

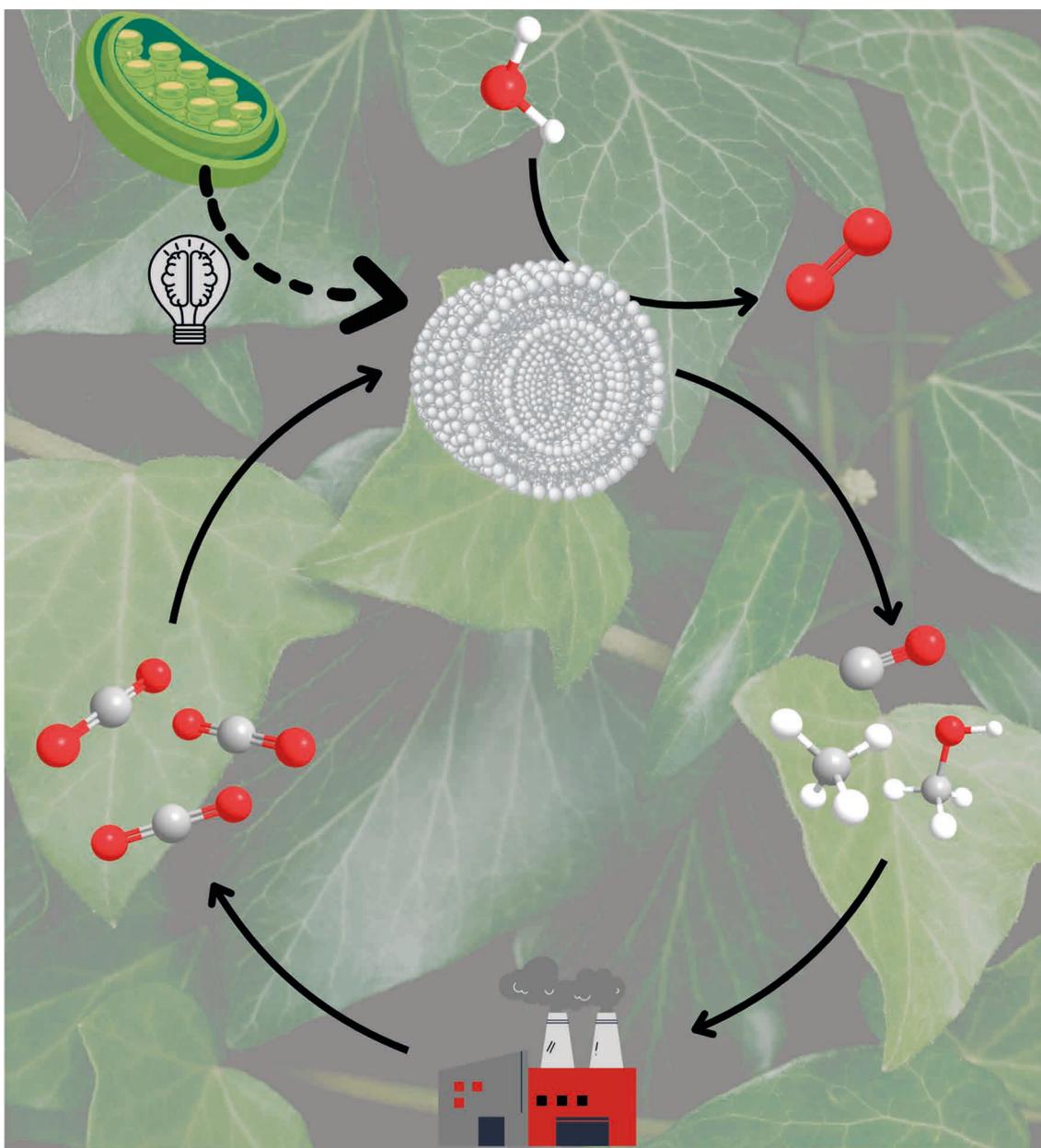
Anales de

Química

de la RSEQ

La revista de la Real Sociedad Española de Química

• Vol. 120 • N° 3 • www.analesdequimica.es •



Anales de Química de la RSEQ

Revista editada en Madrid por la Real Sociedad Española de Química

Editor General

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

Comité Editorial

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

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

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

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

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

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

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

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

Rolando Ángel Spanevello
Universidad Nacional de Rosario (Argentina).

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

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



Johnson & Johnson
Innovative Medicine

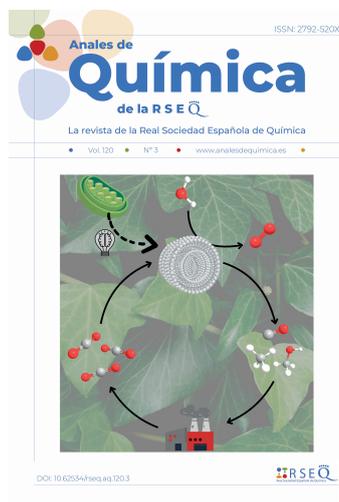
MERCK



ANALES de Química de la RSEQ

Volumen 120 · Número 3 · julio-septiembre 2024

SUMARIO



Diseño y maquetación:
signocomunicacion.es

An. Quím. RSEQ, 120 (3), 2024, 123-178
ISSN: 2792-520X
eISSN: 2792-5250
D. L.: M-2332-1958

Carta del editor

Juan Á. Casares 126

Entrevista

Jesús Jiménez Barbero XL Reunión Bienal RSEQ Bilbao 2025 127

Ensayo

Reflexiones en torno a la gestión de los grupos de investigación,
Miquel Solà 131

Investigación Química

Vesículas artificiales como sistemas fotocatalíticos bioinspirados
para la producción de combustibles solares, Laura Velasco-García,
Edelman J. Espinoza-Suárez, Akhmet Bekaliyev y Carla Casadevall. 134

Enseñanza de la Química

Implementación de una asignatura de comunicación y divulgación
de la ciencia para titulaciones universitarias de ciencia e ingeniería,
Gabriel Pinto y Victoria Alcázar. 145

¡Ponte Bata! Un ejemplo del uso de vídeos cortos para la divulgación
de la química, Aythami Soto, Albert Poater, Josep Duran 151

Historia de la Química

Química en la escuela primaria: La obra de Edmundo Lozano
(1856-1919), Luis Moreno Martínez 157

Imágenes de la Química

Las manos en química, Santiago Álvarez 164

Noticias

..... 167

Obituario

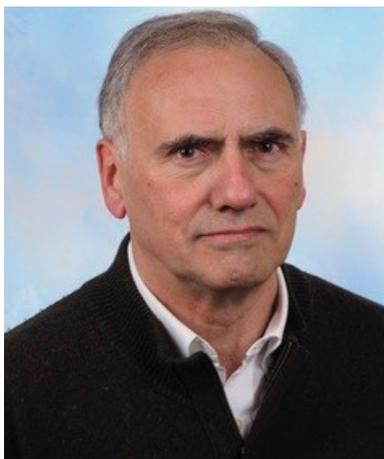
Profesor Miguel Ángel Alario y Franco 176

Carta del editor

Juan Á. Casares

La temporada alta de congresos va de principios de junio a finales de octubre. Aprovechando la disminución estacional de la actividad docente, químicos de toda clase nos lanzamos al encuentro de nuestros colegas para vernos las caras y hablar de química y de todo lo que no es química. La razón de ser de las sociedades científicas es facilitar la comunicación entre sus miembros, y esto se hace mediante la edición de revistas y la organización de congresos. En alguna ocasión he escuchado que pertenecer a la RSEQ sirve para pagar menos por la inscripción a los congresos, y eso suele ser cierto, pero hay más: en realidad para lo que sirve la RSEQ es para que esos congresos existan. La organización de los congresos corre a cargo de los grupos especializados y en última instancia de miembros de la RSEQ que desinteresadamente dedican su tiempo a ello. Las personas que asisten son miembros de la RSEQ, y asisten porque lo son, porque se ha creado entre ellas un cierto sentido de pertenencia a una comunidad y se han establecido lazos de amistad y colaboración. Sin la RSEQ esos congresos simplemente no tendrían lugar.

Las reuniones bienales son los congresos más importantes de los que organiza la RSEQ. En las últimas ediciones han sufrido una transformación intensa y se han convertido en un evento multitudinario. El esquema de organización a través de simposios lo ha convertido en un congreso muy participativo en su organización, ha modernizado las temáticas que se abordan y facilita el encuentro y la discusión entre especialistas de distintas áreas. También facilita el invitar a los mejores científicos internacionales a participar en los diferentes simposios. En este número hablamos con el presidente del comité organizador de la próxima Bienal y en gran medida el responsable de esa transformación, Jesús Jiménez Barbero, que



Juan Á. Casares.

nos avanza cómo será la XL Bienal de la RSEQ que se celebrará en Bilbao.

La historia de la RSEQ y su importancia como sociedad científica se podrían trazar a través de los libros de resúmenes de las bienales y de las reuniones de los grupos especializados. Pero la Historia, para serlo, ha de estar documentada. Lamentablemente, antes de que se extendiera el uso de los documentos en formato digital, muchos libros de resúmenes eran impresos de forma doméstica por los organizadores de los congresos, o en el mejor de los casos en pequeñas imprentas locales sin que les fuera asignado ISBN ni ningún código de registro. Algunos de esos documentos

se han perdido, otros yacen desclasificados en estanterías de facultades y laboratorios. La situación actual no es mucho mejor, la digitalización no garantiza por sí misma la conservación de los documentos, por el contrario, facilita su transformación y degradación, y su almacenamiento es confuso e incierto. Tenemos por delante la tarea de recuperar nuestra memoria colectiva y de establecer los mecanismos para convertir en memoria nuestras acciones actuales, para conseguir que los congresos duren más que un verano.

Además de la entrevista, en este número tenemos un interesante ensayo de Miquel Solà acerca de la gestión de los grupos de investigación. En la sección de "Investigación Química" presentamos una introducción al mundo de las membranas fotosintéticas y la aplicación de vesículas sintéticas a la fotosíntesis artificial. En "Enseñanza de la Química" G. Pinto y Victoria Alcázar comparten su experiencia en la implementación de una asignatura de divulgación científica para alumnos de Máster, y en el artículo "¡Ponte Bata!" se describe el uso de los canales de video para divulgar experimentación química. El número se completa con una biografía de Edmundo Lozano, un personaje importante y poco conocido, las noticias y la siempre deliciosa sección de Santiago Álvarez.



ENTREVISTA A

JESÚS JIMÉNEZ BARBERO

Presidente del Comité Organizador de la
XL Reunión Bienal de la RSEQ, Bilbao 2025

Entrevista realizada por:

Ana M.^a Geer¹ y Juan Á. Casares²

¹ Comité editorial Anales de Química de la RSEQ

² Editor General Anales de Química de la RSEQ

En esta edición de Anales de Química de la RSEQ, presentamos una entrevista con Jesús Jiménez Barbero, Presidente del Comité Organizador de la XL Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), que tendrá lugar en Bilbao desde el lunes 30 de junio hasta el jueves 3 de julio de 2025. Esta será la primera ocasión en que la ciudad alberga este evento lo que otorga un carácter distintivo a esta edición. La Bienal, el congreso más relevante organizado por la RSEQ, se ha consolidado como un foro internacional de referencia. Con un total de 16 simposios y la participación de reconocidos expertos a nivel mundial, la XL Bienal abordará los más recientes avances en campos clave como la sostenibilidad, la economía circular, la conservación del patrimonio cultural, el desarrollo de nuevos fármacos, las tecnologías emergentes y los materiales de relevancia energética. En esta entrevista, Jesús Jiménez Barbero ofrece una visión detallada sobre los preparativos y expectativas de este encuentro, que se perfila como una cita imprescindible para la comunidad química española e internacional.

¿Qué os impulsó a presentar la candidatura de Bilbao para organizar esta edición?

Llevo 10 años en Bilbao y me hacía mucha ilusión organizar la Bienal. Bilbao nunca había sido la sede de la Bienal. BioGUNE es un centro pequeño y no tenemos la capacidad de hacerlo por nuestra cuenta, pero al hablar con la gente de la universidad y con otros centros, principalmente de Vizcaya, pero también de Guipúzcoa y Álava, pensamos que podría ser una buena oportunidad para dar visibilidad a la química que se hace aquí. Nos pusimos manos a la obra y preparamos un buen comité local, en el que agrupamos a personas y científicos de todas las entidades relacionadas con la química: de la Universidad, de bioGUNE, de los BERCs [Basque Excellence Research Centers], de biomaGUNE, y, bueno, creo que hemos captado todas las sensibilidades de los distintos aspectos de la química. Por ejemplo, en la universidad, la ingeniería química es muy fuerte, y la química analítica también tiene mucha presencia, además de la química orgánica, química inorgánica y materiales. En Gui-

púzcoa, POLYMAT tiene mucha fuerza en materiales orgánicos y polímeros, entre otros. Y también porque me gusta mucho Bilbao. Estoy seguro de que la gente va a disfrutar, los conferenciantes y los participantes. La ciudad es muy vivible, verdaderamente la calidad de vida es muy alta, da gusto pasear por la ciudad. Y para un congreso es un sitio estupendo.

