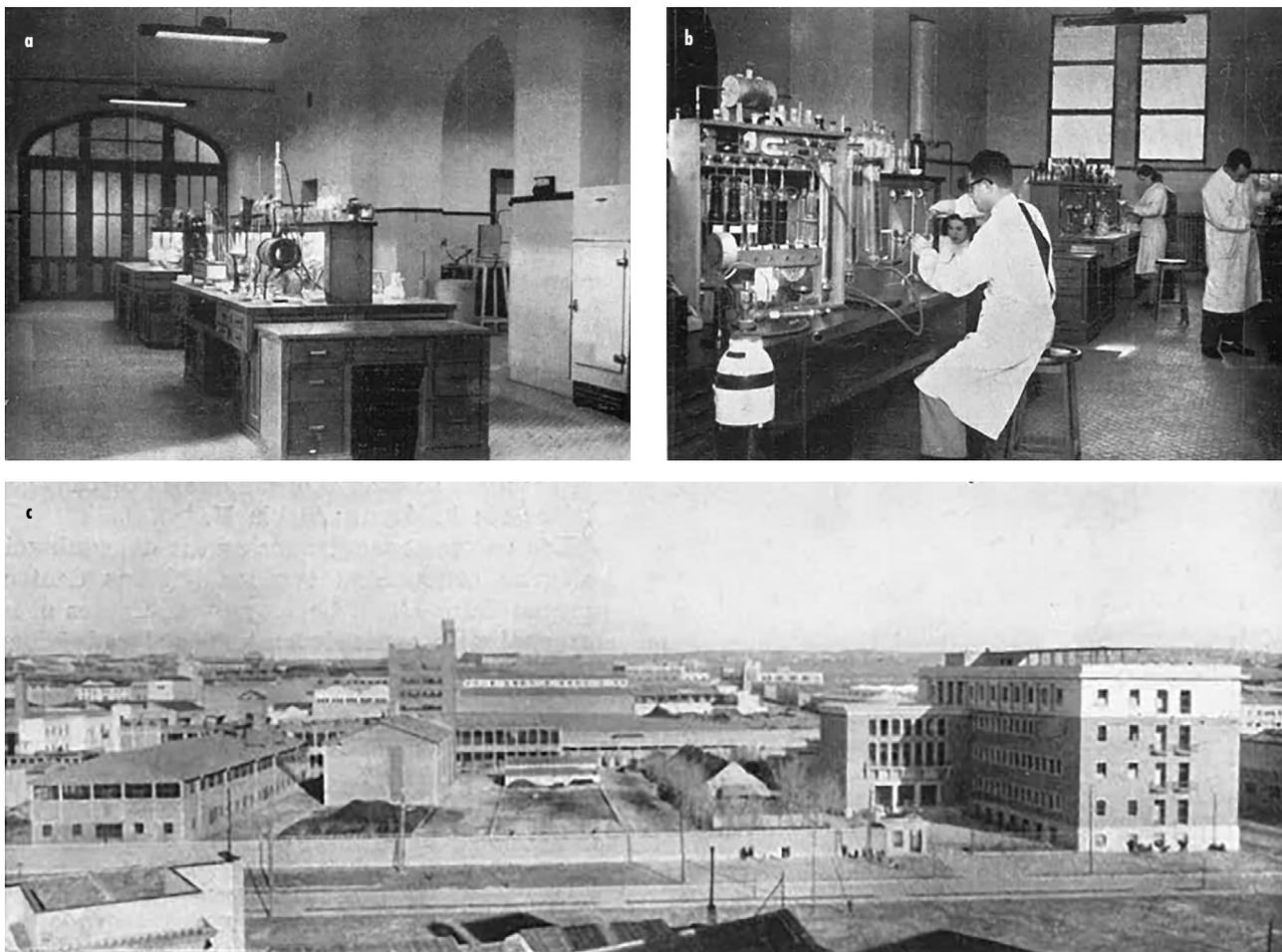


Figura 1. a y b, Dos vistas de los laboratorios de la Sección de Zaragoza del Instituto Nacional del Combustible en 1949; adaptado de la ref. 2. c, Edificios del Centro de Investigación de la Empresa Nacional Calvo Sotelo en Madrid, 1950; adaptado de la ref. 13.

© 2023 Real Sociedad Española de Química

secciones, como si la de Zaragoza se hubiese ocupado únicamente de los combustibles líquidos y la de Oviedo exclusivamente de los combustibles sólidos.

En 1950 tuvo lugar en Madrid la inauguración del Centro de Investigación de la Empresa Nacional "Calvo Sotelo" (ENCASO), que había iniciado sus trabajos en 1945 en un edificio provisional de laboratorios. En un artículo sobre la inauguración del nuevo centro publicado en *Combustibles*¹³ (y también en algunos escritos anteriores) se considera a este centro como coordinado con el Instituto Nacional del Combustible y no ya como parte integrante de este último. El nuevo centro (Fig. 1c), con entrada por la calle Embajadores de Madrid, ocupaba una superficie superior a 22000 metros cuadrados e incluía tanto laboratorios como instalaciones piloto y semi-industriales (estas últimas, dirigidas a procesos tales como hidrólisis, briquetado, destilación o refino). Entre los trabajos en curso se atribuía especial relevancia a la destilación a baja temperatura del lignito de As Pontes y el aprovechamiento de diferentes residuos agrícolas por transformación en carburantes y otros productos. Dos años después¹⁴ se inauguraría en Puertollano (Ciudad Real)

el complejo industrial de esta misma compañía destinado al aprovechamiento de pizarras bituminosas mediante destilación a baja temperatura.¹⁵

2. Antecedentes desaprovechados de investigaciones sobre carbón en Asturias

Mencionaremos brevemente en este punto una posible duplicación de actividades del PJC y un antecedente desaprovechado del Instituto Nacional del Carbón. Las memorias del CSIC de 1940-41 y de 1944 muestran la existencia, en paralelo con el Instituto Nacional del Combustible, de otro centro subvencionado por el PJC denominado Instituto de Química Aplicada de la Universidad de Oviedo, en el que se trabajaba, entre otros temas, en la utilización de hullas nacionales para producir coque de alto horno—lo que posteriormente sería el "tema estrella" del Instituto Nacional del Carbón (INCAR). Dicho instituto continuaba la actividad de dos centros existentes antes de la Guerra Civil en Oviedo: el

Instituto del Carbón, promovido en 1927 por el catedrático de Química Orgánica Benito Álvarez-Buylla y Lozana,¹⁶ y el Instituto de Química Aplicada, creado en 1933 por fusión del anterior con un grupo dedicado a la metalurgia y las volumetrías potenciométricas, liderado por Carlos del Fresno y Pérez del Villar, catedrático de Química Inorgánica.

Las instalaciones del Instituto de Química Aplicada, que publicó en total cerca de 50 trabajos, sufrieron dos destrucciones sucesivas (primero durante la Revolución de Octubre de 1934 y después durante la Guerra Civil) que redujeron a escombros el hoy llamado *Edificio Histórico* de la Universidad de Oviedo. Entre los logros de este centro estuvo la obtención de combustibles líquidos por hidrogenación del carbón en dispersión coloidal, la cual presentaba la ventaja de conservar la estructura aromática del carbón, obteniéndose productos hidrogenados altamente aromáticos.^{17,18} En la postguerra, el Instituto de Química Aplicada tuvo una efímera recuperación bajo la dirección de José María Fernández-Ladreda y Menéndez-Valdés, nombrado catedrático de Química Orgánica de la Universidad de Oviedo en 1943, pero cuyo traslado a Madrid al año siguiente, al ser nombrado ministro de Obras Públicas, debió dar al traste con la labor investigadora del centro, que de hecho nunca volvió a figurar en las memorias del PJC.

3. Los primeros años del Instituto Nacional del Carbón

No tenemos conocimiento de ningún intento de aprovechar la experiencia alcanzada por el Instituto de Química Aplicada de la Universidad de Oviedo cuando en 1946 se crea el Instituto Nacional del Carbón y se decide situarlo también en Oviedo. Tras largas gestiones para la identificación de un director, en 1947 se pone al frente del mismo a Francisco Pintado Fe, un ingeniero de minas que había terminado sus estudios solamente siete años antes y de quien no hemos encontrado ninguna evidencia sobre experiencia previa en investigación. De hecho, no poseía el grado de doctor, que en aquella época no existía todavía en España para los ingenieros; lo obtendría en 1960, imaginamos que al amparo de la Ley de 20 de julio de 1957 y la Orden de 3 de julio de 1958, que fijaban las condiciones para que arquitectos e ingenieros alcanzaran ese (nuevo para ellos) grado académico. Entre 1940 y 1943, Pintado Fe había trabajado en la Sociedad Metalúrgica Duro-Felguera, primero como auxiliar de la Oficina Técnica de la Fábrica y después como director del Pozo Sotón (en el que había dirigido la profundización del Sotón II) y jefe del Grupo Santa Ana. Entre 1943 y 1947 pasó a trabajar en el Instituto Nacional de Industria (INI) como ingeniero de la Dirección Técnica. Todo sugiere que se priorizó elegir a alguien del INI, organismo estatal cuya presidencia ostentaba Juan Antonio Suanzes compartiéndola con la del PJC y con el cargo de ministro de Industria y Comercio. Para quien no esté familiarizado con el INI, señalaremos que fue una entidad estatal española creada en 1941 para promover el desarrollo de la industria en España y que en las décadas de los años 40 a los 80 del pasado siglo constituyó el mayor grupo empresarial del país, desapareciendo en 1995. Por iniciativa del INI se

establecieron grandes empresas como ENDESA, ENSIDESA, SEAT y otras muchas dedicadas especialmente a la producción de metales (hierro, acero, aluminio) y a la industria petroquímica. López García¹⁹ ha señalado la existencia de una excesiva dependencia del PJC con respecto a los objetivos del INI, que aprovechaba para sus empresas los conocimientos generados por las investigaciones realizadas en (o promovidas por) el PJC. Esa dependencia fue especialmente intensa en el período 1946-53, precisamente el de mayor prosperidad en la historia del PJC.

Curiosamente, el Decreto de 9 de enero de 1948, relativo a la creación de nuevos patronatos en el CSIC,²⁰ da al Instituto del Carbón [sic] un tratamiento equivalente al del Instituto del Combustible, del cual había surgido solamente dos años antes. De hecho, en la documentación consultada para la preparación de este artículo se nota cierta ambigüedad, ya que en ocasiones se identifica, unas veces a la Sección de Zaragoza² y otras al INCAR, con el Instituto Nacional del Combustible, no sabemos si voluntariamente o por error. Cabe señalar que, en lo relativo a aspectos formales, los centros de Oviedo y Zaragoza siempre figuraron en las memorias del PJC como partes integrantes del Instituto Nacional del Combustible hasta 1964 inclusive. Análogamente, en 1949 Pintado Fe²¹ diferenciaba claramente el Instituto Nacional del Combustible, con sede en Madrid, de los dos centros de Oviedo y Zaragoza.

En 1947 se iniciaron gestiones con propietarios de terrenos en La Corredoria (Oviedo) para adquirir una superficie de unos 62000 metros cuadrados destinados al INCAR. Las instalaciones planeadas y ejecutadas están descritas detalladamente en otros lugares,^{22,23} por lo que aquí nos limitaremos a dar una breve información. Para ilustrar la magnitud del proyecto indicaremos que, aprovechando el paso, lindando por el oeste con los terrenos del Instituto, de la vía férrea Oviedo-Gijón, se pretendió inicialmente situar en dichos terrenos un apartadero de ferrocarril, que nunca sería concedido por RENFE. El edificio principal que se construyó para el instituto se corresponde con lo especificado en el proyecto, que tal como lo muestra la Figura 2a constaba de cuatro unidades estructurales: cuerpo de laboratorios (A), cuerpo de oficinas (B), sala de conferencias (C) y nave para ensayos a escala intermedia (D). Se estimaba la superficie construida total en unos 6000 m², con un coste aproximado del edificio de unos once millones y medio de pesetas de 1950. La revista *Combustibles* informaba en ese mismo año²⁴ sobre la celebración en Zaragoza de la "VI Reunión Bional de la Real Sociedad Española de Física y Química y III de los Institutos de Física y Química del CSIC", en la que se organizó una exposición de actividades científicas donde el Instituto Nacional del Combustible presentó un stand cuya imagen reproducimos en la Figura 2b. En la zona de la izquierda de la fotografía se distingue un cuadro con un esquema del edificio de laboratorios y oficinas del INCAR en Oviedo.

Existe una diferencia mucho mayor entre lo planeado y lo ejecutado para las plantas experimentales de aglomeración, coquización, gasificación, lavado, mezclas, etc., que hubiesen ocupado la práctica totalidad de los 62000 m² de terreno una vez construido el edificio principal. De todas esas plantas solo se llegarían a construir las de mezclas y coqui-

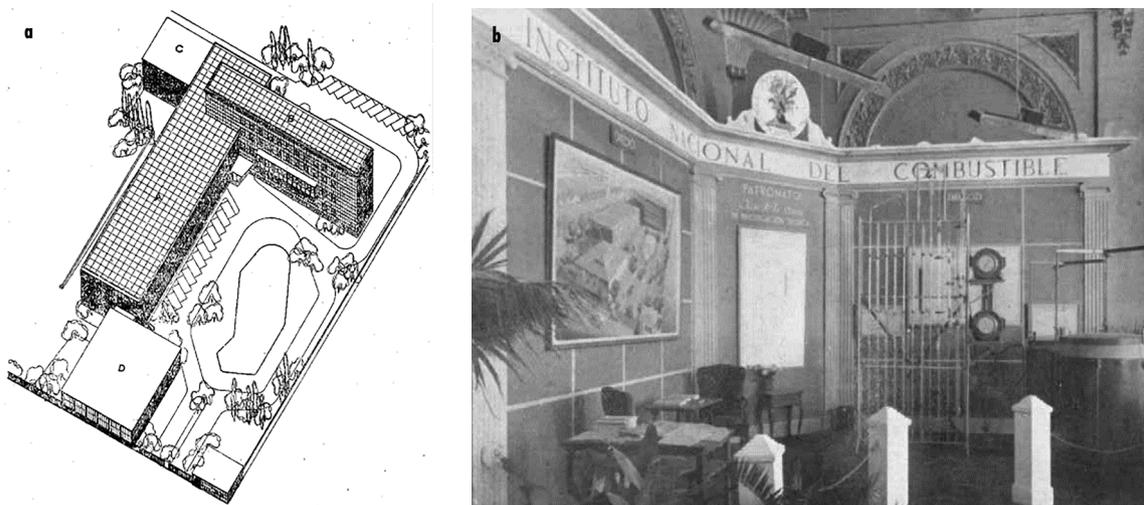


Figura 2. a, Proyecto del edificio de laboratorios y oficinas para el INCAR; A, B, C y D: ver texto; adaptado de la ref. 22. b, Fotografía del stand del Instituto Nacional del Combustible expuesto en Zaragoza en 1950; adaptado de la ref. 24.

zación.²⁵ Para la segunda se optó finalmente por un macizo de cuatro hornos de 6 m de longitud (igual a la mitad de la longitud típica de los hornos industriales) y con dos valores diferentes para la altura (3 ó 4 m). Los hornos tendrían anchuras distintas (300, 350, 400 y 450 mm) y el calentamiento sería independiente para cada horno. Se calculaban unas capacidades de tratamiento de 30,9 toneladas de carbón/día para los hornos de 3 m de altura y de 40,9 toneladas de carbón/día para los de 4 m de altura. La batería de hornos de coquización se inspiró en la existente en el *Centre de Pyrolyse de Mariénav* (Lorena, Francia) y se la consideraba como concebida según las directrices más avanzadas para aquel momento en la fabricación de hornos de coque.²⁵

4. Las primeras publicaciones del INCAR

Francisco Pintado Fe, comisionado por el PJC, emprende entre junio y octubre de 1948 un periplo por diferentes centros de investigación sobre carbón de cuatro países europeos, donde buscaría inspiración e información para la estructura y líneas de trabajo del instituto creado dos años antes. Fruto de ese viaje sería su obra "El Carbón", en tres tomos, donde describiría de modo detallado la actividad investigadora sobre carbones que se llevaba a cabo en Francia,²¹ Bélgica²⁶ y Países Bajos e Inglaterra.²⁷ Gracias sobre todo a sus pormenorizados anexos, el libro "El Carbón" sería durante años frecuente obra de consulta en el INCAR junto con otro²² derivado de un curso de verano sobre las hullas celebrado en 1949, en el que es de destacar por su carácter de investigación la parte relativa a la carbonización de la hulla (los demás capítulos eran más bien propios de un libro de texto).