Siendo tú presidente de la RSEQ se impulsó el cambio de formato de congresos bienales a partir de 2014. Una vez asentado el formato de la Bienal a través de simposia, ¿cómo lo valoras?

En conjunto, mi opinión personal es que la transformación de las bienales basadas en "áreas de la Química" en el modelo basado en *simposia* temáticos multidisciplinares ha tenido un éxito parcial. Evidentemente este tipo de formato es el que tiene que quedarse, pero a mí me gustaría ir un paso más allá y que hubiera simposios realmente transversales. Me gustaría ver entre los *simposia* algo más diverso, por ejemplo, entre síntesis orgánica con organometálica y catálisis, con una perspectiva mucho más amplia enfocando distintos aspectos. Hay algunos, como un *simposium* mixto de química biológica, carbohidratos y resonancia magnética, que sí son interdisciplinares. Obviamente, lo que sucede es que hay grupos muy potentes, como los de química orgánica y química organometálica, que presentan algo muy propio. Que está muy bien, por supuesto. Nada que objetar, todo lo contrario. Además, tenemos una diversidad temática suficientemente amplia para que todos los investigadores puedan encontrar nichos de interés. No obstante, esta era la idea original cuando propusimos los *simposium* paralelos hace casi 20 años.

Háblanos del equipo que está organizando esta Bienal.

En el Comité Local somos más de 15 personas, somos muchos porque hemos sido lo más cuidadosos posible en hablar con todos los posibles implicados. Empezamos por un grupo de ami-

Este año [2024] hemos organizado el Congreso Europeo de Resonancia Magnética Nuclear, exactamente en la misma fecha que vamos a hacer la Bial en 2025.

gos, con los que más he tratado desde que estoy aquí. De hecho, mis colegas de la Universidad me propusieron como profesor visitante del Dpto. de Química Orgánica e Inorgánica de Leioa. A partir de ellos y sus contactos de la Universidad hemos formado un buen equipo, contando además con los centros de investigación que dependen del Departamento de Educación, el POLY-MAT por ejemplo, y los que estamos bajo el paraguas de otros departamentos, biomaGUNE, y nosotros [CIC bioGUNE]. También me gustaría incluir a alguien de nanoGUNE y energiGUNE. Una vez que estén todos los aspectos legales finalizados, en septiembre empezaremos a buscar *sponsors* y a trabajar. Y también contamos con los organizadores de los *simposia*. Procuramos ayudar en todo lo que están pidiendo, ya nos han escrito algunos de los organizadores de *simposia* pidiendo salas específicas, para hacer sus reuniones de sus grupos o comités. Eso es algo que tenemos que negociar con la Secretaría Técnica para ver cuántas se pueden reservar.

¿Cuáles son los principales objetivos que buscáis en esta edición de la Bial?

Visibilizar la química, y visibilizar la ciencia que hacemos aquí en Bilbao, en Vizcaya, en Euskadi, en España. Y como siempre, crear foros de discusión entre los colegas, ver a los amigos, que creo que es una cosa muy importante. Yo creo que en ciencia es esencial ver, conocer y hablar en los *coffee-break* y hablar en las comidas y las copas con la gente, para eso está un congreso. Muy pocas veces se presentan aspectos científicos que no conocemos. Casi nadie se arriesga a presentar en un congreso algo que no esté publicado o al menos enviado. No suele haber novedades específicas, muy pocas veces. Puede sorprenderte alguien que no conozcas o no conozcas demasiado, por eso está muy bien que sea un congreso de ámbitos muy diferentes. Yo, cuando voy a congresos, siempre asisto a las sesiones que no me sé, a las sesiones que no tienen nada que ver conmigo, que es donde yo creo que puedo aprender, porque en las que tienen que ver con mi investigación, normalmente no me sorprenden. Yo creo que esto es también muy importante aquí. Y además está la difusión local: este año [2024] hemos organizado el Congreso Europeo de Resonancia Magnética Nuclear, exactamente en la misma fecha que vamos a hacer la Bial en 2025. Hemos tenido 800 participantes y ha sido muy importante para la ciudad, ha tenido mucha difusión en la prensa, incluso nos recibió el alcalde, muy contento de tener 800 personas visitando una ciudad pequeña como Bilbao. Eso también es muy importante.



Vista de Bilbao desde el Mirador de Artxanda.

¿Cómo se ha estructurado el programa?

Empezamos todos los días a las ocho y media. La programación es parecida a la que se hizo en Zaragoza en la anterior Bial. Tenemos las conferencias plenarias de 45 minutos y luego las sesiones específicas de los *simposium*. Hemos preparado cinco sesiones paralelas. En total 75 sesiones de medio día cada una. Son muchas, pero realmente no nos cabía de otra manera. Además, tenemos un día menos para evitar empezar en domingo. Es decir, para dar cabida a todas las sensibilidades y todas las personas que habían pedido organizar *simposium*, pues no tenemos más remedio que irnos a cinco paralelas. Intentamos que no solapen en el mismo día las actividades que son más o menos similares, pero es imposible evitarlo por completo. Creo que, en conjunto, queda razonable. También hemos tenido que hacer un ajuste para reservar tiempo para la Asamblea General y la ceremonia Lilly. Todos los días, menos el jueves, terminamos a las siete y media de la tarde. Es un poco tarde, yo creo, pero es la única manera. El jueves es el último día y terminaremos a las 17:30 con la última plenaria.

Respecto a las conferencias plenarias, siguiendo una costumbre que pusimos en marcha hace años, los dos conferenciantes españoles son las dos medallas de la Real Sociedad anteriores; en este caso, Agustí Lledós y Rubén Martín, Química Organometálica experimental y computacional, catálisis y más allá. Luego, contamos con Laura L. Kiessling del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), experta en carbohidratos y proteínas; Helma Wennemers, del ETH Zürich, experta en biología química; Bert Meijer, de la Universidad Tecnológica de Eindhoven, enfocado en materiales moleculares; Matthew S. Sigman, de la Universidad de Utah, cuya investigación se centra en la aplicación de la inteligencia artificial aplicada a mecanismos de reacciones químicas; Joseph Wang, de la Universidad de California en San Diego (UCSD), especializado en bioanalítica y sensores; e Ilan Marek, del Instituto de Tecnología de Israel, experto en el desarrollo de nuevas estrategias estereo- y enantioselectivas. Un plantel extraordinario. Estoy muy satisfecho y creo que todos se sentirán representados. Hay temas generales y, dentro de nuestra representación, tanto Agustí como Rubén, con su gran prestigio, atraerán a mucha gente.

*¿Qué temáticas se abordarán en los simposia?
¿Hay alguno particularmente novedoso que llame la atención?*

De lunes a jueves, hay dos *simposia* consecutivos, el de síntesis y el de Química Organometálica, al que los organizadores le han dado un enfoque hacia la química sostenible que me ha gustado. Tenemos un *simposium* de química industrial, en cuatro sesiones. El de ingeniería química va seguido de otro de química verde, otro de química del patrimonio y otro de química bio-analítica. También tenemos química y energía, computación y productos naturales. Luego tenemos materiales, desde distintos puntos de vista: nuevas arquitecturas, materiales porosos, materiales funcionales, son *simposium* diferentes, pero tienen un hilo común. Terminamos con uno sobre el uso del sincrotrón Alba en química y estructura de materiales. Obviamente, también tenemos didáctica de la química. La química supramolecular está recogida desde distintos puntos de vista y también tenemos el *simposium* mixto de química biológica, carbohidratos y resonancia magnética.

Esos son los 16 *simposia* (Tabla 1). Realmente no sobra nada, creo que está todo. Luego, claro, dependerá de las personas. Al final, son las personas las que marcan la diferencia, las que se inviten y el enfoque que se dé para que cada *simposium* sea lo más innovador posible. Desde luego, viendo algunos de los invitados que se proponían para los distintos *simposia*, tiene muy buena pinta.

Tabla 1: Listado de *simposia* de la XL Reunión Bienal de la RSEQ

Simposia
S1. Advances in Synthetic Organic Methodology
S2. Organometallic Chemistry for Sustainable Solutions - OASIS
S3. Chemical Biology and Carbohydrates in Molecular Recognition: "Carbohydrates born to be bound"
S4. Computational Chemical Dynamics
S5. Sustainable chemistry powered by light and electrons for energy applications in the digital age
S6. Quo Vadis (Bio)Analytical Chemistry?
S7. Avances en Materiales Funcionales
S8. Green Chemistry
S9. Supramolecular Chemistry: towards a biomimetic and functional future. (SUPRABIOFUNC)
S10. Didáctica, Historia y Divulgación de la Química
S11. Chemistry for the Conservation of our Cultural Heritage
S12. Molecular Architectures and Material Innovations: Advanced Insights into Structure-Property Dynamics and Reactivity
S13. New Technologies for the Challenges of the Chemical Industry
S14. Developing new methodologies in the discovery, characterization, preparation, function and applications of natural products
S15. La Química de los Materiales Porosos Emergentes
S16. Advanced characterization synchrotron-based tools for energy-relevant materials

¿Cuáles han sido los mayores retos en la organización?

De momento, vamos más lentos de lo que yo pensaba, debido a los trámites del convenio y la licitación, que se ha demorado más de lo que esperaba. Ahora mismo no te puedo decir un reto específico que tengamos que solventar. Con voluntad, esfuerzo y trabajo todo se soluciona. Ahora mismo, por ejemplo, la sede no la tenemos todavía, porque queríamos hacerlo en el Euskalduna [Palacio de Congresos y de la Música Euskalduna], pero el Euskalduna se ha puesto a un precio desmesurado respecto a cuando lo consideramos hace dos años. Ahora mismo no salen las cuentas. En septiembre tenemos una reunión con la secretaría técnica para ver las posibilidades. Por suerte, al lado

Bilbao ha mejorado muchísimo en los últimos años con respecto a plazas hoteleras. Realmente, en media hora estás en cualquier sitio.

de Bilbao está el BEC! [Bilbao Exhibition Centre], donde se hacen todas las grandes ferias. Por ejemplo, se hace una feria de máquina-herramienta en la que participan decenas de miles de personas en no sé cuántas sesiones. No estoy muy preocupado y el BEC! está perfectamente comunicado con metro directo, con lo cual si no puede ser el Euskalduna, que es precioso, evidentemente, será en el BEC!. Cada uno tiene sus ventajas, Euskalduna tiene la desventaja de que no hay muchos sitios para comer cerca, hay que caminar al menos 10 o 15 minutos. Mientras que el BEC! sí. El Euskalduna es extraordinario y el BEC! es más funcional que estético. Muy probablemente va a ser el BEC! pero todavía no lo tenemos, lo tendremos en la primera quincena de septiembre. Es lo suficientemente grande y podremos poner todas las paralelas que queramos.

¿Cuántos participantes esperáis tener?

Tanto Granada como Zaragoza llegaron a un pico total de alrededor de 1500. Por tanto, esperamos algo similar. Pero Bilbao tiene un efecto. Por ejemplo, el congreso anterior de Euromar fue en Glasgow y hubo 550 participantes; en el celebrado este año aquí tuvimos unos 800; es decir, hay un efecto Bilbao claro. Puede suceder que pasemos de 1500 a 1600 o 1700. Yo trabajaría con una previsión de 1500, sabiendo que no todos van a estar toda la semana, con un pico de 1000 personas simultáneamente.

¿Crees que puede haber problemas con el alojamiento?

Bilbao ha mejorado muchísimo en los últimos años con respecto a plazas hoteleras. Bilbao y toda la periferia, toda Vizcaya. Realmente, en media hora estás en cualquier sitio. En cualquier caso, esto lo tenemos que gestionar cuanto antes también.

¿Habrá un precio especial para estudiantes?

Siempre lo hay. Las cuotas todavía no las tenemos, serán un poco mayores que en Zaragoza, por la inflación, pongamos en torno a un 5 %, pero sí, por supuesto, a los doctorandos

tenemos que cuidarlos lo mejor posible, tanto a ellos como a sus grupos de investigación, que los financian y sustentan. Y entiendo que, al igual que ha sucedido en las últimas ocasiones, los Grupos Especializados y las Secciones Territoriales también asumen un papel importante, especialmente en cofinanciación de los doctorandos que van a presentar comunicación o póster. Haremos el presupuesto lo mejor posible para no ganar y para no perder, que yo creo que es como hay que hacer un presupuesto. Ofrecer lo máximo posible al precio justo, que no que sea discordante ni por arriba ni por abajo. Esta Bienal no se hace para ganar dinero, sino todo lo contrario, para que la gente venga.