Una inestimable fuente de información sobre la trayectoria del INCAR en sus primeros años la constituye el *Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón* (ISSN: 0561-3787), publicado por el instituto entre 1952 y 1963. Este

boletín y, pocos años antes, la revista *Combustibles* fueron los medios donde aparecieron las primeras publicaciones de investigadores del INCAR en temas como el origen y la formación del carbón,²⁸ la caracterización por microscopía,²⁹ la potencia calorífica,³⁰ la preparación del carbón,^{31,32} las propiedades plásticas^{33,34} o la coquización.³⁵⁻³⁷ Podemos preguntarnos si la existencia de estas dos revistas debe ser considerada como positiva, en cuanto a haber favorecido la diseminación (si bien limitada, al estar los artículos escritos en español) de los resultados de la actividad del INCAR, o si sería negativa en la medida en que la facilidad para publicar allí pudo constituir una falta de estímulo para hacerlo en medios de mayor impacto. Lo cierto es que, si exceptuamos algunas publicaciones derivadas de estancias de investigadores en centros extranjeros,³⁸⁻⁴⁰ que obviamente no pueden considerarse como generadas en el INCAR, las primeras publicaciones internacionales derivadas de trabajos realizados en este centro de Oviedo de las que tenemos conocimiento⁴¹⁻⁴⁵ solo aparecerían de 1977 en adelante. Pensemos que el antes mencionado Instituto de Química Aplicada de la Universidad de Oviedo ya publicaba en *Fuel*¹⁷ y *Journal of the Institute of Fuel*¹⁸ ¡más de 40 años antes!

5. El Instituto Nacional del Combustible como centro coordinador de actividades

En anteriores secciones hemos esbozado las temáticas iniciales de trabajo de los centros de Zaragoza y Oviedo del Instituto Nacional del Combustible. Ambos centros desarrollaron líneas de investigación diferentes y no nos parece procedente llevar a cabo un análisis detallado de la producción científica de cada uno de ellos y su evolución, sino más bien intentar inferir información sobre el Instituto Nacional del Combustible (y el propio PJC) como entidad gestora o coordinadora de actividades.

De lo visto hasta ahora deducimos que, en cuanto a inversiones, existió una mayor apuesta por el INCAR que por la Sección de Zaragoza, y hablamos no solo del coste de las plantas experimentales sino también del de los edificios de laboratorios. López García ha deducido del análisis de los resultados de las investigaciones del PJC y de las inversiones realizadas⁴⁶ que, lamentablemente, este organismo realizó excesivos gastos en edificios con función propagandística, que de haberse destinado en parte a instrumentos y personal investigador hubiesen revertido en una mayor y mejor producción científica.

También es evidente que el centro de Oviedo fue favorecido en cuanto al personal. Si bien el día 4 de septiembre de 1971 es más de seis años posterior al final del período cubierto por el presente artículo (1947-65), las relaciones de funcionarios de carrera compiladas para el PJC⁴⁷ y el resto del CSIC⁴⁸ tomando ese día como referencia nos permiten hacer comparaciones muy directas. En dicha fecha de 1971, el centro de Oviedo daba empleo a 101 personas frente a solo 21 para el de Zaragoza. Podría argumentarse que el grueso del personal de Oviedo se ocupaba del funcionamiento de la batería experimental de coquización, que exigía trabajo continuo en tres turnos diarios (lo que explicaría la gran diferencia entre 82 miembros de personal no científico en Oviedo y solo 13 en Zaragoza); no obstante, también existía desequilibrio en cuanto al personal investigador (19 científicos en Oviedo frente a 8 en Zaragoza), especialmente si tenemos en cuenta que este último centro había empezado varios años antes su andadura.

López García¹⁹ ha mostrado la gran importancia que tuvieron para el PJC (y en particular para determinados institutos "afortunados") las aportaciones industriales, de cuya implementación se dio cuenta en la Parte 1 de esta serie de artículos.¹ Estas estuvieron vigentes desde 1946 hasta 1970, representando a lo largo de todo ese amplio período de tiempo cerca del 40% del conjunto de la financiación recibida por el PJC. Como es fácil imaginar, las otras dos fuentes de financiación del *Patronato* eran las subvenciones procedentes de diferentes ministerios y los recursos propios conseguidos por los institutos en concepto de contratos de investigación y venta de sus servicios y productos. Calificábamos a ciertos institutos como "afortunados", porque, al menos en los primeros años, las aportaciones industriales repercutían no en todo el PJC sino solamente en el instituto dedicado a cada uno de los cuatro sectores implicados en las aportaciones industriales (carbón, cemento, productos siderúrgicos y soldadura); dicho en otras palabras, lo recibido de las empresas relacionadas con la minería y el transporte del carbón iba destinado en exclusiva al Instituto Nacional del Combustible/Carbón. Las aportaciones industriales fueron establecidas en una época cercana a la Guerra Civil, cuando las empresas aún no podían protestar por pagar una especie de impuesto que después les parecería injusto, ya que en último término vendría a beneficiar a las empresas estatales del INI. Ahora bien, intentos posteriores del PJC, en los años 50, de extender las aportaciones industriales a otros sectores empresariales resultaron fallidos, porque en esa época las empresas ya disponían de medios para oponerse a esas imposiciones.

Inversamente, dado que las aportaciones industriales recibidas se aplicaban a cada instituto por separado según el sector al que se adscribía su actividad, si un determinado sector entraba en crisis el afectado era solo el correspondiente centro. Así ocurrió cuando la minería del carbón entró en declive a partir de 1953 por pérdida de mercado de dicho combustible frente al petróleo y la energía eléctrica proveniente de otras fuentes. Se tuvo que llevar a cabo una unificación de los cánones existentes a tal fecha⁴⁹ a fin de recaudar fondos con los que subvencionar la construcción de las plantas del Instituto Nacional del Carbón,¹⁹ para la que el INI había concedido un crédito por valor de 40 millones de pesetas. De igual modo, López García¹⁹ ha mostrado cómo, en 1959, la crisis de la minería del carbón incluso llegó a amenazar con el cierre de la Sección de Zaragoza y reducir personal en otras delegaciones del Instituto Nacional del Combustible.

6. La desaparición del Instituto Nacional del Combustible de la estructura del PJC

Esta reseña histórica llega a su término en 1965, año en el que, tal como lo expresa la correspondiente memoria del PJC, "el CSIC, a propuesta del PJC, reorganizó y cambió de [sic] nombre del Instituto Nacional del Combustible, que pasó a ser el Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados, con sede en Oviedo. El nuevo Instituto integra así el antes denominado Instituto Nacional del Carbón y la Sección de Zaragoza del Instituto Nacional del Combustible, y queda constituido por el Centro de Oviedo, los laboratorios de Zaragoza y la Estación Experimental de León".

La mención explícita a la Estación Experimental de León nos obliga a hacer unas puntualizaciones acerca de este centro que, en realidad, nunca llegó a existir. A comienzos de los años 60 se asoman a las páginas del *Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón* varias noticias relacionadas con el análisis de carbones de León y Palencia y la visita al INCAR de una delegación relacionada con el posible montaje en León de una dependencia del Instituto.⁵⁰ La Diputación y el Ayuntamiento de León presentaron en 1962 una propuesta formal de crear en dicha ciudad una filial del INCAR, para lo que el Ayuntamiento de León proponía ceder más de 9000 metros cuadrados de terrenos y la Diputación ofrecía construir los laboratorios, naves de ensayo y oficinas. Un año después, varios expertos del INCAR impartieron en León un ciclo de conferencias,⁵¹ en dos de las cuales se incluía una descripción de los laboratorios, plantas de ensayo y dependencias del centro a montar en León y se ponía un cierto énfasis en el comportamiento de las hullas leonesas en coquización.⁵² A partir de ahí se abre un anormalmente largo compás de espera hasta que las memorias del PJC de 1966 y 1967 se resignan a anunciar como muy probable la cancelación del proyecto al no haberse conseguido los fondos necesarios. Finalmente, la memoria de 1968 del PJC da cuenta del cierre definitivo del proyecto de construir la Estación de Ensayos de León. La mención a este centro como existente en diferentes documentos de comienzos de los años

60, su inclusión en organigramas, etc., puede en algunos casos haber llevado a la conclusión errónea de que llegó a existir en la realidad, ya que muy posteriormente aparece mencionado como tal en alguna publicación.⁵³

Volviendo a la memoria del PJC de 1965, que decreta la desaparición del Instituto Nacional del Combustible como tal, la parte de la misma correspondiente a la Sección de Zaragoza explica que el cambio producido no era simplemente formal, sino que suponía una restricción del campo al que podía extenderse la actividad del centro, ya que quedaba excluido de su investigación todo cuanto afectaba a productos petrolíferos y gases naturales. No obstante, creemos que hacía tiempo que el PJC (y por tanto el CSIC) había ido descartando la idea de albergar investigaciones sobre combustibles líquidos y gaseosos. Basta comparar la extensión decreciente de la parte de las memorias del PJC correspondiente al Centro de Investigación de ENCASO en 1949 (14 páginas) y en 1957 (una sola página), o reparar en el hecho de que este último centro dejó de aportar datos a la memoria del PJC de 1960 en adelante. El petróleo "volvería" años después al CSIC de la mano de otro instituto, el de Catálisis y Petroleoquímica (ICP-CSIC). La consecución de importantes contratos de investigación con compañías petroquímicas de importancia mundial por parte de Juan Francisco García de la Banda y sus discípulos desde finales de los años 50 propició que aquello que había nacido como un grupo dedicado a la ciencia básica (por ejemplo, a la teoría electrónica de la catálisis) fuera el germen de avanzadas investigaciones tecnológicas sobre procesos esenciales para la industria petroquímica.^{54,55}

La memoria de 1965 del PJC indicaba que, por premura de tiempo (el Instituto Nacional del Combustible fue suprimido en los últimos días de aquel año, concretamente el 26 de diciembre de 1965), las contribuciones de los dos centros constituyentes del nuevo Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados (Oviedo y Zaragoza) se presentaban por separado. Sin embargo, hemos observado que en años posteriores ambos centros siguieron rindiendo cuentas de su actividad individualmente en las memorias del PJC, de las que la última existente corresponde a 1975. Ese es precisamente el año en que la Sección de Zaragoza se independiza como Instituto de Carboquímica (ICB-CSIC), nombre que ha conservado sin modificación desde entonces. El INCAR, sin embargo, ha experimentado cambios de nombre en 1965 (Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados), 1972 (Instituto Nacional del Carbón y sus Derivados "Francisco Pintado Fe"), 1993 (Instituto Nacional del Carbón) y 2020 (Instituto de Ciencia y Tecnología del Carbono). El futuro deparará si nos esperan otros cambios.

Agradecimientos

El autor agradece la ayuda económica (subvención IDI/2021/000037) recibida conjuntamente del Gobierno del Principado de Asturias y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (ERDF/FEDER), así como el apoyo para conseguir material bibliográfico recibido del profesor Antonio Guerrero Ruiz (UNED, Madrid) y del bibliotecario del INCAR-CSIC D. Luis Gutiérrez Fernández-Tresguerres. Este último merece nuestro

especial reconocimiento por su iniciativa de digitalizar y archivar los contenidos del *Boletín Informativo del Instituto Nacional del Carbón*, ayudando a preservar una parte muy importante del patrimonio del centro y las instituciones relacionadas con el mismo (<https://digital.csic.es/handle/10261/46686>).

Bibliografía

- [1] J.M.D. Tascón, El Instituto Nacional del Combustible del CSIC. Parte 1. Puesta en marcha y primeros años, *An. Quím.*, en prensa.
- [2] V. Gómez Aranda, Los nuevos laboratorios del Instituto del Combustible en Zaragoza, *Combustibles* **1949**, *50*, 161-170.
- [3] Anónimo, Estudio y dictamen de la Comisión Técnica Especializada de Combustibles, *Combustibles* **1946**, *35-36*, 135-155.
- [4] V. Gómez Aranda, Briquetización sin aglomerante, *Combustibles* **1941**, *3*, 115-121.
- [5] V. Gómez Aranda, El azufre en los gases de destilación de carbones, *Combustibles* **1948**, *43*, 97-111.
- [6] V. Gómez Aranda, F. González Sánchez, Métodos de trabajo en la química de los carbones. I. Análisis inmediato. A. Cenizas. Continuación, *Combustibles* **1949**, *48*, 51-63.
- [7] F. González Sánchez, Toma de muestras de combustibles sólidos y preparación de las mismas para su análisis. I Parte, *Combustibles* **1949**, *47*, 16-34.
- [8] F. González Sánchez, Toma de muestras de combustibles sólidos y preparación de las mismas para su análisis. Continuación, *Combustibles* **1949**, *48*, 64-76.
- [9] V. Gómez Aranda, J.L. Martínez Cordon, La destilación del carbón a baja temperatura. Primera parte.- Consideraciones generales, *Combustibles* **1950**, *51*, 3-9.
- [10] F. González Sánchez, La oxidación superficial del carbón. Progresos en su estudio durante el período 1940-50, *Combustibles* **1951**, *57*, 224-243.
- [11] V. Gómez Aranda, J. Auria Arbuñes, Características y composición del alquitrán de hulla, *Combustibles* **1952**, *64*, 417-435.
- [12] V. Gómez Aranda, J. Auria Arbuñes, El azufre en el carbón. II. Determinación del azufre total en carbones ricos en este elemento, *Combustibles* **1954**, *72*, 72-79.
- [13] Anónimo, Inauguración del Centro de Investigación de la Empresa Nacional "Calvo Sotelo", *Combustibles* **1950**, *54*, 298-300.
- [14] Anónimo, Noticias nacionales. Inauguración del Complejo Industrial de Puertollano de la Empresa Nacional "Calvo Sotelo", *Combustibles* **1952**, *62*, 277-279.
- [15] Anónimo, La destilación de pizarras bituminosas en el Centro Industrial de Puertollano de la Empresa Nacional "Calvo Sotelo", *Combustibles* **1952**, *61*, 163-168.
- [16] B. Álvarez-Buylla, El problema del carbón. Discurso leído en la solemne apertura del curso académico de 1927-28. Universidad de Oviedo, Tip. de Flórez, Gusano y Comp^ª, Oviedo, 1927.
- [17] J.M. Pertierra, The colloidal solution of coal, *Fuel* **1934**, *13*, 23-26.
- [18] J.M. Pertierra, Research on the hydrogenation of a colloidal solution of coal, *J. Inst. Fuel* **1935**, *9* (Oct.), 16-23.
- [19] S. López García, El Patronato "Juan de la Cierva" (1939-1960). II parte: La organización y la financiación, *Arbor* **1998**, *159* (625), 1-44.
- [20] Decreto de 9 de enero de 1948 por el que se modifican varios artículos del de 10 de febrero de 1940 y complementarios refe-

- rentes al Consejo Superior de Investigaciones Científicas. BOE del 24 de enero de 1948, pp. 337-339.
- [21] F. Pintado Fe, El carbón. Algunos aspectos de los estudios sobre su origen, propiedades, preparación y utilización. Memoria de un viaje de estudios efectuado a Francia, Bélgica, Holanda e Inglaterra. Tomo I.- Primera parte: A propósito de la investigación sobre el carbón en Francia, C. Bermejo, Impresor, Madrid, 1949, 339 pp.
- [22] F. Pintado Fe, L. Rodríguez Pire, C. Bertrand y Bertrand, Cursillo de introducción a la investigación sobre las hullas, Talleres Tipográficos "La Cruz", Oviedo, 1950, 395 pp.
- [23] Anónimo, Fines del Instituto. Esquema de su organización, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1952**, *1*, 11-18.
- [24] Anónimo, Información General. VI Reunión Biental de la Real Sociedad Española de Física y Química y III de los Institutos de Física y Química del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, *Combustibles* **1950**, *54*, 301-306.
- [25] Anónimo, Características generales de la Planta Experimental de coquización proyectada para el Instituto, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1952**, *2*, 9-12.
- [26] F. Pintado Fe, El carbón. Algunos aspectos de los estudios sobre su origen, propiedades, preparación y utilización. Memoria de un viaje de estudios efectuado a Francia, Bélgica, Holanda e Inglaterra. Tomo II.- Segunda parte: A propósito de la investigación sobre el carbón en Bélgica, C. Bermejo, Impresor, Madrid, 1950, 486 pp.
- [27] F. Pintado Fe, El carbón. Algunos aspectos de los estudios sobre su origen, propiedades, preparación y utilización. Memoria de un viaje de estudios efectuado a Francia, Bélgica, Holanda e Inglaterra. Tomo III.- Tercera parte: A propósito de la investigación sobre el carbón en Holanda. Cuarta parte: Idem en Inglaterra, C. Bermejo, Impresor, Madrid, 1951, 522 pp.
- [28] L. Rodríguez Pire, Origen y formación del carbón, *Combustibles* **1950**, *52*, 134-145.
- [29] V. Hevia Rodríguez, El estudio microscópico del carbón, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1953**, *9*, 5-34.
- [30] J.A. Corrales Zarauza, Sobre el cálculo de la potencia calorífica de los carbones españoles a partir de los datos del análisis inmediato, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1953**, *11*, 5-21.
- [31] C. Bertrand Bertrand, Ensayos de lavabilidad de los carbones, *Combustibles* **1951**, *56*, 136-145.
- [32] F. Pintado Fe, Fundamento teórico y ejecución práctica de los ensayos que sirven para caracterizar el funcionamiento de los aparatos depuradores de carbón bruto. *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1953**, *12*, 23-28.
- [33] R. Martínez Gayol, L. Rodríguez Pire, Nuevo modelo de horno eléctrico para la determinación del índice de hinchamiento al crisol de las hullas, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1953**, *12*, 12-22.
- [34] J.B. Escudero Fernández, Contribución a la técnica operatoria del ensayo en el dilatómetro Audibert-Arnu, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1954**, *16*, 33-43.
- [35] J.R. García-Conde, Efecto de la hidrogenación parcial, y mezclas, sobre las propiedades coquizantes del carbón, *Combustibles* **1950**, *51*, 10-14.
- [36] F. Pintado Fe, J.R. García-Conde, Coque siderúrgico. I.- Definición y propiedades, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1952**, *5*, 5-15.
- [37] F. Pintado Fe, Aplicación de ensayos especiales a la preparación de mezclas sustitutivas de los carbones unitarios naturales, en la industria de la carbonización de la hulla, *Combustibles* **1953**, *54*, 304-334.
- [38] A. Duparque, V. Hevia-Rodríguez, Structure microscopique des houilles en surfaces simplement polies et en lames minces, *Ann. Soc. Géol. Nord* **1952**, *LXXII*, 106-112.
- [39] A. Duparque, V. Hevia-Rodríguez, Examens microscopiques des gayets en surfaces simplement polies et en lames minces, *Ann. Soc. Géol. Nord* **1953**, *LXXIII*, 36-42.
- [40] J.A. Corrales, D.W. van Krevelen, Thermo-gravimetric studies of coal and model-substances, *J. Inst. Fuel* **1960**, *33*(228), 10-16.
- [41] V. Hevia, J.M. Virgós, Rank and anisotropy of anthracites. Indicating surface of reflectivity in uniaxial and biaxial substances, *J. Microscopy* **1977**, *109*, 23-27.
- [42] J.G. Prado, Optical properties of oxidized vitrinite and exinite. *J. Microscopy* **1977**, *109*, 85-92.
- [43] J.B. Escudero, R. Alvarez, Influence of air oxidation on the pressure exerted by coking coals during carbonization, *Fuel* **1981**, *60*, 251-253.
- [44] J. Bermejo, J. S. Canga, O.M. Gayol, Analysis of complex mixtures of aromatic hydrocarbons. Relations between retention index and molecular structure, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry* **1982**, *11*, 271-281.
- [45] J. Bermejo, M.D. Guillén, Empirical multiparameter relationships between retention indexes and multiparameter properties of alkylbenzenes", *Chromatographia* **1983**, *17*, 664-668.
- [46] López García S. El Patronato "Juan de la Cierva" (1939-1960). III parte: La investigación científica y tecnológica, *Arbor* **1999**, *162*(637), 1-32.
- [47] Resolución del Patronato de investigación Científica y Técnica "Juan de la Cierva" por la que se dispone la publicación en el "Boletín Oficial del Estado" de la relación de funcionarios de carrera de este Organismo referida al 4 de septiembre de 1971. BOE del 22 de febrero de 1973, pp. 3493-3517.
- [48] Resolución del Consejo Superior de Investigaciones Científicas por la que se dispone la publicación en el "Boletín Oficial del Estado" de la relación de los funcionarios de carrera de este Organismo, referida al 4 de septiembre de 1971. BOE del 19 de febrero de 1973, pp. 3209-3223.
- [49] Decreto de 13 de mayo de 1953 por el que se unifican los cánones sobre la minería del carbón. BOE del 5 de julio de 1953, pp. 4072-4073.
- [50] Anónimo, Visitas recibidas, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1961**, *50*, 46.
- [51] Anónimo, Ciclo de conferencias en León, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1963**, *57*, 99-101.
- [52] Anónimo, Nota previa sobre los carbones coquizantes de la provincia de León, *Bol. Inf. Inst. Nacl. Carbón* **1962**, *54*, 45-47.
- [53] J.L. García Fierro, Química y Tecnologías Químicas, *Arbor* **2000**, *166*, 141-153.
- [54] J.F. García de la Banda, La Catálisis en España y sus relaciones con Portugal e Iberoamérica. 1940-2008. En: *Protagonistas de la química en España: Los orígenes de la catálisis* (Eds.: P. Bosch Giral, J.F. García de la Banda, J. Pérez Pariente, M. Toural Quiroga), CSIC, Madrid, 2010, cap. VI, pp. 287-331.
- [55] J. Pérez Pariente, J. Soria Ruiz, J.F. García de la Banda, The origin of the Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP, Institute of Catalysis and Petroleum Chemistry) of the Spanish National Research Council and its relationship with the development of catalysis in Spain. *Catal. Today* **2015**, *259*, 3-8.

PREMIOS RSEQ

Agustí Lledós Falcó, MEDALLA de Oro RSEQ 2023



Dr. Agustí Lledós

Agustí Lledós (Barcelona, 1955) se inició en el campo de la Química Teórica en 1979. Obtuvo el doctorado en Química por la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) en 1984, con una tesis doctoral sobre modelización del efecto del disolvente en prototropías, dirigida por Juan Bertán Rusca. Se inició en la Química Organometálica en una estancia postdoctoral en la Universidad de París-Sur (1985-86). En 1987 se reincorporó a la UAB e inició un grupo de investigación dedicado al estudio computacional de la reactividad organometálica. Desde 1994 es catedrático de Química Física en la UAB y ha sido responsable del Grupo de Modelización Computacional de Sistemas con Metales de Transición (Transmet). El grupo ha sido pionero en la colaboración experimental-teórica en química organometálica y ha tenido un papel importante en la introducción y expansión de los cálculos teóricos en la comunidad orga-

nometálica. Su investigación se ha centrado en la modelización computacional de la reactividad organometálica y de los procesos de catálisis homogénea. Una parte importante de la producción científica del Dr. Lledós corresponde a publicaciones conjuntas con grupos experimentales. El grupo ha formado también en las técnicas computacionales a numerosos investigadores experimentales. En 2008 el Dr. Lledós recibió el Premio RSEQ-Bruker del ámbito de Química Física y en 2018 la Medalla Rafael Usón del Grupo Especializado de Química Organometálica (GEQO) de la RSEQ. En el 2004 recibió la Distinción para la Promoción de la Investigación Universitaria y en el 2019 la medalla Narcís Monturiol al Mérito Científico, otorgadas por la Generalitat de Catalunya. El Dr. Lledós ha sido coordinador del área de Química de la ANEP (2008-2011) y vice-presidente de la RSEQ (2012-2017).  [0000-0001-7909-422X](https://orcid.org/0000-0001-7909-422X)

Premios de Reconocimiento a una Carrera Distinguida de la RSEQ, 2023



Dra. María José Camarasa Rius.

María José Camarasa es profesora de investigación, en el Instituto de Química Médica (IQM) del CSIC desde el año 2002. Tras su doctorado en Ciencias Químicas, por la Universidad Complutense de Madrid (UCM), realizó una estancia post-doctoral en el Departamento de Química Médica de la „School of Chemistry“ de la Universidad de Birmingham (U.K.). Tras esta etapa se reincorpora al Instituto de Química Médica, donde comienza su carrera independiente como científico titular. A partir de ese momento, inicia una carrera en la búsqueda de nuevos agentes antivirales, especialmente frente al virus de inmunodeficiencia humana (HIV-1), con los derivados TSAO como máximo exponente, e impulsa nuevas líneas de investigación en terapia antitumoral y en terapia antiparasitaria. Asimismo, desarrolla una novedosa tecnología pro-fármaco para aumentar la solubilidad y biodisponibilidad oral de fármacos y moléculas pequeñas, basada en la enzima endógena CD-26. Lidera el grupo de investigación “nucleósidos y análogos”.

Ha compaginado su labor investigadora con el desempeño de otras actividades de gestión de la investigación y política científica. Desde el inicio de la pandemia COVID-19, la Dra. Camarasa ha participado en la Plataforma del CSIC PTI coordinando la subárea de Nuevos Antivirales frente al COVID (2020-2021). También, desde 2019 es consejera de la Fundación Gadea Ciencia. Ha sido presidenta de la Sociedad Española de Química Terapéutica. Es miembro de número de diversas sociedades científicas, tales como ACS, RSEQ, ISAR e ISNAC (*member of the board of directors*).

La Dra. Camarasa, es miembro del comité editorial de diversas revistas científicas. Miembro por invitación del panel “*programme of development of the publication*” y del “*panel reading survey*” de *Nature*. Editor del libro “*Enzymatic and Chemical Synthesis of Nucleic Acid derivatives*” (Wiley). Ha participado en 32 proyectos, 29 de ellos como IP y 13 de ellos internacionales, así como en contratos con diversas

compañías farmacéuticas. Posee más de 240 publicaciones en revistas internacionales, y 18 patentes (la mayoría internacionales), algunas en explotación.

La Dra. Camarasa ha sido merecedora de varios premios y reconocimientos, destacando el Premio Descartes (2001). En 2008 fue nominada al premio L’Oreal-Unesco Awards 2009 “*For woman in Science*”. Cabe destacar que en el año 2022 ha sido reconocida como uno de los científicos más citados del CSIC en el top 2% mundial de sus disciplinas.