Mi consejo es impregnarse del ambiente, conocer lo máximo posible y, a ser posible, no solamente aquello que atañe directamente a tu ciencia y a tu investigación.

¿Esperáis tener también participantes de fuera de España?

Siempre vienen, no sabría decirte en qué porcentaje, pero yo siempre encuentro gente de fuera. Todos los *simposium* tienen conferenciantes invitados internacionales y muchos de ellos traen algunos de sus doctorandos o postdocs con ellos. Pues

sí, digamos que por encima de 100 personas, seguro. Creo que eso también da mucha visibilidad a la química española.

¿Qué aspectos de la organización te han resultado más gratificantes?

La disposición de la gente a colaborar tanto como hasta ahora. Hemos tenido las reuniones con el comité científico y con el comité local y hasta ahora va todo muy bien. Realmente estoy encantado.

¿Alguna recomendación específica para jóvenes investigadores?

Lo que le digo a mis doctorandos y a la gente a la que quiero y que me rodea: abrid mucho los ojos y los oídos. Mi consejo es impregnarse del ambiente, conocer lo máximo posible y, a ser posible, no solamente aquello que atañe directamente a tu ciencia y a tu investigación, sino lo que no te concierne específicamente, porque ahí se captan las ideas y los conceptos nuevos que luego puedes aplicar a tu ámbito.

¿Hay algún mensaje que quieras compartir con los asistentes o con la comunidad química en general?

Pues nada, que estaré encantado de hablar con cada una de las personas que vengan. Espero que sea un éxito y que la gente venga y que les guste. Vamos a poner todo de nuestra parte para ofrecer nuestra hospitalidad, recibir a todo el mundo lo mejor posible para que la comunidad se sienta cómoda. Y siempre vamos a estar abiertos a las críticas y a intentar solucionar los problemas que vaya habiendo. Yo confío en que podamos solventarlo todo con tiempo y que esté todo perfectamente engrasado la penúltima semana de junio de 2025.

Reflexiones en torno a la gestión de los grupos de investigación

Thoughts on the management of research groups

Miquel Solà

Institut de Química Computacional i Catàlisi y Departament de Química, Universitat de Girona

Editor asociado de Anales de Química de la RSEQ

PALABRAS CLAVE:

Equipo de investigación
Investigador principal
Cooperación
Colaboración
Empatía

RESUMEN:

Los grupos de investigación son esenciales para el avance del conocimiento y la tecnología. La gestión eficaz de estos grupos implica fomentar el trabajo en equipo, donde la cooperación y el apoyo mutuo potencian los logros individuales y colectivos. El liderazgo del investigador principal y el impacto de su ejemplo en los miembros del grupo es esencial para el desarrollo del grupo. Además, se discuten conceptos como el "efecto Pigmalión" y la necesidad de reconocer y recompensar el esfuerzo de todos los miembros del equipo, valorando tanto los éxitos como los fracasos.

KEYWORDS:

Research team
Principal investigator
Cooperation
Collaboration
Empathy

ABSTRACT:

Research groups are essential for the advancement of knowledge and technology. Effective management of these groups involves promoting teamwork, where cooperation and mutual support enhance both individual and collective achievements. The leadership of the principal investigator and the impact of their example on group members are crucial for the group's development. Additionally, concepts such as the "Pygmalion effect" are discussed, along with the need to recognize and reward the efforts of all team members, valuing both successes and failures.

El establecimiento de sociedades científicas, como la Royal Society en 1660 y la Académie des Sciences en 1666, marcó un punto importante en la transición de la ciencia como una actividad individual a una colectiva o grupal. Estas instituciones promovieron el intercambio de conocimientos y la colaboración entre científicos. Hoy en día, la colaboración es la norma en la mayoría de los campos científicos, permitiendo avances que serían inalcanzables para investigadores trabajando de forma aislada. Individualmente, los investigadores pueden hacer contribuciones relevantes, pero es la interacción y cooperación dentro de la comunidad científica lo que realmente impulsa el progreso. En este sentido, los grupos de investigación son la unidad básica de colaboración y son esenciales para el avance del conocimiento y la tecnología, la formación de nuevos científicos y profesionales, y la solución a desafíos complejos de la sociedad a nivel global.

La gestión de los grupos de investigación no es fácil debido a la complejidad inherente de coordinar recursos, objetivos y personas procedentes de diferentes entornos y culturas. En este texto, comparto una serie de reflexiones personales con las cuales el lector podrá estar en mayor o menor acuerdo. Algunas de estas reflexiones y algunos de los conceptos y expresiones usadas están extraídos de la lectura de los artículos de Xavier Marcet,

consultor de empresas y profesor de la Universitat Pompeu Fabra, publicados mensualmente en el suplemento "Dinero" de "La Vanguardia".

Un grupo suma, un equipo multiplica

Un grupo de investigación suma, un equipo de investigación multiplica. La diferencia es que un grupo de investigación es un grupo de investigadores trabajando donde cada uno va a lo suyo, mientras que en un equipo de investigación los miembros se ayudan, incluso cuando ya no pertenecen al equipo de investigación. Un equipo trabaja para que todos sus miembros puedan crecer y nadie se quede atrás. Por poco que se pueda hay que procurar que el grupo no sea un grupo sino un equipo, y esto depende del talante del investigador principal (IP). Si el IP se preocupa por los miembros de su equipo, ellos lo harán por sus compañeros. Tener a un equipo es el camino hacia el éxito.

En este sentido, el nombre del grupo no es inocuo. A los grupos se les conoce en algunos casos con el nombre del IP y otros por el tipo de investigación que desarrollan. Cuando hablamos del grupo de investigación del Prof. XXX, da la impresión que lo importante es el Prof. XXX y el resto del grupo cuenta menos. Por el contrario, cuando hablamos del grupo de investigación en el desarrollo de YYY, lo importante es investigar para con-

seguir que YYY sea más eficiente, su producción más barata y menos contaminante, etc. Trabajar en el grupo del Prof. XXX motiva al IP, pero motiva menos al resto del grupo. Por otro lado, cuando se jubila el IP, se termina el grupo, mientras que un grupo centrado en un determinado tema de investigación puede perfectamente continuar creciendo cuando no esté el IP que creó el grupo.

Ubuntu, leyenda africana sobre la cooperación

Según la leyenda ubuntu, un antropólogo visitó una aldea africana con la intención de comprender su cultura y descubrir cuáles eran sus valores. Para ello, ideó un juego para unos niños. Colocó una cesta llena de frutas junto a un árbol y les dijo: "El primero que llegue al árbol, se quedará con la cesta de frutas". Al dar la señal para iniciar la carrera, ocurrió algo inesperado para el antropólogo: los niños se tomaron de la mano y corrieron juntos. Al llegar al mismo tiempo, compartieron el premio, sentándose a repartir las frutas entre todos.

El concepto ubuntu hace referencia a esta filosofía de raíz africana que parte de la base de que el ser humano en solitario no tiene sentido, ya que la vida de una persona se construye y desarrolla gracias a la relación con los demás. En la filosofía ubuntu es absurdo cualquier éxito individual que genere malestar colectivo.

Si lo aplicamos a nuestro equipo de investigación, la idea es la misma: ayudar y recibir ayuda. Yendo juntos se llega más lejos: un equipo mejor que un grupo. El trabajo en equipo maximiza la productividad y al mismo tiempo beneficia el bienestar emocional y la carrera futura de cada miembro. Alcanzamos nuestra mejor versión cuando crecemos haciendo crecer a los demás. Si se pierde la solidaridad y generosidad interna, todos pierden y quien sale perdiendo más es el grupo en su conjunto.

Efecto Alférez

Se ha calculado que, a lo largo de la guerra civil española llegaron a ser cerca de 3.000 los alféreces muertos en combate. Dentro del grupo de los oficiales, los alféreces fueron el subgrupo con más muertos. La elevada mortalidad de los alféreces se debía en parte al hecho que eran el grupo de oficiales más numeroso, pero también al hecho de que, en combate, los alféreces iban delante de su sección. Ante un asalto, el alférez daba ejemplo a la tropa situándose en primera posición. De la misma manera, la forma de trabajar del IP tiene una gran influencia en sus doctorandos que suelen seguir el ejemplo del IP. Un IP, como el alférez, educa más con su ejemplo que con sus palabras. Un IP que valora los éxitos propios y del equipo con humildad y agradecimiento genera un equipo de personas que reconocen sus capacidades, pero que también son conscientes de sus limitaciones. Un IP amable y empático con su gente, genera un ambiente de grupo agradable. Un IP con aficiones y obligaciones fuera del ámbito académico contribuye a que también las tengan los componentes de su equipo, lo que repercute positivamente en su bienestar emocional. Un IP que asiste a muchos congresos, consigue que los miembros de su equipo valoren las participaciones en congresos. Un IP que acostumbra a llegar temprano al trabajo, es muy posible que fomente a que también lo hagan sus doctorandos y postdocs. Si un IP da mucha importancia a las presentaciones en seminarios, conseguirá que también se la den los miembros de su equipo.

En general, es fundamental que los IPs sean conscientes de su comportamiento y que recuerden que sus acciones y actitudes pueden inspirar, empoderar y motivar a otros a mejorar tanto a nivel personal como científico.

Efecto Pígalión

El efecto Pígalión, también conocido como efecto Rosenthal, es un fenómeno que se utiliza en psicología y pedagogía. El hecho de que alguien confíe en nuestras posibilidades influye positivamente en nuestra conducta frente a los retos y mejora nuestros resultados, ya sea a nivel académico o en nuestra carrera profesional. Pero ocurre lo mismo a la inversa: que nuestros superiores tengan bajas expectativas respecto a nuestro futuro condiciona nuestro rendimiento y supone un obstáculo para nuestra autoestima y confianza difícil de superar. Seamos conscientes del efecto Pígalión y actuemos en consecuencia. En este sentido es muy importante que valoremos en positivo el trabajo de los componentes de nuestro equipo. Ante un trabajo bien hecho, una felicitación sincera en privado primero y en público cuando tengamos la ocasión. Ante un trabajo mal hecho, podemos decir a nuestro doctorando o postdoc que se trata de un buen comienzo pero que se deben mejorar determinados aspectos y, a continuación, mencionar todo aquello que debe ser corregido. Los IPs deben ser conscientes que un doctorando puede desanimarse si no recibe reconocimiento positivo por su arduo trabajo y este desánimo será perjudicial para la carrera científica del doctorando, pero también para el grupo de investigación. En este sentido, es muy importante apoyar a los jóvenes investigadores, especialmente aquéllos que pertenecen a grupos que históricamente han sido subrepresentados en la ciencia.

Algunas recomendaciones

1. Frecuentemente pedimos a nuestros postdoctorados o doctorandos más experimentados que ayuden a los nuevos doctorandos en sus investigaciones. Enseñarles técnicas y procedimientos requiere tiempo, y este esfuerzo debe ser adecuadamente recompensado si la dedicación ha sido substancial. Una forma común de hacerlo es incluyendo al postdoctorado o doctorando que ha ayudado en la lista de autores del artículo resultado de esta investigación. De esta manera, quien ha ayudado al nuevo doctorando se siente recompensado y así fomentamos un ambiente de colaboración en el grupo.
2. Dale a tu estudiante de doctorado un proyecto fácil y uno difícil; puede que con el difícil genere o no un avance científico importante, pero al menos con el fácil podrá escribir su tesis y podrá doctorarse.
3. Debemos apoyar y ayudar en lo que nos sea posible a nuestros doctorandos. No debe alargarse innecesariamente una tesis doctoral. Y cuando terminan la tesis se les debe ayudar en lo posible a continuar su carrera sea en la academia o en la industria. Si los doctorandos ven que el grupo de investigación no se preocupa de los doctores que les han precedido, tendrán pocos estímulos para preocuparse del grupo y tratar bien a los miembros del equipo.
4. Los IPs deben decidir los objetivos de investigación, establecer las prioridades de investigación, y tener la última palabra en múltiples cuestiones. Sin embargo, tratar a los miembros del equipo como simples ejecutores de nuestras instrucciones en lugar de como colegas que tienen opiniones informadas sobre el trabajo que ejecutan es perder oportunidades. Es importante tratar a todos como iguales. Y es necesario promover liderazgos más flexibles, estructuras organizativas menos jerarquizadas, métodos de trabajo más ágiles y relaciones más empáticas.
5. Hay que ser agradecido con quien nos ayuda. Si alguien te ha enseñado alguna nueva técnica, si te han ayudado con algún contrato, si te han escrito cartas de recomenda-

- ción, si han presentado tu candidatura a un premio, etc... no cuesta nada agradecerlo.
6. Es importante reconocer que, si hemos logrado un éxito, seguro que es porque nos lo hemos merecido, pero también porque ha habido gente que directa o indirectamente nos ha ayudado.
 7. Los mejores IPs saben sumar ambición y humildad. Ambición, pero no codicia. Y respecto a los demás. La falta de respeto y empatía es fuente de desequilibrios que acaba desmotivando al grupo.
 8. Humildad para reconocer la contribución nada desdeñable de la suerte en nuestros éxitos. Aunque el paradigma de la meritocracia está altamente extendido en la ciencia, hay estudios que destacan la suerte como un factor muy relevante en nuestros éxitos o la mala suerte en nuestros fracasos.^[1-3]
 9. Hemos de desestigmatizar el fracaso y celebrar el éxito. Hay que concienciar a los componentes del grupo que el rechazo de nuestros artículos por parte de los editores es más habitual que la aceptación de los mismos. De esta forma, fomentamos la resiliencia de los componentes del equipo para que puedan sobrevivir en el complejo sistema que sustenta la investigación. Y, por supuesto, hay que celebrar el éxito cuando se da.