 [0000-0002-4978-6468](https://orcid.org/0000-0002-4978-6468)



Dr. Víctor Sotero Martín García

Víctor S. Martín nació en Mazo, La Palma (Islas Canarias) en 1953. Se licenció en Química en la Universidad de La Laguna en 1975 y se doctoró en la misma universidad en 1978. Realizó estancias postdoctorales en la Universidad de Stanford (USA) y el MIT (USA) bajo la dirección del Prof. K. Barry Sharpless. Fue profesor titular en 1984 en la Universidad de La Laguna, investigador científico del CSIC en 1989 y catedrático de Química Orgánica desde 1992 en la citada universidad. Desde 1985 ha sido investigador principal de proyectos autonómicos, nacionales e internacionales. Ha dirigido 36 tesis doctorales e impartido docencia de posgrado en universidades europeas y latino americanas. Sus áreas de investigación incluyen síntesis asimétrica, metodología y síntesis total de productos naturales bioactivos, fundamentalmente de origen marino. Es coautor de unas 200 publicaciones, 3 patentes y varios capítulos de libros. En los periodos 1995-99, 2001-10 y desde 2019 ha sido el director del Instituto Universitario de Bio-Orgánica Antonio González. En 2016 fue galardonado con la Medalla Félix Serratosa por el Grupo Especializado de Química Orgánica de la Real Sociedad Española de Química.  [0000-0003-0300-9636](https://orcid.org/0000-0003-0300-9636)

PREMIOS A LA EXCELENCIA INVESTIGADORA



Dra. Ana Carmen Albéniz Jiménez



Dr. Igor Larrosa Guerrero

Ana C. Albéniz es catedrática de Química Inorgánica de la Universidad de Valladolid. Originaria de Calahorra (La Rioja) es licenciada en Química por la Universidad de Zaragoza y realizó su tesis doctoral bajo la dirección del Prof. Pablo Espinet en la Universidad de Valladolid donde se doctoró en 1989. Trabajó durante dos años como becaria postdoctoral Fulbright en el grupo del Prof. Robert Crabtree en la Universidad de Yale. Tras esta estancia, se reincorporó a la Universidad de Valladolid primero como profesora titular y, desde 2007, como catedrática de Química Inorgánica.

Actualmente su actividad investigadora se desarrolla en el Instituto Universitario CINQUIMA (Centro de Innovación en Química y Materiales Avanzados) de la Universidad de Valladolid. Sus líneas e intereses de investigación se centran en el desarrollo y estudio mecanístico de nuevas reacciones catalizadas por complejos metálicos. Asimismo, trabaja en la síntesis de polímeros novedosos y su empleo como soporte de reactivos y catalizadores reciclables para conseguir síntesis químicas más limpias y sostenibles.

Actualmente es presidente del Grupo Especializado de Química Organometálica de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ). Preside también el *Editorial Board* del *European Journal of Inorganic Chemistry* (Wiley-VCH) y es miembro del *International Advisory Board* de *Organometallics* (ACS). Asimismo, se ha hecho cargo de tareas de gestión y evaluación de la investigación destacando el cargo de Coordinadora de Química de la ANEP (2012-2015). Ha sido distinguida como Chemistry Europe Fellow (2020).

 [0000-0002-4134-1333](https://orcid.org/0000-0002-4134-1333)

Igor nació en Barcelona, donde también realizó sus estudios universitarios. En 1999 recibió la licenciatura de química de la Universitat de Barcelona y un Máster en química orgánica (2000). En la misma universidad, llevo a cabo un doctorado en química orgánica bajo la dirección de Felix Urpi y Pere Romea (2004), incluyendo una estancia en los laboratorios del profesor Erick M. Carreira en la ETH Zúrich, Suiza. A continuación, realizo una estancia posdoctoral en el grupo del profesor Anthony G.M. Barrett en el Imperial College London, Reino Unido, donde trabajo en síntesis total, completando la síntesis de la Clavilactona B. En el 2007, inició su carrera independiente como profesor de química orgánica sintética ("Lecturer") en Queen Mary University of London, donde fue ascendido a "Reader" en catálisis en 2012. En 2014, Igor se trasladó a la Universidad de Mánchester para ocupar el cargo de profesor catedrático de química orgánica. Igor recibió una ERC Starting Grant en 2011 y actualmente está financiado por una ERC Advanced Grant. Igor fue finalista de química del Premio Blavatnik UK para Jóvenes Científicos (2019) y recibió el UK Corday-Morgan Prize (2019). Los intereses de investigación de Igor se centran en la catálisis con metales de transición y sus aplicaciones a la química orgánica sintética, con un interés particular en la activación de enlaces C-H y decarboxilativa. El grupo dedica gran atención a la comprensión mecanística de los procesos de catálisis y utilizándola para desarrollar nuevos catalizadores o sistemas catalíticos con mayor reactividad y selectividad.  [0000-0002-5391-7424](https://orcid.org/0000-0002-5391-7424)



Dra. María Soledad Martín González



Dr. Diego Peña Gil

Marisol Martín González, profesora de investigación en el Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN) del CSIC, es Académica Correspondiente de la Sección de Física y Química de la Real Academia de Ciencias (RAC). Licenciada por la UAM especialidad en Química-Física, se doctoró con Premio Extraordinario por la UCM con una tesis en materiales superconductores. Tras una estancia de casi tres años en la Universidad de California en Berkeley (EE. UU.), donde trabajó en nanoestructuración de materiales para la mejora de la eficiencia energética, regresó a España y en la actualidad trabaja en IMN del CSIC. La Prof.^a Martín González es coordinadora científica del Área Materia del CSIC y cofundadora de la empresa AD+Particles (<http://www.ad-particles.com/es/>), spin-off del CSIC. Actualmente, lidera el grupo de investigación interdisciplinar FINDER (<https://finder.imn-cnm.csic.es/>), que fundó en 2010 tras la obtención de su primera ERC Grant. Su investigación está centrada en realizar dispositivos que permitan una recolección y gestión del calor más eficiente para producir energía limpia. Fruto del trabajo pionero de su primera ERC, consiguió en 2015 un ERC Proof of Concept, para estudiar la comercialización y aplicabilidad del nuevo desarrollo que obtuvieron en la ERC: las matrices de alúmina tridimensionales. Estas matrices al rellenarse de polímeros, metales o semiconductores generan redes tridimensionales de nanohilos (metamateriales) con novedosas propiedades ópticas, magnéticas, energéticas e incluso en biología que se puede diseñar *ad hoc*. Más recientemente ha obtenido una ERC Advanced Grant para aprovechar el calor que desprendemos los humanos y convertirlo en energía eléctrica que permita alimentar dispositivos que llevamos puestos (POWERbyU). Es fundadora y pertenece al comité directivo de la European Thermolectric Society. Además, ha sido subdirectora del Instituto de Micro y Nanotecnología del CSIC y directora del Departamento de Sensores y Biosensores.  [0000-0002-5687-3674](https://orcid.org/0000-0002-5687-3674)

Diego Peña Gil (Santiago de Compostela, 1974) cursó sus estudios de Licenciatura en Química en la Universidad de Santiago de Compostela (1998). En la misma universidad realizó su tesis doctoral, bajo la dirección de los profesores Enrique Guitián y Dolores Pérez, en el campo de las reacciones de cicloaddición de arinos catalizadas por complejos de metales de transición (2001, Premio Extraordinario). Realizó estancias predoctorales en los grupos de los profesores Eric N Jacobsen (1999, Harvard University), Paul Knochel (2000, LMU, Munich) y Antonio M. Echavarren (2001, UAM, Madrid). Durante los años 2002 y 2003 disfrutó de una estancia postdoctoral en el grupo de Ben L. Feringa (Marie Curie Fellowship, Groningen University, Holanda) trabajando en catálisis asimétrica, y realizando estancias breves en el grupo de Hans de Vries de la empresa DSM (Geleen, Holanda).

En el año 2004 se reincorporó a la Universidad de Santiago de Compostela (USC) como investigador Ramón y Cajal. En el año 2008 obtuvo una plaza de profesor titular en la USC y en 2010 se incorporó al Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS) como investigador principal. En el año 2016 fue profesor visitante en el marco del programa Salvador de Madariaga en el Trinity College Dublin y en 2018 fue reconocido con la medalla Ignacio Ribas del grupo especializado de Química Orgánica de la RSEQ. En el año 2020 fue promocionando a catedrático de Química Orgánica en la USC y el Consejo Europeo de Investigación le concedió una ayuda ERC Synergy Grant asociada al proyecto MolDAM (*Single Molecular Devices by Atomic Manipulation*), que actualmente desarrolla en colaboración con Leo Gross (IBM Research Zurich) y Jascha Repp (Regensburg University).

Sus principales líneas de investigación tratan el desarrollo de nuevas metodologías sintéticas, la química sobre superficie, el diseño y síntesis de compuestos policíclicos aromáticos y su estudio como materiales moleculares, y la preparación de grafenos nanométricos. Ha publicado unos 130 artículos científicos, incluidas cuatro publicaciones en la revista *Science*, y tiene un índice h de 41.  [0000-0003-3814-589X](https://orcid.org/0000-0003-3814-589X)

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR – MODALIDAD “Lider de Grupo”



Dra. Eva Blasco Pomar

Eva Blasco completó sus estudios de doctorado en la Universidad de Zaragoza bajo la supervisión de los doctores Luis Oriol y Milagros Pinol. Posteriormente, en 2014, obtuvo una beca de investigación postdoctoral Alexander von Humboldt para trabajar en los grupos de los profesores C. Barner-Kowollik (Química de Polímeros) y M. Wegener (Física Aplicada) en el Instituto de Tecnología de Karlsruhe (KIT) en Alemania. Posteriormente, continuó como líder de grupo en la misma institución. En octubre de 2020, fue nombrada „junior professor“ (con tenure-track) en la Universidad de Heidelberg (Alemania) y desde enero de 2023 ha sido promovida a profesora titular en el recientemente fundado Instituto de Ingeniería de Sistemas Moleculares y Materiales Avanzados. Sus intereses incluyen el desarrollo de nuevos materiales funcionales para la impresión 3D/4D. [id 0000-0002-0849-4223](https://orcid.org/0000-0002-0849-4223)



Dr. Josep Cornellà Costa.

Josep Cornellà (Pep) nació en La Bisbal del Penedès (Tarragona). Se licenció en Química en 2008 por la Universidad de Barcelona y realizó estudios de máster en el Departamento

de Química Orgánica estudiando la química de los reactivos de alilbora.

Tras completar su tesis de máster, se trasladó al Reino Unido para cursar estudios de doctorado en el grupo del Prof. Igor Larrosa (QMUL). A principios de 2012, obtuvo su doctorado trabajando en el uso de ácidos carboxílicos aromáticos como donantes de arilo en reacciones descarboxilativas catalizadas por metales. A continuación, se trasladó de nuevo a Cataluña, donde se unió al grupo del Prof. Rubén Martín (ICIQ) como becario postdoctoral Marie Curie. Allí desarrolló nuevas transformaciones que implican la activación de enlaces C-O catalizada por Ni y la inserción de dióxido de carbono en moléculas orgánicas.

En 2015, Pep obtuvo una beca Beatriu de Pinós para realizar más estudios posdoctorales en el grupo del profesor Phil S. Baran en The Scripps Research Institute, California, Estados Unidos. Durante este tiempo en Scripps, trabajó en el descubrimiento y la implementación de nuevas transformaciones basadas en el concepto de “ésteres redox-activos” como socios prácticos y fácilmente disponibles para reacciones de formación de enlaces C-C catalizadas por Ni- y Fe.

En 2017, fue nombrado jefe de Grupo Max Planck en el Departamento de Química Organometálica del Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Mülheim an der Ruhr, Alemania). En verano del mismo año, obtuvo un puesto de Líder de Grupo de Investigación Max Planck (MPRGL) en el mismo instituto, para crear y dirigir el Laboratorio de Catálisis Sostenible. [id 0000-0003-4152-7098](https://orcid.org/0000-0003-4152-7098)



Dr. Abraham Mendoza Valderrey

Abraham Mendoza (Gijón, Asturias) realizó sus estudios universitarios de Química en la Universidad de Oviedo (2000-2004). Durante sus estudios, se incorporó al grupo de investigación de los Profs. Barluenga, Fañanás y Rodríguez (2003-2010). Tras una formación inicial (MSc) sobre los complejos organometálicos de la química metal-carbeno, se

doctoró estudiando nuevos modos de activación catalítica de alquinos, culminando con la síntesis total del Ácido (-)-Berkelico.

Al terminar su doctorado, obtuvo una beca Fulbright (2010-2012) para unirse al Prof. Baran en The Scripps Research Institute (La Jolla, CA, EE. UU.) e inició la síntesis total de productos naturales anticancerígenos taxanos utilizando lógicas de funcionalización C-H y también desarrolló métodos de deshidrogenación radical para tal fin. A continuación, se trasladó de nuevo a Europa como becario Marie Curie (2012-2014) en la Universidad de Cambridge (Reino Unido), trabajando bajo la supervisión del profesor Matthew Gaunt en química bioortogonal y catálisis de inserción de C-H.

En 2013, Abraham inició su carrera independiente con el apoyo del Consejo Sueco de Investigación en la Universidad de Estocolmo. En 2017, se convirtió en el primer químico orgánico sintético de Suecia en obtener la titularidad con el apoyo de la Fundación Knut y Alice Wallenberg (Suecia) y una Starting Grant del ERC. Se convirtió en profesor asociado en 2021 y fue seleccionado entre los mejores becarios Wallenberg para obtener la extensión de su financiación. En 2022 se trasladó al ICMol (España) para dirigir el área de Química Orgánica Sostenible como Investigador Principal Distinguido de la Generalitat Valenciana. [id 0000-0001-9199-6736](#)

Katherine lidera actualmente un grupo de investigación en el Instituto de Investigación Química de Cataluña (ICIQ) sobre materiales fotocatalíticos avanzados. La Dra. Villa tiene un perfil multidisciplinario adquirido al trabajar en 8 centros de investigación en Colombia, España, República Checa y Bélgica. Sus áreas de investigación abarcan desde la descon-



Dra. Katherine Villa Gómez

taminación del agua, la generación de hidrógeno, procesos de oxidación selectiva hasta micro/nanomotors impulsados por la luz. Ha recibido importantes reconocimientos (Premio a Joven Investigadora, líder de grupo, de la RSEQ, Científicas e Innovadoras del FECYT y *Mother of Science* del BIST), así como financiación competitiva nacional (Ramón y Cajal, La Caixa Junior Leader) e internacional, incluyendo una Beca *ERC Starting Grant* 2022 para su proyecto (PhotoSwim). Sus áreas de interés incluyen la fotocatalisis, nanomateriales, energía renovable, micro/nanomotors artificiales y la remediación ambiental. [id 0000-0003-1917-0299](#)

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR – MODALIDAD “Investigador Postdoctoral”



Dr. Jesús Barrio Hermida

Jesús Barrio Hermida recibió su Grado en Química por la Universidad Autónoma de Madrid en 2014. Obtuvo el máster en Nanociencia y Nanotecnología Molecular en

2016, trabajo desarrollado en los grupos de la Dra. Beatriz Hernández Juárez y el Prof. Félix Zamora Abanades en el instituto IMDEA Nanociencia, haciendo una estancia Erasmus en el Max Planck Institute for Colloids and Interfaces en Potsdam (Alemania). Su tesis doctoral la llevó a cabo en la universidad de Ben Gurion del Negev en Beerseba (Israel) en el grupo del Prof. Menny Shalom, allí su investigación se centraba en el desarrollo de foto-electrocatalizadores basados en semiconductores de carbono y nitrógeno para la producción de hidrógeno. Durante esa etapa, el Dr. Barrio Hermida recibió el premio extraordinario para estudiantes de doctorado de la Sociedad Israelí de la Química (2018) y el premio extraordinario del Rectorado de la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad de Ben Gurion del Negev (2019).

En junio de 2020, se trasladó como investigador postdoctoral al Departamento de Materiales del Imperial College London (Reino Unido) en los grupos del Dr. Ifan Stephens y la Prof. Magdalena Titirici donde inició una línea de investigación basada en el concepto de “single atom

electrocatalysts" derivados de hierro nitrógeno y carbono para la conversión de dióxido de carbono en productos de alto valor añadido. Además, ha tomado parte en diferentes eventos divulgativos. En 2023, obtuvo un proyecto como IP en el Departamento de Ingeniería Química del Imperial College para desarrollar su grupo de investigación independiente centrado en el diseño de catalizadores sostenibles y la electrólisis de dióxido de carbono. Actualmente, el Dr. Barrio Hermida es coautor en 50 artículos científicos publicados en revistas de alto impacto que han recibido más de 1500 citas.  [0000-0002-4147-2667](https://orcid.org/0000-0002-4147-2667)



Dra. Carla Casadevall Serrano

La Dra. Casadevall (Palafrugell-Girona, 1991) actualmente es investigadora Ramón y Cajal y líder de grupo junior en la Universidad Rovira i Virgili (URV) y en el Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ) (Tarragona), donde trabaja en el desarrollo de microreactores poliméricos funcionalizados con catalizadores para la producción de combustibles y productos químicos solares mediante fotosíntesis artificial.

La Dra. Casadevall obtuvo su grado en Química (2013) y el máster (2014) en Catálisis Avanzada y Modelado Molecular en la Universidad de Girona, donde realizó el trabajo de carrera y máster bajo supervisión del Prof. Miquel Costas y del Prof. Julio Lloret-Fillol en el desarrollo de complejos moleculares de rutenio para la oxidación de agua y de enlaces C-H. Posteriormente, se trasladó al ICIQ para realizar su doctorado (2015-2019) en el grupo del Prof. Julio Lloret-Fillol trabajando en el desarrollo de complejos moleculares de hierro y rutenio para estudiar la reacción de oxidación de agua, y complejos de cobalto y catalizadores fotoredox de cobre para metodología orgánica fotocatalizada. Durante ese tiempo, realizó estancias internacionales de doctorado en KTH Royal Institute of Technology (Suecia), Arizona State University (USA), Universidad de Groningen (Países Bajos) y MPI-CEC (Alemania).

Después de obtener su doctorado, se unió a la Universidad de Cambridge (Reino Unido) como investigador

postdoctoral BBSRC y más tarde como becaria Marie Skłodowska-Curie IF (2020-2022), trabajando en sistemas biohíbridos para la fotosíntesis artificial. En octubre de 2022 regresó a España y comenzó su carrera independiente con una beca "La Caixa Junior Leader Incoming" (ICIQ) y como Profesora Asociada (URV). Ha publicado 28 artículos en revistas de alto impacto (Nature Chemistry, Chem, J. Am. Chem. Soc., Angw. Chem. Int. Ed.), incluyendo 2 capítulos de libro, y tiene 2 patentes, de las cuales una transferida y explotada en la industria; y ha dado más de 20 charlas en congresos nacionales e internacionales, de las cuales 7 como invitada. Ha participado en más de 10 proyectos nacionales e internacionales y actualmente es IP emprendedor del proyecto PHOTOSCALE e IP de RYC2021-030935-I. Su trayectoria científica es multidisciplinar con experiencia en síntesis orgánica/inorgánica, (foto)catálisis, ciencia de materiales y mecanismos de reacción (espectroscopía, electroquímica, DFT) con sistemas homogéneos y heterogéneos, enzimas y materiales híbridos. Su principal interés de investigación se centra en el desarrollo de microfotoreactores poliméricos funcionalizados con catalizadores para la producción sostenible de combustibles y productos químicos en microcompartimentos e interfaces.  [0000-0002-3090-4938](https://orcid.org/0000-0002-3090-4938)



Dr. Luis Escobar González

Luis Escobar (Albacete, 1992) se graduó en Química por la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) en 2014, siendo reconocido con el Premio Extraordinario de Grado. Posteriormente, cursó el Máster de Síntesis, Catálisis y Diseño Molecular en la Universidad Rovira i Virgili (URV) y el Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ). En 2015, consiguió una beca de Formación de Profesorado Universitario (FPU) para realizar su tesis doctoral en el área de Química Supramolecular bajo la dirección del Prof. Pablo Ballester en el ICIQ. Durante su doctorado, también realizó una estancia de investigación en el grupo del Prof. Jonathan L. Sessler en la Universidad de Texas (UT) en Austin (Estados Unidos). En 2019, defendió su tesis doctoral obteniendo la calificación de sobresaliente *cum laude* con mención internacional y el Premio Extraordinario de doctorado en Ciencia y Tecnología Química. Después, trabajó como investigador postdoctoral

durante casi tres años en las áreas de Química Prebiótica y Química Biológica con el Prof. Thomas Carell en la Universidad Ludwig Maximilian (LMU) de Múnich (Alemania), gracias a una beca de la Fundación Alexander von Humboldt. En 2023, se trasladó a la Universidad de Cambridge (Reino Unido) para realizar una segunda estancia postdoctoral en el grupo del Prof. Christopher A. Hunter. Su investigación actual se encuentra dentro de las áreas de Química Supramolecular y Química de Polímeros. Es coautor de 18 publicaciones científicas en revistas de reconocido prestigio internacional, como *Nature*, *PNAS* y *Chemical Reviews*, entre otras, y es miembro del panel de revisores de la revista *RSC Advances*.

 [0000-0003-0392-8245](https://orcid.org/0000-0003-0392-8245)



Dr. Pablo Garrido Barros

Pablo Garrido Barros nació en Granada, ciudad en la que estudió Ingeniería Química. Durante esta primera etapa, Pablo inició su formación investigadora gracias a

varias becas de iniciación a la investigación trabajando en la Universidad de Granada, el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Instituto Catalán de Investigaciones Químicas (ICIQ) en el ámbito de la química sostenible. Tras graduarse en 2013 recibiendo el Premio extraordinario fin de carrera, Pablo decidió regresar al ICIQ-Universidad Rovira i Virgili (URV) para llevar a cabo estudios de Máster y Doctorado bajo la supervisión del Profesor Antoni Llobet, financiado por una beca de doctorado de la Fundación La Caixa. Su trabajo se centró en el desarrollo de catalizadores moleculares para los procesos redox involucrados en la "fotosíntesis artificial" como estrategia hacia el aprovechamiento y almacenamiento de energía solar. Pablo obtuvo su título de doctor en Ciencias y Tecnologías Químicas en 2018 (Cum Laude) y fue galardonado con el Premio extraordinario de doctorado. Continuando su interés por la química de la coordinación y su aplicación en catálisis, en 2019 Pablo se trasladó al Instituto Tecnológico de California (Caltech, USA) para llevar a cabo una estancia postdoctoral en el grupo del Profesor Jonas C. Peters financiada por una beca de la Fundación Ramón Areces. Su investigación abordó el estudio de los procesos de transferencia acoplada de protones y electrones (PCET por sus siglas en inglés) y su aplicación en la conversión electrocatalítica de nitrógeno molecular, amoníaco y substratos orgánicos insaturados. En 2022, Pablo retornó a la Universidad de Granada, uniéndose al grupo del Profesor Jorge A. R. Navarro, para desarrollar su proyecto sobre la generación de electrocatalizadores basados en materiales metalorgánicos, financiado por el programa *Marie Skłodowska-Curie* (MSCA-IF). Desde enero de 2023, Pablo continúa su trabajo en la misma institución como investigador Ramón y Cajal y su línea de investigación se centra en el estudio y desarrollo de catalizadores para la transformación de energía solar y recursos renovables en combustibles y productos químicos de valor añadido.  [0000-0002-1489-3386](https://orcid.org/0000-0002-1489-3386)

PREMIO A LA TAREA EDUCATIVA



Dra. Almudena de la Fuente Fernández Almudena de la Fuente (Madrid, 1969) se licenció en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Madrid en 1991, donde también cursó el Programa de Formación Inicial de Profesores de Enseñanza Secundaria (1992). Posteriormente, amplió su formación didáctica especializándose en las aplicaciones educativas de las TIC (Universidad de Alicante, 2010), continuando con un Máster en Investigación e Innovación educativa (UNED, 2015) y, finalmente, con un doctorado en Educación en el área de Didáctica de las Ciencias Experimentales (UAM, 2021).

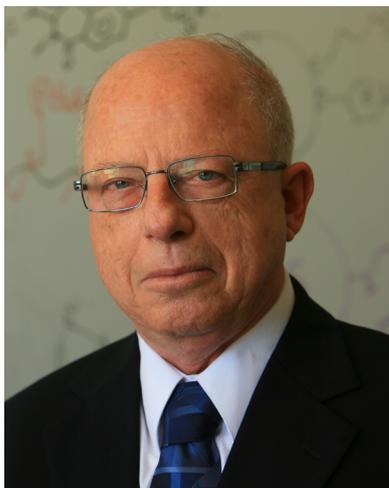
En cuanto a su trayectoria profesional, desde 1992, ha ejercido la docencia como profesora de Física y Química

en Educación Secundaria, fundamentalmente en el colegio Nuestra Señora de los Ángeles de Madrid, involucrándose en numerosos proyectos con su alumnado (Ferias de la Ciencia interniveles, Rincón de las Ciencias, preparación de estudiantes seleccionados para Olimpiadas Nacionales de Física y Química, elaboración de vídeos didácticos, etc.); además, es autora de materiales educativos de Física y Química para bachillerato disponibles en línea. Por otro lado, desde 2019, forma parte del departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Sociales y Matemáticas de la Facultad de Educación y Formación del Profesorado de la Universidad Complutense de Madrid; su principal actividad como profesora asociada es la docencia en Fundamentos y Didáctica de la Física en el grado de Maestro de Educación Primaria.

Dentro de su labor investigadora y divulgativa, su principal línea de investigación gira en torno a la evaluación educativa en Química en relación con las pruebas de acceso a la universidad, habiendo realizado el primer estudio a nivel nacional sobre estas pruebas. Ha publicado diversos artículos relacionados con la Didáctica de la Física y la Química en revistas nacionales e internacionales y ha sido ponente en numerosos congresos, entre ellos en los simposios de *Didáctica, Historia y Divulgación de la Química* de las Bienales celebradas en 2017, 2019 y 2022, interviniendo en esta última como conferenciante invitada. Por otro lado, es secretaria del Grupo especializado en Didáctica e Historia de la RSEF y la RSEQ, a través del cual colabora en numerosas actividades relacionadas con la enseñanza de la Física y la Química.  [0000-0003-0170-3886](https://orcid.org/0000-0003-0170-3886)

Premios internacionales

Dr. Itamar Willner, Premio Moles-Weizmann (Israel)



Dr. Itamar Willner

El profesor Itamar Willner es catedrático de la Universidad Hebrea de Jerusalén (Israel). Sus intereses de investigación incluyen la bionanociencia, la nanotecnología del ADN, los sistemas biomiméticos, la catálisis, la biocatálisis, la fotocatalisis, los materiales que responden a estímulos, los sistemas de administración de fármacos, la conversión de energía mediante sistemas fotosintéticos artificiales y las células de biocombustible. Ha recibido numerosos galardones, entre ellos el Premio Max-Planck de Investigación para la Cooperación Internacional, el Premio de la Sociedad Química de Israel, el Premio Israel de Química, el Premio Rothschild, el Premio EMET y la Medalla de Oro de la Sociedad Química de Israel. Es coautor de más de 850 artículos de investigación, y fue incluido por Thompson Reuters/Clarivate como Investigador Altamente Citado y entre las Mentes Científicas Más Influyentes del Mundo (2014-2020). Tiene más de 80.000 citas (Web of Science) y un índice h de 149 (Web of Science) y 164 (Google Scholar). Es miembro de la Academia Israelí de Ciencias y Humanidades, y de la Academia Nacional Alemana de Ciencias - Leopoldina. Es miembro de la Academia Europea de Ciencias y Artes y miembro extranjero de la Academia China de Ciencias. Es o ha sido miembro de más de 30 consejos editoriales o consejos asesores editoriales de revistas, entre ellas *Angew. Chem*; *J. Am. Chem. Nano Lett*, *ACS Nano*, *Materials Today Chemistry*, *ChemPhysChem*, *Langmuir*, *Small*, *ChemBioChem* y *ChemElectroChem*, entre otras.  [0000-0001-9170-9077](https://orcid.org/0000-0001-9170-9077)

Artur Silva, Premio Madinaveitia-Lourenço (Portugal)



Prof. Artur Silva

Artur M. S. Silva es licenciado en Química-Física (para la Enseñanza), doctor en Química Orgánica, habilitado en Química y profesor titular de Química en el Departamento de Química de la Universidad de Aveiro. Fue profesor invitado en la Universidad de Metz, Universidad de Paul Verlaine y Universidad de Le Havre, todas de Francia.

Artur M. S. Silva fue presidente del Departamento de Química y Presidente del Consejo de la Escuela de Doctorado y actualmente es presidente del Consejo Científico y Vicerrector de Investigación, Innovación, Escuela de Doctorado y Acreditación de Programas de Estudio de la Universidad de Aveiro. Fue Director de varios Programas de Estudios (BSc, MSc y PhD) y sigue siendo subdirector del Programa de Doctorado en Química Sostenible (un Programa de doctorado conjunto con las Universidades de Oporto y Nueva Universidad de Lisboa).

Artur M. S. Silva fue presidente de la Sociedad Portuguesa de Química hasta febrero 2023 y ha sido vicepresidente y presidente del Consejo Supervisor de la SPQ, presidente y vicepresidente de la División de Química Orgánica de la SPQ, y miembro del comité directivo de la División de Química Terapéutica. Es el representante portugués en la División de Química Orgánica de EuChemMS y miembro electo de la Junta Ejecutiva de EuChemS desde 2017.

Artur M. S. Silva fue director del centro de investigación QOPNA (Química Orgánica, Productos Naturales y Alimentos) y actualmente es vicedirector del Laboratorio Asociado de Química Verde (LAQV, un centro de investigación con cerca de 900 investigadores, en el que participan principalmente la Universidad de Oporto, la Universidad Nueva de Lisboa y la Universidad de Aveiro). Fue, durante varios años, miembro del panel de evaluación de becas individuales de

la FCT y presidente del mismo panel durante dos años (2019 y 2020). También fue presidente de varias reuniones científicas nacionales e internacionales, siendo el organizador del Congreso Europeo de Química (EuChemS), celebrado en Lisboa en 2022.