Consideración final. El legado.

En las instituciones públicas hay investigadores que trabajan por inercia, otros que trabajan por el impacto (índice h, artículos en revistas reconocidas, premios, etc.) y otros que lo hacen pen-

sando en el legado, para dejar algo que valga la pena. En este sentido, es interesante preguntarse: ¿qué es más importante, la ciencia o los científicos? Seguramente que, en algunos pocos experimentos, los conocimientos adquiridos para la sociedad son más importantes que los científicos que los han logrado. Sin embargo, en la mayor parte de los artículos publicados (más de 5 millones en 2022), si pensamos cuántos de ellos serán consultados en 2072, llegamos a la conclusión que nuestro legado en forma de artículos publicados seguramente perecerá al cabo de pocos años. ¿Qué queda entonces? Quedan los científicos que se han doctorado o formado en el equipo de investigación y que han podido continuar su carrera científica. La familia científica que uno genera, a su vez generará otros doctores en una red que crecerá probablemente durante cientos de años (ver The Academic Family Tree). Este será nuestro legado y de ahí la importancia de preocuparse de ayudar a nuestros doctorandos. Ellos serán los que continuarán nuestra obra, difundiendo la ciencia, el conocimiento y la educación en cualquier lugar del mundo para lograr cambios sociales que mejoren nuestra sociedad.

Bibliografía

- [1] A. Pluchino, A. E. Biondo, A. Rapisarda, *Adv. Complex Systems*, **2018**, *21*, 1850014.
- [2] S. Kozuch. "Meritocracy in Science – A Necessary Myth", disponible en <https://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/22658>, **2023** (consultado: 01/08/2024).
- [3] L. S. Taylor, *Mol. Pharmaceutics*. **2022**, *19*, 729-730.



Miquel Solà

*Institut de Química Computacional i Catàlisi y
Departament de Química, Universitat de Girona
Editor asociado de Anales de Química de la RSEQ*

C-e: miquel.sola@udg.edu
ORCID: 0000-0002-1917-7450

Doctorado con premio extraordinario (UAB, 1991). Tras varios meses en una consultoría, se traslada a la Universidad de Girona (UdG). Realiza investigación postdoctoral con los Profs. Baerends y Ziegler. Desde 2003 es catedrático en la UdG. Recibe el premio ICREA Academia en 2009 y 2014, en 2013 el premio de química física de la RSEQ, en 2019 el reconocimiento de miembro honorario de la Sociedad Polaca de Química y en 2023 es nombrado fellow de la Royal Society of Chemistry. Es coautor de unos 500 artículos (h = 73), 43 capítulos de libro, un libro y ha dirigido 25 tesis doctorales.

Vesículas artificiales como sistemas fotocatalíticos bioinspirados para la producción de combustibles solares

Artificial Vesicles as Bioinspired Photocatalytic Systems for Solar Fuel Production

Laura Velasco-García^{1,2}, Edelman J. Espinoza-Suárez², Akhmet Bekaliyev², Carla Casadevall^{2,1*}

¹Institute of Chemical Research of Catalonia (ICIQ)

²Department of Physical and Inorganic Chemistry, University Rovira i Virgili (URV)

PALABRAS CLAVE:

Fotosíntesis artificial
Sistemas compartimentados bioinspirados
Fotocatálisis
Liposomas
Polimerosomas
Combustibles solares

RESUMEN:

La fotosíntesis artificial tiene como objetivo imitar la fotosíntesis natural al almacenar energía solar en los enlaces químicos de combustibles y productos químicos, utilizando bloques de construcción simples y fácilmente disponibles como el agua y el dióxido de carbono. El desarrollo de sistemas fotocatalíticos eficientes y robustos para la fotosíntesis artificial requiere una comprensión exhaustiva de los mecanismos catalíticos subyacentes y de los factores que rigen la actividad y selectividad catalítica. Esta revisión enfatiza el creciente interés en el uso de vesículas artificiales bioinspiradas para compartimentar las transformaciones relacionadas con la fotosíntesis artificial. Aquí, resumimos los diferentes andamios utilizados para desarrollar vesículas artificiales bioinspiradas y exploramos ejemplos recientes en los que esos sistemas se han utilizado para estudiar procesos fotocatalíticos.

KEYWORDS:

Artificial photosynthesis
Compartmentalized bioinspired systems
Photocatalysis
Liposomes
Polymersomes
Solar fuels

ABSTRACT:

Artificial photosynthesis aims to mimic natural photosynthesis by storing solar energy into the chemical bonds of fuels and chemicals, using readily available and simple building blocks such as water and carbon dioxide. The development of efficient and robust photocatalytic systems for artificial photosynthesis requires a comprehensive understanding of underlying catalytic mechanisms and the factors that govern the catalytic activity and selectivity. This review emphasizes the increasing interest in using bioinspired artificial vesicles to compartmentalize artificial photosynthesis' related transformations. Here, we summarize the different scaffolds used to develop bioinspired artificial vesicles and explore recent examples where those systems have been used to study photocatalytic processes.

Introducción

La fotosíntesis es un proceso vital para mantener la vida en la Tierra. Los organismos fotosintéticos, como las algas, plantas y cianobacterias, son capaces de convertir y almacenar energía solar en los enlaces químicos de moléculas orgánicas complejas, tales como glucosa. Durante la fotosíntesis, los organismos fotosintéticos transforman materias primas abundantes, como agua y dióxido de carbono en glucosa, usando la luz solar como fuerza motriz. Durante este proceso intervienen varios complejos proteicos que trabajan de forma sincronizada para realizar los siguientes procesos: i) captación de luz solar, ii) separación y transferencia de carga, iii) oxidación del agua (OA) a oxígeno molecular (O₂), iv) transferencia de electrones y protones, v) generación de equivalentes de reducción y moléculas energéticas como la nicotinamida adenina dinucleótido fosfato

(NADPH) o el adenosín trifosfato (ATP), y vi) reducción de CO₂ (RCO₂) a glucosa (ciclo de Calvin).

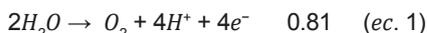
Por otro lado, en la fotosíntesis natural se pueden agrupar las diferentes reacciones y procesos según su dependencia de la luz. En las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis oxigénica, la absorción de fotones en la membrana del tilacoide por el fotosistema II (PSII, de las siglas en inglés) impulsa la oxidación del agua (OA) a O₂ (ecuación 1, potencial versus electrodo estándar de hidrógeno (SHE)), lo que proporciona electrones y protones para la generación del equivalente de reducción biológico NADPH junto con las moléculas transportadoras de energía ATP. Estas últimas se utilizan posteriormente en las reacciones oscuras del ciclo de Calvin para fijar el CO₂ como carbohidratos (glucosa, ecuación 2), o para reducir protones (ecuación 3) en la producción fotobiológica de H₂, redirigiendo el NADPH reducido hacia las enzimas hidrogenasas en

CÓMO CITAR: L. Velasco-García, E. J. Espinoza-Suárez, A. Bekaliyev, C. Casadevall. *An. Quím. RSEQ* 2024, 120, 134-144, DOI:10.62534/rseq.aq.1993

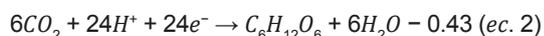
* Ce: ccasadevall@iciq.es

algunas algas unicelulares y cianobacterias bajo condiciones especiales.^[1]

Semireacción de OA a pH 7 E° (V) vs SHE:



Semireacción de RCO₂ a pH 7 E° (V) vs SHE:



La fotosíntesis natural tiene lugar en las membranas tilacoidales dentro de los cloroplastos, donde se alojan los diferentes cromóforos, centros de reacción y mediadores implicados en la fotosíntesis. La membrana del tilacoide consiste en el ensamblaje supramolecular de lípidos y aditivos en una membrana flexible y fluida bidimensional que alberga una serie de unidades proteicas que organizan las reacciones de la luz y las separan de las reacciones oscuras. Así pues, la membrana tilacoidal es esencial para permitir una localización y orientación específica de todos los complejos proteicos que intervienen en la fotosíntesis natural. Además, esta membrana lipídica permite la separación de la reacción de oxidación del agua (OA) y las de generación de NADPH y ATP de las de reducción de CO₂ (RCO₂), es decir las reacciones dependientes de la luz de las reacciones oscuras, lo que disminuye las energías de reorganización entre los estados oxidados y reducidos.^[2] El PSI y la ATPasa no caben en el espacio entre las membranas apiladas y, por lo tanto, se encuentran principalmente en las lamelas estromales. El PSII se encuentra en las lamelas del grana y, por lo tanto, se separa espacialmente del PSI y la ATPasa, evitando el desbordamiento incontrolado de excitones del PSII al PSI. Esta heterogeneidad de la membrana del tilacoide maximiza la densidad de empaque de los complejos fotosintéticos y desempeña un papel importante en la optimización de la captación de luz y la transferencia de energía bajo condiciones de luz cambiantes.

Durante la fotosíntesis natural, la absorción de energía solar ocurre principalmente a través de las clorofilas y otros pigmentos en los complejos de captación de luz (LHCs, de las siglas en inglés), que actúan como antenas para la recolección de luz (Figura 1, izquierda). Las clorofilas pasan energía a través de una serie de cromóforos a los centros de reacción de los Fotosistemas II (PSII) y I (PSI), donde los pigmentos centrales de clorofila P680 y P700, respectivamente, inducen la separación de carga y la posterior transferencia unidireccional de electrones a través de una cadena de transporte electrónico a través de distintos mediadores redox de la membrana del tilacoide. Los electrones se transfieren primero desde el P680 fotoexcitado en el PSII a las plastoquinonas (PQs) incrustadas en la membrana del tilacoide, luego al complejo Citocromo b6f (Cytb6f), donde la plastoquinona recoge los electrones para reducir el P700⁺ en el PSI. El último es una especie oxidada generada por la fotoexcitación del PSI y la transferencia de electrones a la ferredoxina (Fd, una proteína hierro-azufre) y la ferredoxina NAD(P)⁺ reductasa (FNR) en el estroma de los cloroplastos. En última instancia, el P680 se regenera en el PSII por los electrones liberados de la oxidación del agua en el lumen. El flujo unidireccional de electrones y protones a través de la membrana genera un gradiente de protones que impulsa la conversión de ADP a ATP por la ATP sintasa (ATPasa, Figura 1, izquierda). Entonces, la membrana tilacoidal tiene un papel clave en la fotosíntesis. Además, la importancia de las membranas naturales trasciende la fotosíntesis, ya que las bicapas lipídicas son primordiales en muchos procesos biológicos. El alto nivel de compartimentalización en

las células permite que simultáneamente ocurran reacciones bioquímicas opuestas en los diferentes espacios limitados por membranas de la célula. Así pues, el estudio de la compartimentalización biológica es muy importante en el contexto de las reacciones de fotosíntesis y para la conversión de energía solar.^[3]

Asimismo, la fotosíntesis artificial (FA) es una tecnología que pretende imitar la fotosíntesis natural para producir combustibles renovables y sustancias químicas de alto valor utilizando luz solar, agua y CO₂, pero superando su eficiencia y la variedad de productos derivados del CO₂ que se pueden obtener.^[4] En este contexto el estudio de la compartimentalización a través de la membrana, y de la localización y orientación de los distintos complejos proteicos que intervienen en la fotosíntesis natural es crucial para la mimesis artificial de este proceso. No obstante, en el desarrollo de sistemas fotocatalíticos artificiales raramente se tiene en cuenta, debido a la dificultad que representa desarrollar estos sistemas.^[3d, 4a, 5] Además, para desarrollar sistemas fotosintéticos artificiales cabe resolver los siguientes retos: i) recombinación de cargas, ii) uso eficiente de los electrones de la oxidación del agua para la reducción del CO₂ a compuestos orgánicos y iii) ir más allá de los productos más simples de la reducción de carbono. Así pues, tener en cuenta la separación espacial de las reacciones y la creación de microambientes podría ayudar a solventar estas limitaciones.^[3c, 3d, 4a-c, 6] El desarrollo de sistemas de FA que imiten la organización estructural y la orquestación de catalizadores y fotocatalizadores en espacios confinados separados por membranas puede ser un paso fundamental en la optimización de estos sistemas. Sin embargo, lograr esto es complejo y requiere una selección cuidadosa de los materiales que componen las membranas, los catalizadores y fotosensibilizadores, los métodos de inmovilización, además de la sincronización de ciclos (foto)catalíticos y control de transferencias energéticas y de cargas a través de membrana.^[3c, 3d]

Imitar la fotosíntesis natural mediante el diseño sintético es una estrategia atractiva para el desarrollo de metodologías sostenibles para producir combustibles solares. Así pues, hay algunos ejemplos en los que se han usado sistemas basados en vesículas artificiales para estudiar distintos procesos relacionados con la fotosíntesis artificial, como la oxidación del agua a oxígeno con la liberación concomitante de protones y electrones, y la reducción del CO₂ a combustibles basados en carbono (o la reducción del agua a H₂) respectivamente; además se ha investigado la captación de luz con varios fotosensibilizadores y la separación de cargas a través de membranas artificiales (Figura 1, derecha). Debido a su parecido a las membranas naturales, los liposomas se han usado con mayor frecuencia para imitar las membranas tilacoidales y separar reactividad.

Este artículo de revisión proporciona una visión general de los desarrollos recientes de vesículas artificiales inspiradas en la naturaleza para estudiar distintos procesos fotocatalíticos compartimentalizados. Entonces, aquí se ofrece una descripción general de las diferentes plataformas moleculares utilizadas para la generación de vesículas que imitan la membrana tilacoidal en el contexto de la FA, principalmente lípidos, fosfolípidos, polímeros y proteínas. Además, se discuten ejemplos recientes donde procesos críticos para la FA, incluyendo absorción de luz, transferencia de carga y generación de combustible (oxidación de agua, reducción de agua, reducción de CO₂) han sido investigados. Comparando los distintos sistemas para construir vesículas que imitan la membrana tilacoide para desarrollar sistemas fotocatalíticos para la producción de combustible y productos químicos. Estos sistemas ofrecen perspectivas valiosas para mejorar la actividad fotocatalítica y la eficiencia mediante el confinamiento de los componentes de reacción dentro de una membrana. De los estudios reportados podemos aprender

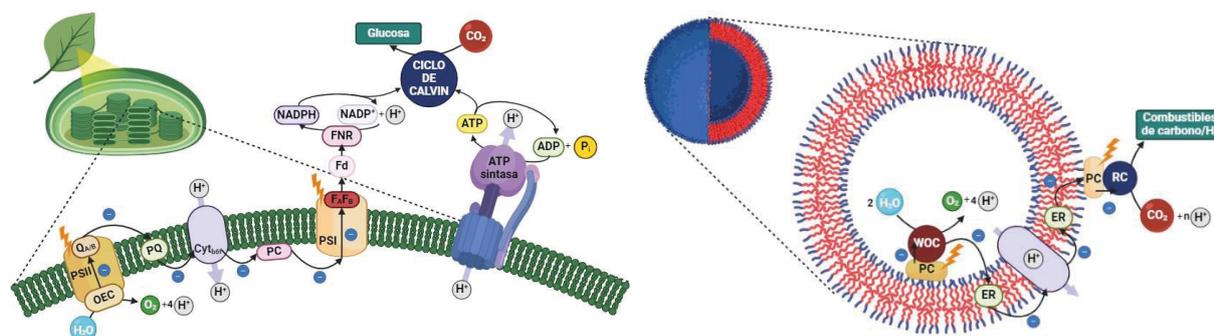


Figura 1. a) Representación esquemática de un cloroplasto y el acercamiento de la membrana tilacoide con los centros de reacción más importantes de la fotosíntesis natural, b) Ilustración simplificada de un sistema vesicular sintético y sus componentes para producir combustibles y productos químicos solares.

algunos de los factores que necesitan ser considerados para el desarrollo de sistemas fotocatalíticos bioinspirados para FA compartimentalizada. Aunque las vesículas artificiales pueden no ser utilizadas para la producción de combustible a gran escala, sirven como plataformas para explorar el acoplamiento de reacciones de oxidación y reducción dentro de un solo sistema, mientras proporcionan soluciones innovadoras para abordar la recombinación de cargas y la reactividad cruzada de sistemas fotocatalíticos en solución, un desafío primario en la AP fotocatalítica. Cabe mencionar que en este trabajo nos centramos únicamente en sistemas vesiculares de membrana bicapa. El desarrollo de sistemas confinados inspirados biológicamente basados en "metal organic frameworks" (MOFs),^[7] "covalent organic frameworks" (COFs),^[8] materiales porosos,^[9] y otros ensamblajes supramoleculares^[5a, 9b, 10] ha sido revisado en otros lugares y queda fuera del alcance de esta revisión.

Sistemas más comunes para desarrollar vesículas artificiales para compartimentalizar reactividad

En los últimos años ha aumentado el interés en usar vesículas artificiales para imitar y entender mejor la compartimentalización natural en las células. Por ejemplo, la formación de gradientes electroquímicos inducidos por luz a través de membranas bicapa es una estrategia natural crucial para aprovechar la energía solar y poder mantener las funciones celulares. Estos sistemas son prometedores especialmente en el campo de biología sintética para la construcción de células artificiales para estudiar los elementos de un sistema vivo o incluso el origen de la vida,^[3a, 3b, 3e, 11] además de tener aplicaciones en el campo de biosensores^[11d, 12] y en farmacia y química medicinal.^[3a, 3g, 11d, 13] Hay ejemplos en que vesículas artificiales han sido estudiadas para encapsular diferentes catalizadores sintéticos y biológicos y separar su reactividad, con el potencial de crear sistemas catalíticos complejos con reactividad sincronizada en el campo de síntesis química pero también en el de la energía sostenible.^[3] De hecho, estos sistemas pueden ser utilizados como un modelo simplificado para estudiar los procesos en membranas e interfaces como el transporte de electrones y el uso de gradientes de protones como fuentes de energía, así como el transporte de vectores energéticos, electrones y moléculas pequeñas a través de membrana, todos procesos relevantes para la fotosíntesis artificial.^[3c, 3d, 3j, 3k, 4a, 11c, 11g, 11j, 14]

Los lípidos han sido, por su similitud a su contraparte natural, las moléculas más utilizadas para la creación de vesículas artificiales bioinspiradas.^[11c, 15] No obstante, otras plataformas moleculares han despertado interés en los últimos años como plataformas para sintetizar vesículas para transformaciones químicas compartimentalizadas, algunas basadas en polímeros

o bien en proteínas para la formación de las membranas.^[11d] Cabe destacar que la plataforma elegida afectará directamente las propiedades y características de la membrana, como su permeabilidad, flexibilidad y versatilidad química, entre otras propiedades, por lo que la selección de una plataforma u otra es muy importante.^[3d, 4b, 11m, 16] A continuación se describen plataformas moleculares comunes con sus características principales, ventajas y desventajas:

Liposomas. Se forman por el autoensamblaje de lípidos anfífilos en solución acuosa, organizados en una bicapa lipídica con las cabezas polares orientadas hacia la cavidad y el exterior acuoso de la vesícula (Figura 2a). Ya que se trata de moléculas anfífilas, estos lípidos poseen también propiedades tensoactivas por lo que a concentraciones bajas se concentran en interfaces disminuyendo la tensión superficial y solo agregándose en bicapas después de superar una cierta concentración, denominada concentración micelar crítica (CMC). Debido a su semejanza con las membranas naturales y su biocompatibilidad estas han sido las vesículas más comúnmente usadas en el desarrollo y estudio de microcompartimentos biomiméticos.^[3c, 3d, 11, 11m, 17] Sin embargo, poseen algunas características como baja estabilidad estructural, adaptabilidad limitada, intercambio de lípidos entre vesículas en solución y alta difusión y permeabilidad a través de la membrana, que limita su aplicabilidad como plataformas para el desarrollo de sistemas fotocatalíticos para la fotosíntesis artificial.^[18]

Polimerosomas. Estos son formados por el autoensamblaje de copolímeros anfífilos de bloque (Figura 2b). Sus características estructurales y funcionales son similares a las membranas naturales y a los liposomas, pero poseen ventajas frente a los liposomas como superior estabilidad mecánica, mayor versatilidad química, membrana más robusta y que permite modular su permeabilidad y biocompatibilidad.^[3c-e, 4a, 11c, 11j, 13c, 19] Es por estas aventajadas propiedades que recientemente los polimerosomas han sido utilizados en aplicaciones biomédicas, encapsulación y administración de fármacos, biosensores, química biológica y catálisis.^[11m, 13c, 18, 20] Además, estos han ganado interés en el campo de las transformaciones de energía y catálisis química en el marco de la fotosíntesis artificial, pero los ejemplos reportados hasta ahora son muy escasos.^[3c, 4a, 18]

PICsomas. Son vesículas de complejos poliónicos (Polionic Complex en inglés) autoensambladas a partir de elementos de polielectrolitos con cargas contrarias (Figura 2c).^[11m, 21] Estos polielectrolitos son polímeros con grupos iónicos o ionizables en su estructura. Las vesículas están formadas por una bicapa donde la atracción electrostática dirige el acomodo de los elementos que la componen.^[11m] Esto resulta en una membrana semipermeable que permite el transporte controlado a través de

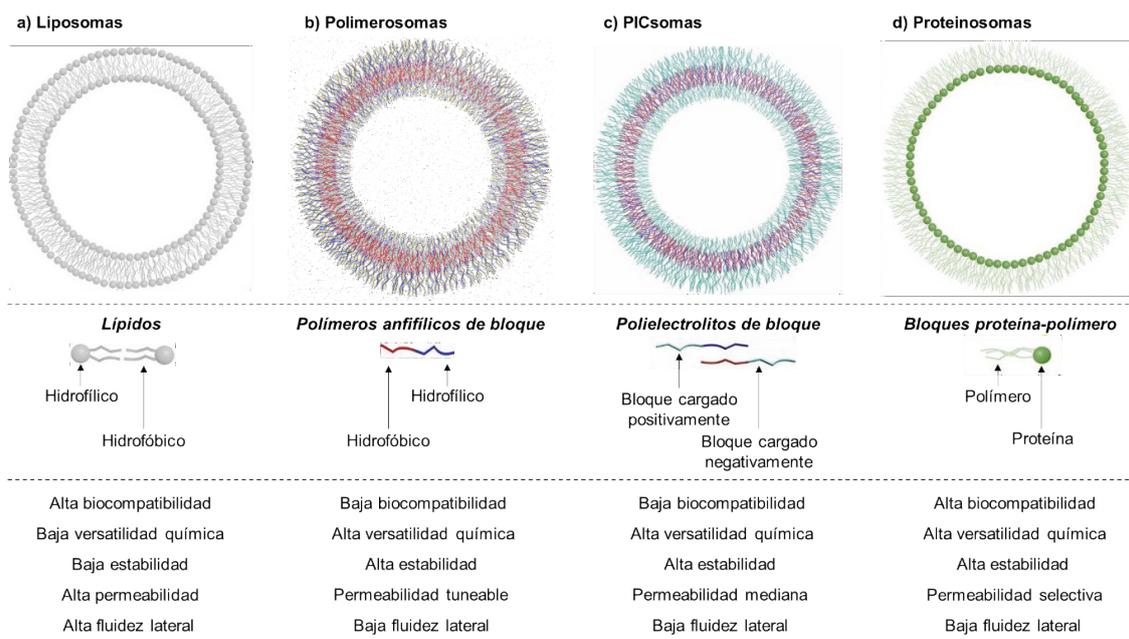


Figura 2. Comparación de los principales andamios para construir vesículas artificiales, representación esquemática de a) liposomas, b) polimerosomas, c) PICsomas y d) proteinosomas, junto con un esquema simplificado de sus respectivos bloques de construcción, un ejemplo de grupos funcionales comunes utilizados para construir las vesículas, y sus principales propiedades, ventajas y desventajas.