Artur M. S. Silva ha publicado más de 800 artículos SCI, 1 libro electrónico, 53 capítulos de libros, ha impartido más de 60 conferencias en reuniones científicas y es coautor de 4 patentes. Sus publicaciones han sido citadas más de 19500 veces y su índice Hirsch es de 62. Ha supervisado a 19 becarios posdoctorales, 38 estudiantes de doctorado y 43 estudiantes de máster; también ha participado en 33 proyectos portugueses y europeos financiados y en 8 proyectos bilaterales financiados con grupos de investigación europeos. Como reflejo de este prolífico trabajo, Artur Silva participa activamente en numerosas conferencias nacionales e internacionales como ponente principal y plenario invitado.

Artur M. S. Silva es miembro de la Academia Europea de Ciencias y de la Chemistry Europe desde 2017, fue elegido

miembro Correspondiente de la Academia das Ciências de Lisboa y miembro de la Real Academia de Ciencias de España, y ha sido galardonado con otras distinciones y premios.

Los intereses de investigación de Artur Silva abarcan la química de compuestos heterocíclicos polifenólicos y nitrogenados, con especial énfasis en el desarrollo de nuevas rutas sintéticas sostenibles, y también en las transformaciones organocatalíticas y catalizadas por metales. Destaca la aplicación del calentamiento óhmico, como proceso de calentamiento alternativo, a la síntesis química. La segunda pasión de su investigación se centra en el aislamiento y caracterización estructural de productos naturales de diversas fuentes terrestres y marinas. Pero todas estas actividades científicas se apoyan en sus conocimientos en RMN. El tercer eje de su investigación se centra en la síntesis de compuestos heterocíclicos oxigenados y nitrogenados biológicamente activos, así como en la evaluación de su actividad antioxidante, antiinflamatoria, antitumoral y antimicrobiana en colaboraciones con otros grupos de investigación portugueses e internacionales.

 [0000-0003-2861-8286](https://orcid.org/0000-0003-2861-8286)

Noticias Grupos especializados

Concesión de los Premios GEQOR 2023

Medalla Félix Serratosa: Dr. Pedro Merino (Universidad de Zaragoza)



Pedro Merino se doctoró en Química por la Universidad de Zaragoza en 1989 bajo la supervisión del Prof. E. Meléndez. Tras una estancia postdoctoral en la Universidad de Ferrara, bajo la supervisión del Prof. A. Dondoni (1989-1991), regresó a la Universidad de Zaragoza donde obtuvo las plazas de profesor titular (1992) y catedrático (2006). Es autor de alrededor de 300 publicaciones científicas, ha sido presidente del panel de Química en las acciones MSCA-ITN (2010-2015) y desde 2023 es miembro del comité asesor internacional de la revista *European Journal of Organic Chemistry*. Durante su dilatada carrera, ha desarrollado una actividad científica intensa en diversas áreas de la Química Orgánica que incluyen la síntesis asimétrica, la química biológica, la glicobiología, la química computacional y la catálisis asimétrica. [id 0000-0002-2202-3460](#)

Medalla Ignacio Ribas: Dr. Manuel Alcarazo (Universidad de Göttingen)



Manuel Alcarazo se doctoró por la Universidad de Sevilla en 2005 bajo la supervisión de los Profs. J. M. Lassaletta y R. Fernández. Tras una estancia postdoctoral en el Max-

Planck-Institut für Kohlenforschung en Mülheim/Ruhr, bajo la supervisión del Prof. A. Fürstner (2005-2008), inició su carrera independiente como Junior Group Leader en 2009, en la misma institución. En 2015 se estableció como catedrático en la Universidad de Göttingen, donde es director del Instituto de Química Orgánica y Biomolecular desde 2017. Ha recibido dos proyectos ERC (Starting and Consolidator Grants) en 2011 y 2017, respectivamente. Es autor de alrededor de 100 artículos científicos y ha sido galardonado con varios premios de la Sociedad Alemana de Química (ADUC), las Academias de Ciencias de Göttingen y Renania y la Fundación de la Industria Química Alemana. Su actividad científica se centra en el desarrollo de metodologías sintéticas y procesos enantioselectivos mediante el diseño de nuevos ligandos, reactivos y catalizadores como herramientas útiles en la preparación de moléculas biológicamente activas e hidrocarburos policíclicos aromáticos. [id 0000-0002-5491-5682](#)

Medalla José Barluenga: Dr. Félix Freire (Universidad de Santiago de Compostela)



Félix Freire se doctoró en Química por la Universidad de Santiago de Compostela en 2005 bajo la supervisión de los Profs. R. Riguera y E. Quiñoá. Realizó dos estancias postdoctorales, en el Instituto de Química Orgánica-Lora Tamayo (CSIC), bajo la supervisión de los Profs. J. Jiménez Barbero y J. L. Asensio, y en la Universidad de Wisconsin-Madison en el grupo del Prof. Samuel H. Gellman. En 2009 se incorporó a la Universidad de Santiago de Compostela como Investigador Juan de la Cierva y en 2010, con la obtención de un contrato Ramón y Cajal, inició su carrera independiente en el Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS) donde es profesor titular desde 2022. Es autor de alrededor de 70 artículos científicos y su trabajo fue reconocido con el premio SusChem en 2012. Su actividad científica se centra en el campo de los polímeros helicoidales, con importantes contribuciones en la elucidación de su estructura y el estudio de sus propiedades dinámicas. [id 0000-0002-2672-5830](#)

Mario González Jiménez, Premio Salvador Senent 2023

El 21 de abril de 2023, el jurado que valoró las candidaturas presentadas otorgó el Premio "Salvador Senent" al mejor trabajo científico especializado, de revisión o de carácter divulgativo, relacionado con la didáctica o con la historia de la física o de la química, al Dr. Mario González Jiménez, por su trabajo "Elmer Imes, historia negra de los Estados Unidos y la espectroscopía", publicado en la revista *Anales de Química*, Vol. 119 (1), pp. 25-31 (2023), y accesible en <https://bit.ly/3mWh3aS>.

El premio Salvador Senent (<https://bit.ly/3Amzf0s>), que ha constituido su 9ª edición, se convoca con carácter bienal, por el Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química (GEDH), común a las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF) y de Química (RSEQ), para resaltar los trabajos sobre estas áreas y fomentar el interés para publicar en la *Revista Española de Física* y en *Anales de Química*. Se estableció en honor al Prof. Salvador Senent, fundador (en 1986) y primer presidente del GEDH. Tiene una dotación de 1.000 € y un diploma acreditativo.

Aparte de la felicitación al premiado se anuncia que, en unos meses, se procederá a convocar la 10ª edición de este premio, ya ampliamente consolidado en las áreas de didáctica e historia de la física y de la química.

El Dr. González Jiménez estudió Química en la Universidad de Salamanca (2002-2007) y pasó un curso en la Universidad Técnica de Dresde (Alemania) con una beca Erasmus. Realizó su tesina en la Universidad Humboldt (Berlín), bajo la dirección del Prof. Niko Ernsting. Regresó a Salamanca para hacer su tesis doctoral con los Profs Julio Casado y Emilio Calle, en el grupo de Cinética Química de la Facultad de Química. Durante el doctorado, realizó una estancia con el Prof. José Rueff de la Universidad Nova (Lisboa). Desde 2013 es investigador asociado en la School of Biodiversity, One Health & Veterinary Medicine (Universidad de Glasgow) en el grupo del Prof. Klaas Wynne.

Su investigación se centra en la aplicación de técnicas de espectroscopía vibracional (IR, Raman y Efecto Kerr Óptico) al estudio de diferentes problemas, como física de la nucleación y cristalización, dinámica del ADN y de proteínas,



Mario González Jiménez

diseño de nuevos materiales y materiales ópticos, y desarrollo de herramientas para la lucha contra la malaria, el dengue y la oncocerosis.

Colabora, desde su fundación, con la Sociedad de Científicos Españoles en el Reino Unido, de la que fue director en Escocia (2017-2020). Dedicar parte de su tiempo libre a la participación en festivales de ciencia para niños por toda Escocia, así como a investigar y a escribir sobre historia de la ciencia, principalmente en la revista *Principia* (<https://principia.io/>).

El artículo premiado trata sobre Elmer Imes (1883-1941), la primera persona que caracterizó el espectro infrarrojo del cloruro de hidrógeno. Sus resultados pusieron fin al debate de la cuantización de los movimientos moleculares. A pesar del reconocimiento que logró por ello, su carrera científica fue alterada por las barreras que sufrían los ciudadanos afroamericanos en los Estados Unidos de la era Jim Crow. Se explora la biografía de Imes y la influencia de su trabajo, mostrando cómo ambos son un reflejo de la vida de aquellos que sufrían la segregación y el racismo a diario.

Noticias Socios

Entrega de Premios Nacionales de Investigación 2023

Los Reyes de España S.M. el Rey Felipe VI y la Reina Letizia acompañados de la ministra de Ciencia, Diana Morant, el presidente de la Generalitat Valenciana, Ximo Puig, y el alcalde de Alicante, Luis Barcala hicieron entrega de Premios Nacionales de Investigación. Estos galardones son el reconocimiento más importante en España en el ámbito de la investigación científica. El acto tuvo lugar en Casa Mediterráneo (Alicante) el pasado 1 de marzo.

Este año dos de nuestros compañeros han sido galardonados dentro del área de Ciencias y Tecnologías Químicas.

El Prof. Antonio M. Echavarren, presidente de la RSEQ, ha recibido el Premio Nacional de Investigación Enrique Moles en reconocimiento de la calidad y originalidad de sus contribuciones a la química orgánica sintética, con un gran impacto en el campo de la catálisis. El Prof. Echavarren es director científico del programa Severo Ochoa del Institut Català d'Investigació Química, profesor de investigación del CSIC y a lo largo de su carrera ha recibido un gran número de reconocimientos y distinciones destacando, entre otros, el Premio Janssen-Cytag en Química Orgánica, la Medalla de Oro de la RSEQ y el premio Arthur C. Cope Scholar Award de la ACS, asimismo, ha recibido dos ERC Advanced Grants

Este es el primer año en que se entrega el Premio Nacional de Investigación en categoría joven. El Dr. Guillermo Mínguez, secretario del Grupo Especializado de Nanociencia y Materiales Moleculares (RSEQ-RSEF) y vocal del Grupo Especializado de Cristalografía y Crecimiento Cristalino (RSEQ-



RSEF), ha recibido el Premio Nacional de Investigación para Jóvenes María Teresa Toral, por la originalidad, potencial e impacto de sus aportaciones a la síntesis de compuestos con propiedades físicas y funcionalidades novedosas. Guillermo es profesor titular de la Universitat de València y director del grupo de investigación Crystal Engineering Lab (CEL) en el ICMol. La carrera de Guillermo ya acumula distintos reconocimientos de prestigio, como el premio Fundación Princesa de Girona en Investigación Científica; el premio a Jóvenes Investigadores de la RSEQ; el Dalton Young Research Award de la RSC, la Medalla de Oro del European Young Chemist Award y el Premio Xavier Solans del GE3C, entre otros.

Oscar Millet recibe el premio Hermanos Elhuyar-Golschmidt

El pasado día 2 de Mayo, Óscar Millet (IP del "Precision Medicine and Metabolism Lab" en el CIC bioGUNE) recibió de manos del Prof. Chris Meier, representante de la GDCh, el certificado acreditativo del premio Hispano-Alemán Hermanos Elhuyar-Golschmidt que la Sociedad Alemana de Química (GDCh) le concedió a finales de 2022

Oscar impartió conferencias en diversas universidades alemanas: la Universidad de Hamburgo, la Universidad de Göttingen y Universidad de Mainz.



El Prof. Chris Meier (izq) entrega del certificado acreditativo al Dr. Óscar Millet

Abraham Mendoza Valderrey, Joven Investigador 2023 Lilly-RSEQ

El Premio “Joven Investigador 2023” que cada año entregan Lilly y la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) le ha sido concedido a Abraham Mendoza Valderrey, IP del Grupo de Química Orgánica Sostenible del Instituto de Ciencia Molecular (ICMol) de la Universidad de Valencia. Este premio distingue la excelencia en la calidad científica y en la trayectoria profesional de jóvenes promesas españolas menores de 40 años. Ambos aspectos están reflejados sobradamente en el premiado.

La investigación premiada se focaliza en mejorar la sostenibilidad de la síntesis orgánica y en limitar el impacto en nuestro entorno mediante la reducción del número de reacciones químicas que requiere obtener moléculas complejas. Uno de sus éxitos más notables ha sido el desarrollo de un nuevo reactivo, llamado NHPI-DA, que es una fuente de carbono modular que permite utilizar secuencias sintéticas significativamente más cortas.

Tras licenciarse en Química por la Universidad de Oviedo, obtuvo el máster y el doctorado en Química Orgánica por el Instituto Universitario de Química Organometálica Enrique Moles. Estuvo durante dos años en The Scripps Research Institute (California) dedicado a la síntesis de productos antitumorales. La química orgánica y la catálisis le llevaron a seguir desarrollando su carrera en la Universidad de Cambridge y, en 2013,



Abraham Mendoza Valderrey

comenzó a dirigir su propio equipo de investigación en la Universidad de Estocolmo. Actualmente ha regresado al Instituto de Ciencia Molecular (ICMol) en la Universidad de Valencia.

“Con esta nueva tecnología no solo empleamos menos recursos naturales y reducimos los equipos humanos implicados, sino que también aceleramos el proceso de desarrollo de nuevos tratamientos médicos. Cabe destacar, además, que se ha trasferido inmediatamente al I+D del sector privado, un hecho relativamente poco frecuente”, Abraham Mendoza.

Este año, Abraham Mateo ha sido galardonado también con el premio Joven Investigador en la modalidad Líder de grupo.

Nazario Martín León, Académico de Número de la Academia de Ciencias Exactas

El Profesor Nazario Martín León, socio de la RSEQ y pasado presidente de nuestra sociedad en el periodo 2006-2012, es nuevo Académico de Número de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España (RAC). La lectura de su discurso de ingreso tuvo lugar en la sede de la RAC el pasado día 24 de mayo, y su discurso fue respondido por el Profesor Miguel A. Alario y Franco, quien resalto los méritos del nuevo miembro de la Academia.