la bicapa. Las propiedades de la vesícula dependen de las características de los polielectrolitos utilizados en su construcción, tales como su carga, tamaño molecular y polidispersidad. Los PICsomas han sido utilizados en varias aplicaciones como en suministro controlado de medicamentos y nanoreactores, debido a sus propiedades únicas y la adaptabilidad de su estructura y funcionalidad.^[19d, 19m, 21-22]

Proteinosomas. Son vesículas construidas por una monocapa de proteínas conjugadas o bien de elementos proteína-polímero con cavidades interiores hidrofílicas (Figura 2d). Su composición permite obtener una membrana químicamente versátil, con permeabilidad selectiva y alta eficiencia de encapsulamiento.^[11m, 23] Estas propiedades han hecho aumentar su uso en el campo de la química biológica para la construcción de protocélulas basadas en Proteinosomas en el campo del origen de la vida y química biológica.^[11m, 21]

Recientemente, el interés en mimetizar la compleja sincronización observada en la naturaleza ha desembocado en el uso de vesículas artificiales para estudiar procesos compartimenta-

lizados de transferencia y conversión de energía. Aun así, en el campo de FA en la mayoría de los casos los ejemplos reportados solo llevan a cabo una de las transformaciones, como la captura de luz, la transferencia de protones a través de membranas, o una de las medias reacciones, es decir, oxidación o reducción del agua, o reducción de CO₂, pero haciendo uso de reactivos sacrificiales. El acoplamiento de ambas medias reacciones para producir sistemas fotocatalíticos que utilicen la oxidación del agua y la reducción de CO₂ ha sido un reto importante escasamente resuelto.^[3c, 3d, 4a, 24]

Sistemas para estudiar la transferencia de electrones, protones y energía a través de la membrana

Durante los últimos años, se han reportado distintos sistemas basados en vesículas artificiales aplicados al estudio de transferencia de electrones, protones y energía a través de sus membranas (Figura 3a).^[14, 25] Estos sistemas se consideran modelos fundamentales para la investigación de separación y transfe-

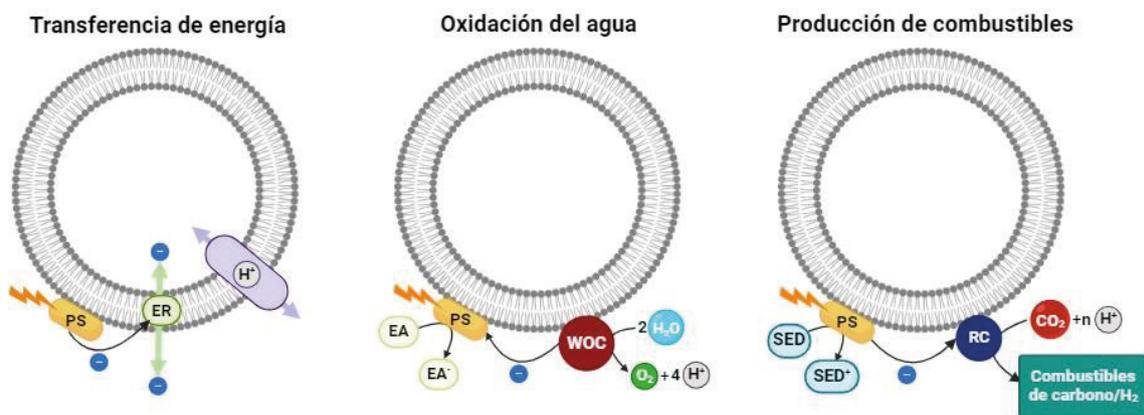


Figura 3. Representación simplificada de la aplicación de sistemas basados en vesículas artificiales para el estudio de procesos relacionados con la fotosíntesis artificial.

rencia de carga a través de membranas, siendo esta una parte crucial en la fotosíntesis artificial. Entre todos los sistemas vesiculares analizados, los liposomas destacan como los más usados para la transferencia de carga y energía. Este hecho se atribuye a los ejemplos pioneros reportados entre las décadas de los 70 y los 90 por los grupos de J. M. Lehn,^[25a] M. Calvin,^[26] F. Toda,^[27] N. Toshihiko,^[28] J. H. Fendler,^[29] A. L. Moore y T. A. Moore.^[25b, 25c] Dichos estudios demostraron la capacidad de las vesículas artificiales para almacenar energía lumínica y convertirla en energía química, demostrando que la transferencia de electrones a través de una membrana artificial era posible y que incluso podía acoplarse a la generación de gradientes de protones. Específicamente, el primer estudio que evidenció la transferencia de electrones inducida por la luz a través de la membrana en un liposoma se publicó en 1977 por el grupo de Lehn. En su investigación, utilizaron 2-metilo-1,4-naftoquinona como transportador de electrones a través de las membranas,^[25c] empleando ditionito de sodio o ácido ascórbico como agentes reductores y ferricianuro de potasio como agente oxidante, con ambas fases (reductora y oxidante) separadas por la membrana del liposoma. Con este sistema observaron la reducción del ferricianuro a ferrocianuro a 420 nm confirmando el transporte de electrones a través de la membrana mediante los portadores de electrones, siendo la velocidad de transporte más alta en el sistema formado por el ditionito de sodio como agente reductor y 2-metilo-1,4-naftoquinona como transportador. Un año más tarde, Calvin y su grupo lograron llevar a cabo una reacción de oxidación-reducción fotosensible a través de dos compartimentos independientes separados por las membranas de un liposoma, permitiendo así que los electrones y protones se transfirieran a través de la membrana. Concretamente, lograron la reducción fotosensible de viológeno de metilo en el exterior del liposoma, gracias a la transferencia de electrones derivados de la extinción oxidativa del fotosensibilizador ruteno(III) tris-(2,2'-bipiridiná) mediante ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), realizada en el interior del liposoma.^[26b]

Otro estudio destacado fue realizado por el grupo de Moore a finales de los 90, en el cual lograron generar un gradiente de pH entre el interior y exterior de un liposoma, acoplado a la transferencia de electrones a través de la membrana. En particular, diseñaron un centro reactivo basado en una tríada (CPQ) formada por un donador de electrones (caroteno, C), un aceptor de electrones (naftoquinona, Q) y un fotosensibilizador (porfirina, P), junto con una quinona (Q), ambos incorporadas en el interior de la bicapa lipídica del liposoma. Al excitarse, CPQ produce un potencial de reducción en la superficie exterior del liposoma y, simultáneamente, un potencial de oxidación cerca de la superficie interior, generando así un potencial redox. Esta diferencia de potencial induce a la quinona a oscilar entre sus estados oxidado y reducido, lo que se traduce en el transporte de protones a través de la membrana, con la generación concomitante de un gradiente de pH, alcanzando un rendimiento cuántico de 0,004.^[25b] Un año después, el mismo grupo demostró que podía aprovechar el gradiente de protones producidos por su tríada CPQ para generar ATP, incorporando previamente una F_0F_1 -ATP sintasa en la membrana del liposoma, logrando esta vez un rendimiento cuántico del 7%.^[25c] Tras estos estudios pioneros, F. Mavelli *et al.* informaron sobre la reconstitución de un centro de reacción fotosintético de *R. sphaeroides* dentro de una vesícula unilamellar gigante para la creación de un gradiente de protones impulsado por la luz a través de la reducción y protonación de quinona, induciendo gradientes de pH y potencial electroquímico.^[25a, 30] Estos estudios iniciales demostraron el potencial de las vesículas artificiales para

almacenar energía luminosa en la generación de gradientes de protones (energía química).

Más recientemente, los grupos de M. Ohba,^[31] A. Ikeda,^[32] S. Bonnet,^[33] J. N. Butt, E. Reisner y L. J. C. Jeuken demostraron la transferencia de energía eficiente a través de membranas lipídicas de liposomas y proteoliposomas (liposomas que incorporan una proteína integrada en su membrana), que han continuado siendo los tipos de vesículas artificiales más usados para estudiar la transferencia de electrones,^[14a, 14e, 34] protones,^[30] o energía a través de membranas artificiales.^[31-33, 33d] Entre todos los ejemplos, S. Bonnet y su grupo desarrollaron un sistema bioinspirado en el fotosistema I (PSI) basado en un cromóforo de oligofluoreno autoensamblado en un liposoma. Este cromóforo puede absorber la luz, transmitiendo la energía fotolumínica a la eosina Y, un colorante comúnmente empleado para la transferencia de electrones en estudios fotocatalíticos de reducción de protones y CO_2 . Después de esta transferencia de energía, se produce una transferencia de electrones del dador de electrones EDTA a la eosina Y previamente excitada (extinción reductiva), recreando sintéticamente la función de PSI (Figura 4a).^[33a] Un ejemplo más reciente de transferencia de electrones fotoinducida en un liposoma fue publicado por los grupos de J. N. Butt, E. Reisner y L. J. C. Jeuken, quienes diseñaron un sistema biohíbrido compuesto por fotosensibilizadores basados en nanomateriales gráficos de carbono dopados con nitrógeno "*graphitic nitrogen-doped carbon dots*" y un proteoliposoma formado por la integración de una proteína de transferencia de electrones transmembrana icosa-hemo (MtrCAB)^[34-35] aislada de *Shewanella oneidensis* MR-1 en una membrana de liposoma. En este sistema biohíbrido los centros de Fe(III) de los grupos hemo se reducen a Fe(II) en presencia de EDTA como dador de electrones y bajo radiación de luz visible, debido a la extinción reductiva de los "*carbon dots*" por parte del EDTA, y la posterior transferencia de los electrones de los "*carbon dots*" reducidos a los grupos hemo de la proteína transmembrana. Para demostrar el transporte de electrones a través de la membrana hacia el compartimento interno de los liposomas, se encapsuló el cromóforo rojo reactivo 120 ("*reactive red*" RR120),^[14e] o una enzima reductora del N_2O (N_2OR).^[14a] En el primer caso, la fotoreducción del MtrCAB permitió el transporte de electrones hacia el espacio interno con el concomitante "*bleaching*" de la banda característica del RR120 a 539 nm.^[14e] De igual manera, la fotoreducción de MtrCAB en proteoliposomas que contienen la enzima N_2OR permitió la reducción del gas de efecto invernadero N_2O a N_2 por la enzima encapsulada tras la transferencia de electrones.^[14a]

Por otro lado, al enfocarnos en los sistemas basados en polimerosomas, podemos observar que estos empezaron a ganar atención a partir de 2000.^[4a, 19f, 25f, 36] En el año 2000, W. Meier y su grupo prepararon un polimerosoma a partir de un polímero anfifílico de bloque, en el cual incorporaron una proteína de transmembrana, la porina bacteriana OmpF, para controlar la permeabilidad del polimerosoma. Con este sistema híbrido, los investigadores fueron capaces de demostrar la transferencia de protones e incluso la difusión de pequeñas moléculas como iones, nutrientes o antibióticos a través de la membrana.^[37] En la misma línea, el grupo de U. Schwaneberg reportaron un polimerosoma capaz de transportar protones gracias a la incorporación de la misma porina OmpF.^[38] En otro ejemplo, los grupos de Y. Zheng y Y. Zhou demostraron que los polimerosomas basados en polímeros hiper-ramificados pueden usarse como compartimentos para la captación de luz. Mostraron una eficiencia del 80 % en la transferencia de energía entre el dador 4-cloro-7-nitro-2,1,3-benzodiazol (NBD-Cl), encapsulado en el compartimento interno de la vesícula, y el aceptor rodamina B

(RB), anclado en la superficie de las vesículas funcionalizadas con α -ciclodextrina.^[36] En otro ejemplo, Thordarsen *et al.* diseñaron un sistema fotosintético-respiratorio híbrido capaz de convertir energía lumínica en energía química almacenada en un polimerosoma mediante la transferencia de electrones y protones a través de la membrana. Este sistema híbrido se basa en un polimerosoma basado en un copolímero de bloque de poliestireno-ácido poliacrílico, una terpiridina de rutenio(II) y un citocromo *c* oxidasa. Específicamente, el complejo de rutenio actúa como fotosensibilizador, mientras que el citocromo *c* es una proteína utilizada como transportador de electrones. Este es el primer ejemplo en el cual se crea un gradiente de protones gracias a la reconstitución de una cadena transportadora de electrones en un polimerosoma.^[39] Otros ejemplos incluyen la transferencia de electrones impulsada por la luz a través de membranas poliméricas en proteíno-polimerosomas, donde se han reconstituido centros de reacción fotosintéticos naturales en la membrana.^[13d, 19f, 40]

Finalmente, las vesículas poliméricas también han sido exploradas para estudiar la síntesis de ATP en compartimentos artificiales. En 2005, el grupo de C. D. Montemagno fue pionero al reportar la síntesis fotoinducida de ATP en un polimerosoma. Específicamente, Montemagno y su equipo prepararon un polimerosoma basado en el polímero anfifílico de bloque [poli(2-etilo-2-oxazolino)-*b*-poli(dimetilsiloxano)-*b*-poli(2-etilo-2-oxazolino)] (PEtOz-PDMS-PEtOz), con un espesor de 4 nm.^[41] En este polimerosoma, reconstruyeron simultáneamente la bacteriorodopsina y la ATP sintasa, ya que la bacteriorodopsina actúa como una bomba de protones cuando se ilumina. Por ende, al ser iluminada, genera un gradiente de protones que produce la energía suficiente para la síntesis de ATP a partir de ADP y fosfato inorgánico en la ATP sintasa.^[41] Siguiendo una estrategia similar, el grupo de T. Vidakovic-Koch reportó la regeneración de ATP impulsada por la luz en vesículas poliméricas híbridas hechas de poli(dimetilsiloxano)-poli(óxido de etileno) (PDMS-g-PEO) y copolímeros de bloque de polibutadieno-poli(óxido de etileno) (PBd-PEO) (Figura 3d). Los autores reconstituyeron la bacteriorodopsina (BR) y la ATP sintasa F_0F_1 en cuatro tipos de vesículas diferentes: i) liposomas de fosfatidilcolina (PC), ii) vesículas poliméricas híbridas de lípido PC/PDMS-g-PEO, iii) vesículas híbridas de lípido PC/PBd-PEO, y iv) polímero híbrido PDMS-g-PEO/PBd-PEO; demostrando la producción de ATP impulsada por la luz en todos los casos. Cabe destacar que, a pesar de que se produjo una mayor cantidad de ATP en los liposomas de PC (100 %) y las vesículas híbridas lípido/polímero (98 y 92 %, respectivamente) en comparación con las de PDMS-g-PEO/PBd-PEO (54 %), las vesículas de PDMS-g-PEO/PBd-PEO mostraron una mayor estabilidad con una actividad prolongada en el tiempo (80 % de actividad restante después de 42 días), gracias a la mayor estabilidad mecánica proporcionada por la membrana polimérica.^[25f] Este trabajo destaca el efecto de la naturaleza de la membrana en la estabilidad del sistema y duración de su actividad. Mientras que en este estudio las vesículas que contienen lípidos son más activas para la producción de ATP, son menos estables. La sustitución del liposoma por un polimerosoma en este caso mejora la estabilidad del sistema en general.

Sistemas fotocatalíticos compartimentalizados para la oxidación del agua

El interés en replicar la compartimentalización y separación de reacciones, características de la fotosíntesis natural, nos ha llevado a explorar el uso de vesículas artificiales para transformaciones relacionadas con la fotosíntesis artificial. Como

resultado, diversos sistemas basados en vesículas han sido investigados para llevar a cabo la oxidación del agua (OA, Figura 3b).^[3c, 3d, 25g, 42] En 2014, el grupo de L. Sun y B. König reportaron el primer estudio de un sistema fotocatalítico basado en un liposoma para la oxidación del agua. Los autores modificaron el fotosensibilizador (PS, de las siglas en inglés) de rutenio(II) tris(bipiridina) $[Ru(bpy)_3]^{2+}$, y los catalizadores de OA (WOCs, de las siglas en inglés) $[Ru(bda)(pic)_2]$ (*bda* = 2,2'-bipiridina-6,6'-dicarboxilato, *pic* = 4-metilpiridina) y $[RuL(pic)_3]$ (H_2L = ácido 2,6-piridindicarboxílico) con cadenas alquílicas hidrofóbicas para ensamblarlos en la membrana de un liposoma para formar un sistema para la oxidación del agua fotocatalítica, usando persulfato de sodio como aceptor de electrones (Figura 4b). Este sistema demostró OA eficiente (hasta 394 TON O_2) bajo irradiación con luz visible (455 nm) incluso a bajas concentraciones de catalizador (500 nM), lo que no es posible en condiciones homogéneas. Esto se racionalizó por el aumento en la concentración local del catalizador y fotosensibilizador, así como la menor distancia promedio para la transferencia de electrones entre ellos.^[42a] Siguiendo una estrategia similar, el grupo de S. Bonnet reportó un estudio mecanístico de liposomas para la OA fotocatalítica formados por $[Ru(bpy)_3]^{2+}$ junto con $[Ru(bda)(pic)_2]$ modificados con cadenas alquílicas hidrofóbicas. Mediante estudios cinéticos, los autores mostraron una mayor eficiencia en la reducción del Ru-PS oxidado (después del "oxidative quenching") por transferencia de electrones desde el Ru-WOC, que es el paso determinante de la velocidad de reacción (RDS) en condiciones homogéneas, y observaron que, por el contrario, en los liposomas la extinción oxidativa ("oxidative quenching") del Ru-PS excitado por el aceptor de electrones de sacrificio es el RDS, lo que aumentó la estabilidad general del sistema.^[42b] Otro ejemplo similar fue reportado por el grupo de S. Murata en 2016 con liposomas donde sólo el catalizador de OA estaba autoensamblado en la membrana, mientras que el fotosensibilizador y el aceptor de electrones estaban en solución homogénea en el exterior de la membrana. Específicamente, prepararon diversos complejos de rutenio como catalizadores para la oxidación del agua, mientras que emplearon el complejo de rutenio $[Ru(bpy)_3]^{2+}$ y persulfato de sodio como fotosensibilizador y aceptor de electrones, respectivamente. Con este sistema, lograron una producción de oxígeno con un TOF de 39,1 h^{-1} , superando los resultados alcanzados con el mismo sistema en condiciones homogéneas. Este resultado se atribuyó a una posible mayor concentración de especies reactivas del catalizador en el estado estacionario cuando el este se encontraba anclado en las membranas del liposoma.^[42c]

Sistemas fotocatalíticos compartimentalizados para la reducción del agua o de CO_2

El potencial de las vesículas artificiales en el desarrollo de sistemas compartimentalizados fotocatalíticos para transformaciones reductivas también ha suscitado atención (Figura 3c). Recientemente, se han reportado sistemas basados en membranas para la producción fotocatalítica de hidrógeno (PFH),^[43] reducción de CO_2 (RCO_2),^[24, 44] y transformaciones orgánicas.^[14a, 25i]

Respecto a la producción de hidrógeno, el grupo de B. König reportó un trabajo pionero en el que se desarrollaron membranas autoensambladas funcionalizadas para PFH al embeber $[Ru(bpy)_3]^{2+}$ como fotosensibilizador, junto a $[Co(dm-gH)_2(py)Cl]$ (*dm-gH* = dimetilgloximato) como catalizador para la producción de H_2 modificados con cadenas hidrofóbicas en membranas fosfolípicas (Figura 4c).^[43c] Como se ha observado en otros sistemas vesiculares, el autoensamblaje permite la proximidad entre el PS y el catalizador, lo que resulta en

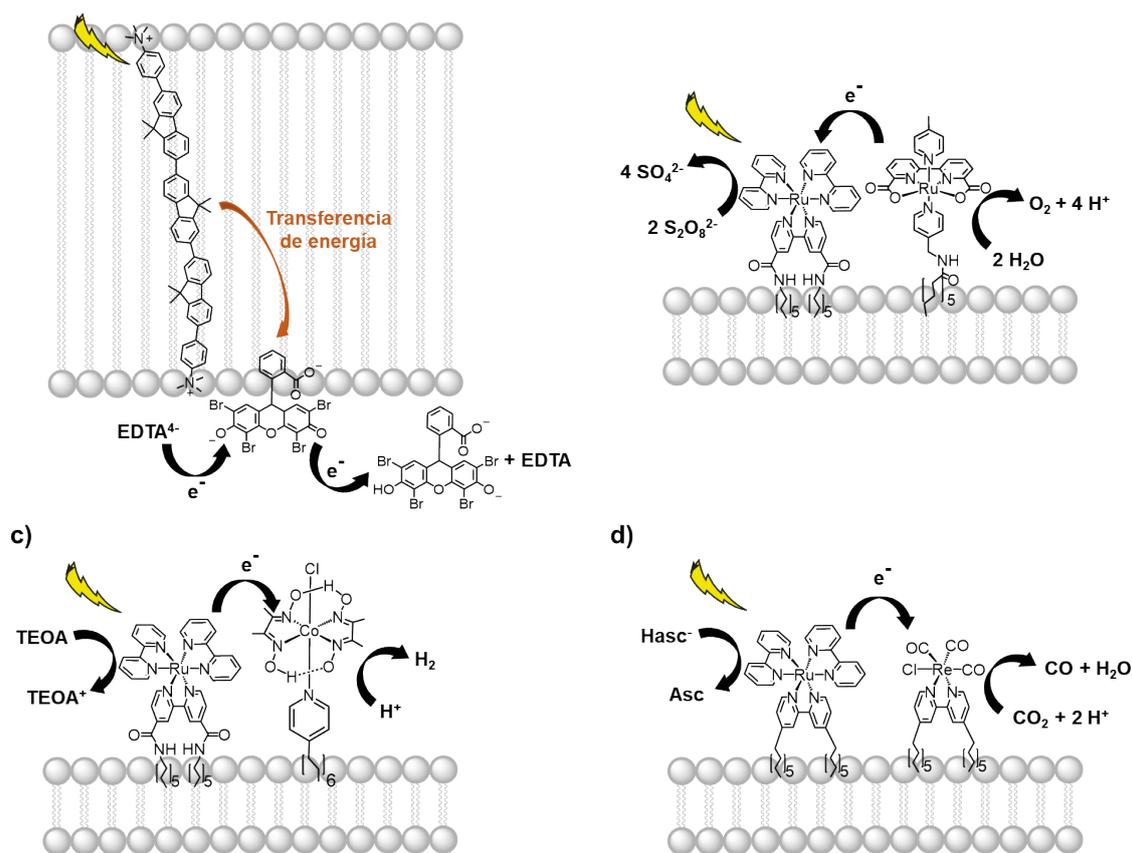


Figura 4. Ejemplos de sistemas fotocatalíticos compartimentalizados seleccionados para a) transferencia de energía y electrones [Reproducido de Ref.[33a]], b) oxidación del agua fotocatalítica [Reproducido de Ref.[42a]], c) producción fotocatalítica de hidrógeno [Reproducido de Ref.[43c]], y d) reducción fotocatalítica de CO_2 [Reproducido de Ref. [44a]].

TON más elevados en disoluciones acuosas, de hasta 165 en condiciones óptimas. La actividad catalítica mejorada sugiere que la reorganización dinámica dentro de la membrana promueve la PFH.^[43c] Con una estrategia similar Sun, König *et al* reportaron el uso de un catalizador para PFH hidrofílico biomimético de una subunidad de la [FeFe]-hidrogenasa ensamblado en la membrana de un liposoma, con el mismo PS. Del mismo modo que en el caso anterior, la disposición de los complejos (fotosensibilizador y catalizador de reducción) en la membrana favorece la proximidad entre los mismos, lo que resulta en un incremento del TON de 6 a 12 veces mayor comparando con el mismo sistema libre en disolución.^[43b] En otro ejemplo Bonnet *et al.* utilizaron un complejo alquilado de cobalto(III) polipiridilo en liposomas con $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ como PS para la producción fotocatalítica de hidrógeno. Estudios mecanísticos de este sistema determinaron que la actividad estaba limitada por la descomposición del PS.^[43a]

Por otra parte, para la reducción de CO_2 el primer ejemplo fue el reportado por el grupo de S. Murata, donde se utilizó $[\text{Ru}(\text{dtb})(\text{bpy})_2]^{2+}$ como PS y $[\text{Re}(\text{dtb})(\text{CO})_3\text{Cl}]$ (dtb = 4,4'-ditridecyl-2,2'-bipyridil) (dtb = 4,4'-ditridecyl-2,2'-bipyridyl) como catalizador de reducción incorporados en liposomas para la fotoreducción de CO_2 a CO (TON 190) en medio acuoso utilizando ácido ascórbico como dador de electrones (Figura 4d). El uso de liposomas permite que el catalizador de renio, que es insoluble en agua, pueda utilizarse en medio acuoso.^[44a] En un estudio posterior, Bonnet *et al* demostraron que la longitud de las cadenas hidrofóbicas en los complejos de Ru y Re inmovilizado en la membrana tiene un efecto en la actividad fotocatalítica.