El acto, que pudo ser seguido por el canal YouTube de la RAC, fue muy concurrido, y gozó de la asistencia de numerosos miembros de la profesión, además de los rectores de la Universidad Complutense, el Prof. Joaquín Goyache, el rector de la Universidad de Castilla La Mancha, el Prof. Julian Gade, a cuyo claustro pertenece el nuevo académico en calidad de Doctor honoris causa, y el rector de la Universidad Internacional Menéndez Pelayo, el Profesor Carlos Andradás, además de otras autoridades académicas. Igualmente, la directora general de la Comunidad de Madrid, la Profesora Ana M. Cremades y la Subdirectora General, D^a Bárbara Fernández, asistieron al acto, además de familiares y amigos.

Entre los muchos méritos del nuevo académico destacaremos los dos proyectos Advance Grant (2012-2018) y Synergy Grant (2021-2027) del European Research Council



De izquierda a derecha: el Prof. Carlos Andradás (rector de la UIMP), la Prof. Ana I. Cremades (directora general de Investigación e Innovación Tecnológica de la Comunidad de Madrid), el Prof. Nazario Martín (académico numerario), el Prof. Joaquín Goyache (rector de la UCM) y el Prof. Julián Gade (rector de la UCLM).

(ERC), y el Premio Nacional de Química “Enrique Moles” obtenido en 2020.

La Sección Territorial de Valencia de la RSEQ acoge la XXXVI Olimpiada Española de Química

La XXXVI Olimpiada Española de Química se celebró entre los días 21 y 23 de abril de 2023 en la ciudad de Valencia. El evento, organizado por la Sección Territorial de Valencia de la RSEQ, contó con la colaboración de la Universitat de València, la Universitat Politècnica de València, la Universitat Jaume I y la Delegación de la Comunidad Valenciana del CSIC.

En el acto inaugural, celebrado el viernes 21 en el Paraninfo de la Universitat Politècnica de València, la vicerrectora de Estudiantes y Emprendimiento de la UPV, María Esther Gómez, dio la bienvenida a los 121 participantes de esta edición y a sus profesores y familiares acompañantes. El acto contó con intervenciones de María Teresa Ibáñez, concejala de Educación del Ayuntamiento de València, Pilar Campins, presidenta del Comité Organizador Local, y Antonio M. Echavarren, presidente de la Real Sociedad Española de Química. Además, en el acto de bienvenida el presidente de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada dirigió a los presentes una charla sobre el futuro de la química.

Las pruebas tuvieron lugar el 22 de abril en el aulario de la Facultad de Farmacia de la Universitat de València en jornada de mañana y tarde. Entre las dos pruebas, los olímpicos pudieron disfrutar de un rato de convivencia durante la comida organizada al aire libre en la cafetería de la facultad. Al finalizar las pruebas, los 121 participantes tuvieron la oportunidad de descubrir la ciudad de València gracias a una visita guiada ofrecida por el Ayuntamiento de Valencia. Durante la jornada colaboraron en las diferentes actividades los monitores y profesores del Comité Organizador Local.

El día 23 de abril de 2023 se celebró en el Paraninfo de la Universitat de València el Acto de Entrega de Medallas y



Clausura de la XXXVI Olimpiada Española de Química. En este emocionante acto, al que acudieron los participantes olímpicos y sus profesores y familiares, se desvelaron los medallistas de esta edición y los ganadores de los Premios Nacionales que concede el Ministerio de Educación y Formación Profesional. El valenciano Sergio Garrido Bourkhaeva consiguió la Primera Medalla de Oro y Primer Premio Nacional.

El acto fue presidido por la Sra. Rectora Magnífica de la Universitat de València y contó con la presencia de representantes de la Real Sociedad Española de Química, el Ministerio de Educación y Formación Profesional, la Dirección General de Universidades de la Generalitat Valenciana, el Ayuntamiento de Valencia, la Conferencia de Decanos de Química y la Delegación de la Comunidad Valenciana



del CSIC. Los diplomas y medallas fueron entregados por la Presidenta del Comité Organizador Local, Pilar Campíns, la Asesora de Olimpiadas Científicas de la D. G. Planificación y Gestión Educativa del Ministerio de Educación y Formación Profesional, Sofía Martín, el Presidente de la Real Sociedad Española de Química, Antonio M. Echavarren y la Sra. Rectora de la Universitat de València, María Vicenta Mestre, con la colaboración del responsable de las Olimpiadas de Química de la RSEQ, Jesús María Arsuaga y la Presidenta de la Sección Territorial de Valencia de la RSEQ, Carmen Ramírez de Arellano. Con este solemne acto se clausuró la XXXVI Olimpiada Española de Química.

ANDREA OLMOS

Investigadora Ramón y Cajal de la Universitat de València
Vocal de la Sección Territorial de Valencia de la RSEQ



RADICALES (MUY) LIBRES



J. de Mendoza

Catedrático jubilado de Química Orgánica
(Universidad Autónoma de Madrid)
Profesor Emérito, Instituto Catalán
de Investigación Química
(ICIQ, Tarragona)
E-mail: jmendoza@iciq.es

Marketing y ciencia

He tenido dudas sobre el título de esta columna. En primer lugar, si escribir “Márquetin”, como recomienda la RAE, que además de castizo suena muy “spanglish”, o bien “Mercadotecnia”, más académico. Al final lo he dejado como todo el mundo lo nombra. Otra duda era entre escribir “y ciencia” y “o ciencia”, lo que sería casi un oxímoron, pues ambos términos parecen antagónicos, y de eso va precisamente la columna de hoy.

Es bien sabido que uno de los males de nuestro tiempo es la constante confusión entre datos y opiniones. El otro día alguien con estudios me comentó que la NASA había divulgado una noticia sobre OVNIS referente a la visita de extraterrestres a la tierra. Mi interlocutor llegó a afirmar que ya estaban entre nosotros. Lo justificó diciendo que lo habían dicho en el telediario (no en *Science* o en *Nature*), pero no respondió (más bien se enfadó) al preguntarle dónde estaban los datos, e incluso cómo se podrían obtener, si era cierto que los alienígenas estaban de incógnito. A menudo todo radica en el clásico de no dejar que una verdad te estropee un buen titular. En cuanto a la publicidad, tengo que decir de entrada que no estoy en contra, incluso cuando se basa en la exageración de las cualidades de lo que se quiere vender. Y funciona, a pesar de que los gastos publicitarios aumenten el coste, porque lo que se anuncia se vende mucho más. En Navidades se venden casi exclusivamente los juguetes que se anuncian en la tele. Si fabricas juguetes y no los anuncias, estás perdido. Los niños, al verlos en la pantalla, sólo dicen “quiero eso” y así lo escriben en su carta a los Reyes Magos. Ni ellos ni por supuesto sus padres admitirán una imitación o algo parecido de otra marca. Así pues, bienvenida sea la publicidad. Lo que no soporto es la mentira y la falta de rigor, sobre todo cuando se trata de promocionar un producto relacionado con nuestra salud o que choca con la realidad científica. Lo primero porque ya se sabe que la salud es lo primero, lo mismo que el alcalde es el alcalde, y el que los vecinos quieren que sea el alcalde. Y lo segundo porque no contribuye a acercar el conocimiento científico entre quienes no lo son y quienes lo son, aspecto sobre el que vengo insistiendo de forma recurrente en esta columna.

Empezaremos con el mundo de la cosmética, algo aparentemente inofensivo pero que genera beneficios multimillonarios. Todo cuanto se basa en el lujo y en la apariencia ejerce una atracción fatal, incluso entre los que menos tienen, comenzando con los reportajes y revistas sobre famoseo, que atraen como moscas a la miel a quienes saben con seguridad que jamás

serán como esos personajes. De perfumes, mejor no digamos nada, se resumen en pesados y sofisticados envases de vidrio con efecto lupa con unos pocos mililitros de líquido aromático en su interior, cuyos componentes cuestan una ínfima parte de lo que piden por ellos. Para poder aplicar esos márgenes gigantescos, gastan fortunas en publicidad, usando cada vez más nombres de marca alejados del gremio de los perfumistas tradicionales, como coches y relojes de lujo o de personajes del cine, que aparecen en pantalla mientras una voz siempre en francés (o en inglés) susurra sus seductores efectos milagrosos si te aproximas a los/las que así se aromatizan. Con gran esfuerzo (no soporto los cortes publicitarios), he dedicado una mañana a escudriñar la publicidad televisada sobre cosméticos, y he recogido algunas expresiones sorprendentes. NOTA: para asegurarme de que no estaba oyendo mal, he comprobado cada una de las frases que reproduzco con lo escrito en las respectivas páginas web de las empresas implicadas, que son muchas más de las señaladas, y que no son ni mejores ni peores que las demás, es el típico lenguaje que todas emplean sin excepción. Eso sí, los subrayados son de mi cosecha, dejo al lector interpretarlos y reflexionar libremente sobre los mismos:

- Eucerin, Hyaluron-filler+elasticity, rellena las arrugas, mejora la elasticidad, protege del sol todo el año, nueva fórmula FPS30 97% confirmado, piel más firme, n° 1 en farmacia
- Garnier Bio, aceite de noche con *Cannavis Sativa*, despierta con la piel más saludable
- Lancôme Rénergie, un poderoso extracto de origen natural ultra concentrado en gluco-péptidos, clínicamente probado
- Nivea Q10, loción corporal, para todas las mujeres que mueven el mundo (sic), con todo el poder de la coenzima Q10 y de la vitamina C, reafirma la piel en sólo 10 días
- Lancôme, contorno de ojos, Advance Génifix Yeux, la pionera ciencia del microbioma, ahora para ojos.
- Lactovit, la dosis diaria de protein calcium, piel fuerte, piel joven del gel lácteo,
- Lactovit, reparador gel de ducha, lacto-urea, re-fuerza (sic) cada día tu piel, n° 1 en urea
- Biotherm, el poder regenerador del life plankton TM nacido en el corazón del Pirineo francés, contiene 35 nutrientes
- Biotherm, Aquasource gel, con Aura Leaf medicinal, el poder reparador de 5000 litros de agua termal
- Danacol, reduce tu colesterol en tan sólo tres semanas

- Elisabeth Arden, cápsula Serum ceramide 3, que actúa desde el interior para iluminar el cutis apagado

También se anuncian cremas que contienen ácidos nucleicos, incapaces de penetrar bajo la piel, y para los que llegar al núcleo celular o al citoplasma sería una proeza inalcanzable incluso para los super-héroes de Marvel. En nutrición, algo parecido ocurre con las proteínas suministradas por vía oral. Obviamente, las proteínas son esenciales en nuestra dieta porque, según nos han dicho, donde haya un buen chuletón en su punto que se quite todo lo demás, y sobre todo por sus aminoácidos constituyentes, pero raramente sobreviven intactas a la hidrólisis en un estómago lleno de ácido clorhídrico, sin apenas tiempo de cruzar al torrente sanguíneo, y todas sin excepción se desnaturalizan antes de hidrolizarse, perdiendo las débiles fuerzas responsables de su plegamiento y estructura tridimensional, que determina su actividad, nada más entrar en contacto con los jugos gástricos. Parece como si no existiera la farmacocinética, la rama de la farmacología que estudia lo que le pasa a un fármaco desde que entra en el organismo hasta que es eliminado de nuestro cuerpo. Tomemos un ejemplo de moda, el colágeno, una larga trenza fibrosa de tres cadenas de aminoácidos (esencialmente glicina, prolina y lisina, aunque hay varios tipos y variantes). Es una de las proteínas más abundantes en los mamíferos (aprox. 25% del total) y es esencial en cartílagos, huesos, piel, articulaciones y un largo etcétera. Por tanto, la pregunta clave debería ser ¿cuánto tiempo sobrevive el colágeno en el estómago, una vez ingerido por vía oral? Los datos parecen indicar que en seis horas se ha hidrolizado el 90%, pero los aminoácidos resultantes se pueden combinar de nuevo fuera del estómago para regenerarlo. En síntesis, nos están diciendo que si ingiriéramos directamente esos aminoácidos llegaríamos al mismo punto. No soy nada experto en colágenos, observo que se comercializan hidrolizados o enteros, con magnesio o con ácido hialurónico (otro producto estrella de nuestros días), con distintos orígenes y composición. Este comentario es para ilustrar lo que les pasa a las proteínas cuando se ingieren, y espero que alguno de mis lectores más "colagenófilos" me ilustre al respecto.

Si pasamos a los medicamentos, recuerdo algunos de mi juventud que se anunciaban describiendo propiedades reales, sin más maldad que los pegadizos y populares pareados de sus inspirados creativos, como por ejemplo "Colgate, el mal aliento combate", o el famoso "Rasguños, heriditas... Tiritas". Ahora, la cosa va cambiando. Por ejemplo, junto a medicamentos clásicos del grupo de antiinflamatorios no esteroídicos (AINEs, inhibidores de las enzimas COX-1 y COX-2), empleados para reducir la fiebre y aliviar dolores menores, como el naproxeno y el ibuprofeno (AINEs de estructura 2-arilpropiónica), ya genéricos y de precio moderado, han ido apareciendo otras variantes, que también se publicitan por televisión sin restricciones, con la consabida coletilla de "consulte al farmacéutico" impresa en la pantalla o recitada a toda velocidad, y que probablemente por ello están entre los medicamentos más populares y demandados en las farmacias. Curiosamente, el ibuprofeno más habitual, de 400 mg, se dispensa sin receta, mientras que para el de 600 mg, se requiere receta médica. Parece que los sesudos legisladores no han caído en la cuenta de que basta tomar pastilla y media del de libre adquisición para tener la

misma dosis que no te quieren dispensar sin autorización. Se ve que el dolor de cabeza o la fiebre han suprimido la capacidad de razonar y sumar de los pacientes y de quienes dictan las normas. Y eso ocurre con otros muchos medicamentos, cuya autorización sin receta depende de la dosis.

El ambiente del marketing, en donde lo que cuenta es vender algo, material o conceptual, por encima de otros valores, incluso a veces de la objetividad y de la verdad, se traslada inevitablemente a la ciencia y a la divulgación de los resultados científicos. El impacto que genera un descubrimiento (casi siempre biológico, arqueológico o astronómico) iguala y supera el que resulta del esfuerzo creativo de muchos científicos que dedican su vida simple y humildemente a saber más sobre algo, a intentar comprender el mundo y el universo en el que estamos. Resulta así más fácil publicar en una revista famosa el hallazgo de una momia o de un eslabón en la cadena evolutiva, la estructura cristalina de una proteína de membrana o de una molécula compleja y estéticamente impactante que una tabla de valores termodinámicos, esencial para el trabajo de otros colegas. Hasta los temas sobre qué investigar sufren los avatares de la moda, los editores y revisores de trabajos a veces exclaman ¿para qué queremos otro método de hacer eso o lo otro o para qué queremos más poliedros moleculares? Si sigues la moda, tienes más posibilidades de premio, como una portada o contraportada en la revista que lo publica, los autores lo sabemos bien y, por supuesto, también lo saben los editores. Surge así también la tentación de inventar nombres nuevos para procesos conocidos, como llamar replicación a un proceso autocatalítico (cuando el producto de una reacción es capaz también de catalizar, y por tanto, de acelerar la misma). No por ello podremos afirmar que estamos sentando las bases del origen de la vida, como insinúan la introducción o las conclusiones de algunos artículos. Y tampoco podremos decir que tenemos un motor molecular cuando movemos una molécula en relación a otra con la que está entrelazada, si no controlamos la dirección de dicho movimiento, condición necesaria para que haya trabajo (es lo que define un motor). Y sobre los nombres, ¿qué podemos decir? Los que nos hemos dedicado a la química supramolecular lo sabemos bien, y lo hemos practicado con ahínco, yo el primero. Cuando dos moléculas se atraen, decimos que se reconocen, cuando la forma nos sugiere un objeto material, ahí nos lanzamos: calixarenos, cavitandos, criptandos, nudos, esferandos, entre los más clásicos, y si vamos a modelos biológicos, llamamos modelo enzimático a cualquier cosa que acelere una reacción de la misma forma que hace la enzima con que la comparamos, aunque sea miles o millones de veces peor. Parece que, en nuestra búsqueda incesante del control de la materia estemos perdiendo el control de nosotros mismos. Y no sé cómo podríamos dar marcha atrás, el ego, el "quién lo hace" en vez del "qué hace", la presión del sistema para publicar para no perecer se antepone de forma irrefrenable, no muy distinta a quienes venden una crema que suprime las arrugas simplemente rellenando los surcos que la edad produce en todos nosotros, olvidando que, cómo dijo aquél, la arruga es bella, y dentro de pocas décadas, desaparecerá para siempre de la historia, antes incluso que nuestros propios huesos.

JAVIER DE MENDOZA

Reseñas

Nomenclatura de Química Inorgánica

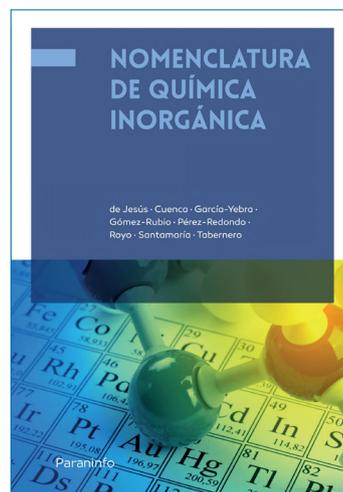
E. de Jesús Alcañiz, T. Cuenca Ágreda, C. García Yebra, M. Gómez Rubio, A. Pérez Redondo, E. Royo Cantabrana, C. Santamaría Angulo y V. Tabernero Magro

Recientemente, en 2022, Ediciones Paraninfo publicó el libro “Nomenclatura de Química Inorgánica”, de los autores citados en el título de esta reseña, que son profesores de la Universidad de Alcalá. Se trata de un texto de 118 páginas, ideal para alumnos de bachillerato y universitarios, así como para el profesorado de todas las etapas educativas y otros profesionales con interés por el tema.

Como se recuerda en el prólogo, “la nomenclatura química es un sistema para identificar las sustancias químicas de forma precisa e inequívoca”. Uno de los *quebraderos de cabeza* más típicos en el profesorado que imparte materias de química en distintos niveles educativos, especialmente en educación secundaria es, precisamente, cómo abordar la cuestión de la nomenclatura química. Se suele considerar que su conocimiento es especialmente necesario para poder explicar y entender todo lo relacionado con la química, pero, a su vez, hay multitud de criterios, recomendaciones de la IUPAC, tradiciones académicas, etc., que hacen problemática la selección de los aspectos más relevantes y acordes a cada etapa formativa.

Este libro está basado, según se indica en el mismo, en la versión en lengua castellana elaborada por Miguel Ángel Cirano López y Pascual Román Polo del trabajo titulado “Nomenclatura de Química Inorgánica: recomendaciones de la IUPAC de 2005” (Ed. Pressas de la Universidad de Zaragoza, 2007). Estos dos autores, además, revisaron la obra aquí reseñada.

En la introducción (capítulo 1), se comenta sobre lo que es la nomenclatura química y se tratan la nomenclatura sistemática y vulgar, los sistemas de nomenclatura en química inorgánica (de composición, de sustitución y de adición), dificultades usuales para su aprendizaje (aspecto esencial, que enriquece mucho la vertiente didáctica de la obra), y sus objetivos. El capítulo 2 trata sobre conceptos generales: electronegatividad, número (o estado) de oxidación, y ‘gramática’ básica. Se considera especialmente acertada la decisión de abordar con profundidad la cuestión de la definición y cálculos de los números de oxidación, base fundamental para entender la formulación y la nomenclatura química; algo que no es bien comprendido por muchos alumnos, e incluso parte del profesorado, por la persistencia del antiguo concepto de ‘valencia’, con el que frecuentemente se confunde. El capítulo 3 trata sobre la nomenclatura de los elementos químicos y las sustancias elementales. A continuación, se aborda el tema de nomenclaturas de iones monoatómicos, compuestos binarios, nombres de sustitución, oxoácidos, iones heteroató-



Fecha de Publicación: 9/2022
ISBN: 9788428355445
Páginas: 128
Editorial: Editorial Paraninfo, S.A.
Precio: 18,05 €

micos, nombres de composición de compuestos no binarios, compuestos de coordinación, y compuestos de adición, en los temas 4 a 11, respectivamente.

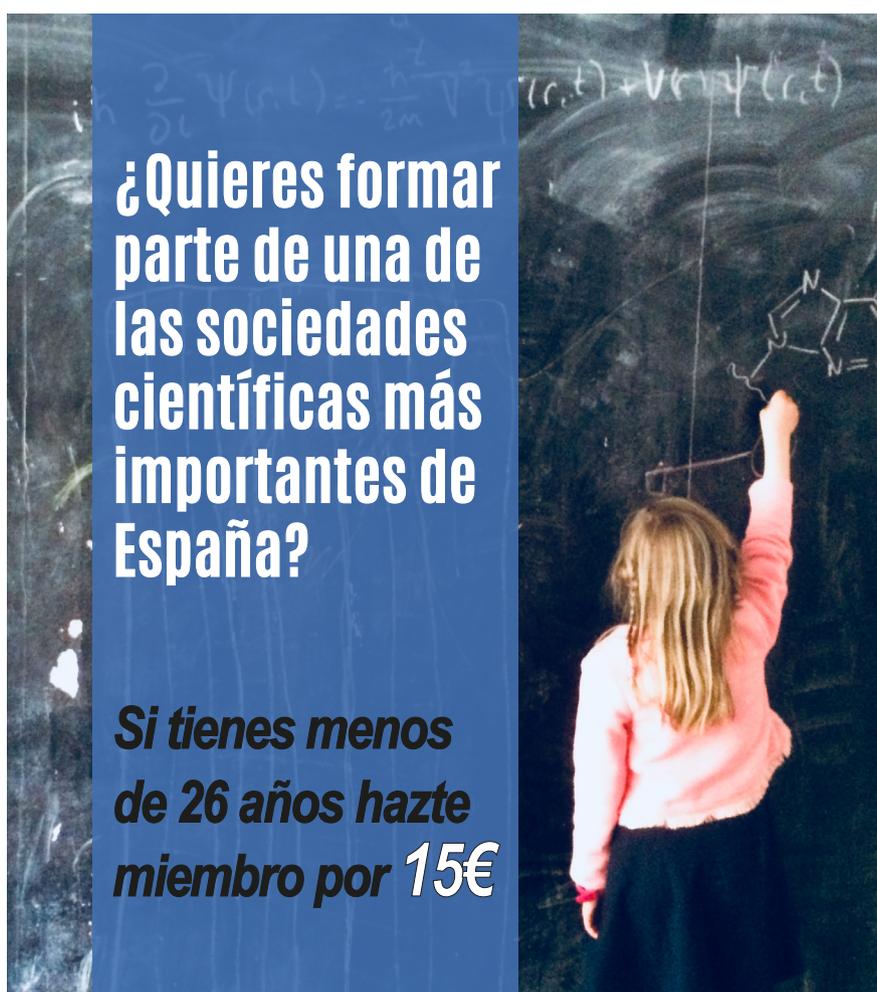
Cada capítulo se acompaña de ejercicios, complementados con un capítulo 12 adicional sobre miscelánea de ejercicios, aportándose las soluciones a todos en un apéndice. Otro apéndice incluye tablas esenciales para la nomenclatura (prefijos, nombres, símbolos, nombres vulgares aceptados por la IUPAC, etc.). Especialmente didáctico y novedoso es otro apéndice en el que se recoge un diagrama de flujo para asignar nombres, que permite aclarar las ideas.

Se ha destacado el contexto histórico y metodológico que permite entender las peculiaridades de la nomenclatura química. Así, entre otros ejemplos, el libro explica con normalidad la convivencia de varios sistemas de nomenclatura en la actualidad, orientando hacia el uso más frecuente de las sustancias. Se ha evitado tanto mantener nomenclaturas obsoletas y sin apenas uso, como recalcar nomenclaturas sistemáticas que apenas se usan. Además, se explican los nombres vulgares (también conocidos como comunes o tradicionales), no sistemáticos, destacando que el adjetivo ‘vulgar’

no tiene carácter peyorativo y que “el uso de nombres vulgares es aceptable en nomenclatura química para sustancias de utilización frecuente, siempre que no generen ambigüedades”. De este modo, el lector descubrirá que, aunque la IUPAC sugiere una nomenclatura sistemática de adición, según la cual el H_2SO_4 se podría nombrar como dihidroxidodioxidoazufre, la nomenclatura tradicional es la que se sigue empleando, por tratarse de un oxoácido común y, por lo tanto, se sigue denominando ácido sulfúrico. Por el contrario, en este caso concreto, no se recomienda ni la utilización de la nomenclatura ácida (ácido tetraoxosulfúrico) ni la antigua nomenclatura de hidrógeno (tetraoxosulfato(2-) de hidrógeno), que se califican como obsoletas.

Al final del prólogo de esta obra se señala que “de la misma forma que una lengua, el aprendizaje de la nomenclatura facilita la comunicación fluida y fiable, pero no es un objetivo en sí misma”. En resumen, los autores han elaborado un magnífico libro que, con seguridad, servirá para facilitar no solo el aprendizaje de la nomenclatura, sino también la comunicación de una ciencia, como es la química, con un lenguaje tan peculiar.

GABRIEL PINTO CAÑÓN
Grupo Especializado de Didáctica e Historia
de la Física y la Química (GEDH)
de las Reales Sociedades Españolas de Física
y de Química.



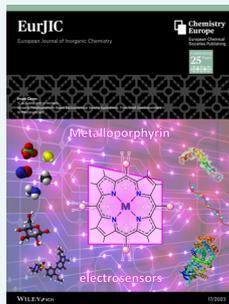
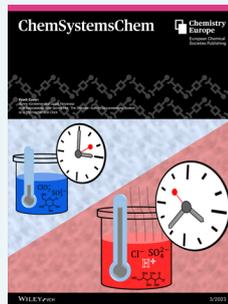
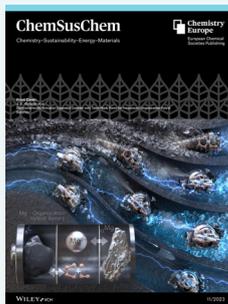
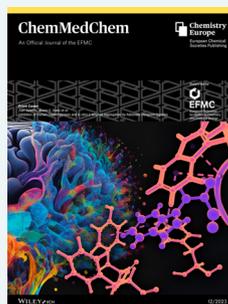
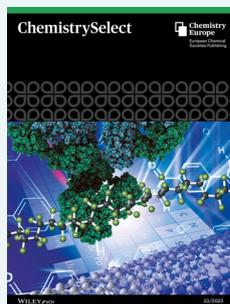
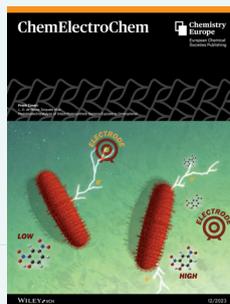
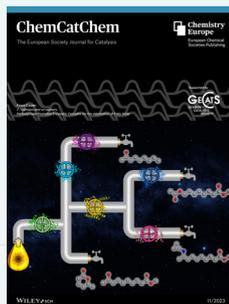
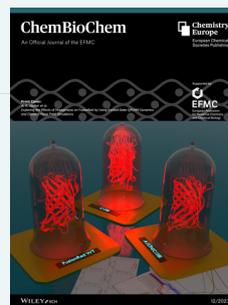
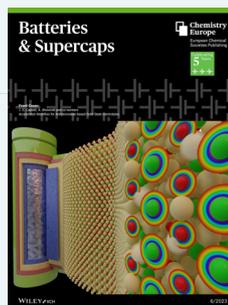
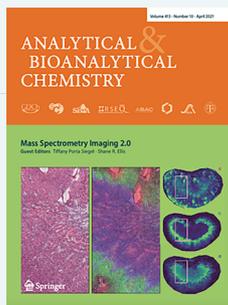
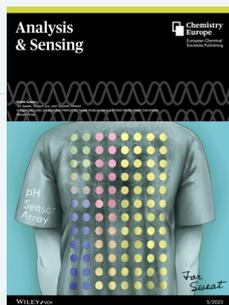
¿Quieres formar parte de una de las sociedades científicas más importantes de España?

Si tienes menos de 26 años hazte miembro por 15€


Real Sociedad Española de Química
www.rseq.org



Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química



illuminated SYNTHESIS

From discovery to scale-up:

Photoreactors and catalysts to deliver consistency and reproducibility to your research.

Chemists have long struggled with reproducibility in photoredox catalysis. Both varied reaction setups and individual reactions performed with the same setup can be tricky. Our labware seeks to alleviate these issues by providing photoreactors for each stage of reaction development while ensuring high levels of consistency across reactions and between runs.

When combined with our broad portfolio of iridium and ruthenium catalysts and acridinium-based photocatalysts, these tools free synthetic chemists to focus on their next breakthrough.

To view our complete portfolio offering visit,
[SigmaAldrich.com/photocatalysis](https://www.sigmaaldrich.com/photocatalysis)



© 2022 Merck KGaA, Darmstadt, Germany and/or its affiliates. All Rights Reserved. Merck, the vibrant M, and Sigma-Aldrich are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany or its affiliates. All other trademarks are the property of their respective owners. Detailed information on trademarks is available via publicly accessible resources.

The life science
business of Merck
operates as
MilliporeSigma in
the U.S. and Canada.

Sigma-Aldrich®
Lab & Production Materials