Este estudio demostró que el uso de cadenas más cortas se traducía en mayor movilidad de las moléculas en la membrana lipídica, lo que promueve el transporte más rápido de electrones entre los complejos de Ru y Re.^[44b]

Con una estrategia similar, los grupos de Bonnet, Hammarström y Reisner reportaron el uso de liposomas con $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ como PS y una porfirina de Co: 5,10,15,20-(tetra-N-hexadecil-4-piridinio)-porfirin cobalto(III), CoPc) modificados con cadenas alquílicas para la fotoreducción de CO_2 y usando ácido ascórbico como dador de electrones. En comparación con el mismo sistema en solución, este sistema mostró una actividad fotocatalítica 5 veces mayor (TON 1456) y una selectividad 7 veces mayor (77 %) para la reducción de CO_2 a CO. El estudio de los mecanismos moleculares demostró que esta mejora en la actividad catalítica y la selectividad se debía a que el tiempo de vida del estado de separación de cargas del PS se duplica gracias a la inmovilización en el liposoma, lo que incrementa en 9 veces la rapidez de la transferencia de electrones al CoPc en el liposoma.^[24] Más recientemente Takizawa *et al* reportaron el uso de liposomas que contenían un fotosensibilizador catiónico y otro aniónico de iridio ($[\text{Ir}_1^+]$ y $[\text{Ir}_2^-]$, respectivamente) anclados a la membrana junto a un complejo de $[\text{Re}(\text{dtb})(\text{CO})_3\text{Cl}]$ embebido la membrana para la fotoreducción de CO_2 a CO. La clave de este sistema es la transferencia energética del estado de triplete del $[\text{Ir}_2^-]$ al $[\text{Ir}_1^+]$ debido a la interacción Coulombica entre ellos para generar el estado triplete excitado del $[\text{Ir}_1^+]$, que reduce el complejo $[\text{Re}(\text{dtb})(\text{CO})_3\text{Cl}]$ para generar la especie catalíticamente activa.^[45] Finalmente, otros sistemas compartimentalizados más complejos incluyendo enzimas y rutas metabólicas.

cas enteras en vesículas artificiales para la conversión del CO₂ han sido reportados.^[44c, 46]

Sistemas biomiméticos basados en vesículas para la fotosíntesis artificial completa

Combinar en una misma vesícula artificial reacciones de reducción y oxidación, con sus respectivos centros catalíticos, representa uno de los mayores desafíos para lograr desarrollar sistemas fotocatalíticos para la fotosíntesis artificial completa (de OA a RCO₂). Por este motivo, según nuestro conocimiento, sólo existe un ejemplo en el que se utiliza un liposoma para la separación fotocatalítica de agua a O₂ y H₂ ("water splitting" en inglés), utilizando los electrones derivados de la oxidación del agua para producir H₂, publicado en 2021. Específicamente, W. Lin y C. Wang *et al.* reportaron la integración de nano-láminas de MOFs para la producción de hidrógeno y MOFs para la oxidación del agua en liposomas para separar ambas reacciones, al mismo tiempo que lograr su sincronización y sinergia para la producción fotocatalítica de O₂ y H₂ ("water splitting"). El MOF para la reacción de evolución de hidrógeno estaba construido por motivos de porfirina de Zn (como fotosensibilizador) y porfirina de Pt (como catalizador de reducción), ambas funcionalizadas con grupos hidrofóbicos para facilitar su incorporación en la bicapa lipídica. Por otro lado, el MOF para la oxidación del agua consistía en un fotosensibilizador de [Ru(bpy)₃]²⁺ y un complejo de bipyridina de Ir como catalizador de oxidación del agua, ambos ubicados en el interior hidrofílico de la membrana del liposoma. Con este sistema obtuvieron un rendimiento cuántico del 1,5 ± 1,0 % para "water splitting", con esta alta incertidumbre debida al rápido movimiento de los electrones entre los centros reactivos de ambos procesos.^[47]

Sin embargo, según nuestro conocimiento, no existe ningún ejemplo de sistema basado en vesículas artificiales que logre separar la oxidación del agua de la reducción de CO₂, y más específicamente, ningún sistema reportado para la completa compartimentalización de la oxidación del agua con la reducción del agua o de CO₂ basado en polímerosomas.^[3c, 4a, 18, 19, 25g]

Conclusiones

La importancia y ubicuidad de las membranas en las transformaciones biológicas, y la necesidad de comprender mejor su función en diferentes procesos bioquímicos, han promovido el desarrollo de vesículas artificiales para realizar transformaciones químicas. En los últimos años, las vesículas artificiales han atraído una atención especial para desarrollar sistemas fotocatalíticos para la fotosíntesis artificial, con el objetivo de imitar la disposición estructural y el confinamiento de pigmentos y centros de reacción en la membrana tilacoidal en los cloroplastos. Sin embargo, a partir de los estudios previamente reportados resumidos en esta revisión, inferimos que desarrollar tales sistemas fotocatalíticos para la fotosíntesis artificial compartimentalizada es un reto debido a los diferentes aspectos que necesitan ser considerados: i) elección del material y composición de la membrana y sus propiedades, ii) selección cuidadosa de catalizadores, fotosensibilizadores y mediadores, iii) separación de los centros de reacción en cada lado de la membrana, iv) separación de carga eficiente, v) asegurar una transferencia de electrones unidireccional, vi) selectividad de los productos de reacción durante la catálisis, vii) concentración de catalizadores, fotosensibilizadores y mediadores dentro de la membrana, entre otros. Un control estricto y un diseño racional de estos pa-

rámetros es crucial para la estabilidad general y el rendimiento de los sistemas fotocatalíticos.

Por ejemplo, una característica común de los estudios previamente reportados es que la inmovilización de catalizadores y fotosensibilizadores en membranas biomiméticas aumenta su estabilidad, y la proximidad entre los componentes de reacción, lo que puede llevar a un aumento en las velocidades de transferencia de electrones entre ellos. Dada la complejidad en el desarrollo de estos sistemas, no sorprende que, a pesar de los avances en los estudios de transferencia de energía, protones y electrones, así como el progreso en la oxidación fotocatalítica del agua, la reducción de CO₂, o la evolución fotocatalítica de hidrógeno, un sistema basado en vesículas que abarque el proceso completo de oxidación del agua a reducción de CO₂ no se haya logrado. Por lo tanto, el desarrollo y estudio de estos sistemas son necesarios para establecer las bases para su avance en el campo de la producción compartimentalizada de combustibles y productos químicos solares. Estos sistemas permiten estudiar el acoplamiento de dos semi-reacciones redox en un solo sistema y ofrecen una plataforma para desarrollar soluciones que mitigen la recombinación de carga y las reacciones inversas, un desafío clave en el desarrollo de sistemas fotocatalíticos para fotosíntesis artificial. Además, estos sistemas ofrecen la ventaja de actuar como modelos simplificados para estudiar procesos endémicos a las membranas, como la transferencia de protones y electrones a través de la membrana, que a menudo son menos accesibles en sistemas biológicos naturales. O bien como modelo para investigar la dinámica de separación de carga en interfaces, con implicaciones en otras áreas, como el estudio de la dinámica de carga en materiales semiconductores.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades de España por el contrato "Ramón y Cajal" ref: RYC2021-030935-I (C.C.), por el Proyecto de Generación de Conocimiento PID2022-142975OA-I00 (C.C.), y la Acreditación de Excelencia Severo (CEX2019-000925-S, MIC/AEI). Al programa H2020 COFUND Martí Franquès por una beca de doctorado 2023PMF-PIPF-43 (E.E.), y al programa de master erasmus mundus SuCat por una beca de master 619844 – EMJMD (A.B.). También agradecemos a la Fundación ICIQ y al Programa CERCA por una beca de doctorado 2023-09 EP (L.V.).

Bibliografía

- [1] a) W. Lubitz, H. Ogata, O. Rüdiger, E. Reijerse, *Chem. Rev.* **2014**, *114*, 4081-4148; b) X. Fang, S. Kalathil, E. Reisner, *Chem. Soc. Rev.* **2020**, *49*, 4926-4952.
- [2] a) W. Lubitz, D. A. Pantazis, N. Cox, *FEBS Lett* **2023**, *597*, 6-29; b) N. Cox, D. A. Pantazis, W. Lubitz, *Annu Rev Biochem* **2020**, *89*, 795-820; c) N. Nelson, A. Ben-Shem, *Nat. Rev. Mol. Cell Biol* **2004**, *5*, 971-982; d) G. G. B. Tcherkez, G. D. Farquhar, T. J. Andrews, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2006**, *103*, 7246-7251; e) T. J. Erb, J. Zarzycki, *Curr. Opin. Biotechnol.* **2018**, *49*, 100-107; f) R. E. Blankenship, *Molecular mechanisms of photosynthesis*, John Wiley & Sons, **2021**.
- [3] a) T. M. S. Chang, *Artif Cells Nanomed Biotechnol* **2019**, *47*, 997-1013; b) K. Y. Lee, S.-J. Park, K. A. Lee, S.-H. Kim, H. Kim, Y. Meroz, L. Mahadevan, K.-H. Jung, T. K. Ahn, K. K. Parker, K. Shin, *Nat. Biotechnol.* **2018**, *36*, 530-535; c) N. Sinambela, J. Bösking, A. Abbas, Pannwitz, *ChemBioChem* **2021**, *22*, 3140-3147; d) A. Pannwitz, D.M. Klein, S. Rodríguez-Jiménez, C. Casadevall, H. Song, E. Reisner, L. Hammarström, S. Bonnet,

- Chem. Soc. Rev.* **2021**, *50*, 4833-4855; e) A. Lopez, M. Fiore, *Life* **2019**, *9*, 49; f) M. Li, D. C. Green, J. L. R. Anderson, B. P. Binks, S. Mann, *Chem. Sci.* **2011**, *2*, 1739-1745; g) M.B. C. de Matos, B. S. Miranda, Y. Rizky Nuari, G. Storm, G. Lenewit, R. M. Schifferlers, R. J. Kok, *J Drug Target* **2019**, *27*, 681-689; h) R. Wick, M. I. Angelova, P. Walde, P. L. Luisi, *Chem Biol* **1996**, *3*, 105-111; i) K. Shin, *Emerg. Top. Life. Sci.* **2019**, *3*, 573-578; j) P. Walde, S. Ichikawa, *Biomol Eng* **2001**, *18*, 143-177; k) M. Yoshimoto, *Methods Mol Biol* **2017**, *1504*, 9-18.
- [4] a) L. Velasco-García, C. Casadevall, *Communications Chemistry* **2023**, *6*, 263; b) B. Zhang, L. Sun, *Chem. Soc. Rev.* **2019**, *48*, 2216-2264; c) J.-N. Beller, M. Beller, *Faraday Discuss.* **2019**, *215*, 9-14; d) D. Gust, T. A. Moore, *Science* **1989**, *244*, 35-41; e) P. P. Infelta, M. Graetzel, J. H. Fendler, *J. Am. Chem. Soc.* **1980**, *102*, 1479-1483; f) N. S. Lewis, *Nature Nanotechnology* **2016**, *11*, 1010-1019; g) A. C. Carla Casadevall, Zoel Codolà, Ferran Acuña-Parés y Julio Lloret-Fillol *An. Quim.* **2016**, *112*, 133-141.
- [5] a) T. Keijer, T. Bouwens, J. Hessels, Joost N. H. Reek, *Chem. Sci.* **2021**, *12*, 50-70; b) M. Hansen, S. Troppmann, B. König, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 58-72.
- [6] H. S. Shafaat, J. Y. Yang, *Nat. Catal.* **2021**, *4*, 928-933.
- [7] a) B. Chen, W. Chen, M. Wang, C. Peng, *Adv. Mater. Interfaces* **2023**, *10*, 2201971; b) S. R. V. Parambil, S. Karmakar, F. A. Rahimi, T. K. Majji, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2023**, *15*, 27821-27831.
- [8] a) G. Meng, L. Zhen, S. Sun, J. Hai, Z. Zhang, D. Sun, Q. Liu, B. Wang, *Journal of Materials Chemistry A* **2021**, *9*, 24365-24373; b) W.-K. Han, Y. Liu, X. Yan, Y. Jiang, J. Zhang, Z.-G. Gu, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202208791; c) G. C. Dubed Bandomo, S. S. Mondal, F. Franco, A. Bucci, V. Martin-Diaconescu, M. A. Ortuño, P. H. van Langevelde, A. Shafir, N. López, J. Lloret-Fillol, *ACS Cat.* **2021**, *11*, 7210-7222; d) L. Gutiérrez, V. Martín-Diaconescu, C. Casadevall, F. Oropeza, V. A. de la Peña O'Shea, J. Meng, M. A. Ortuño, J. Lloret-Fillol, *ACS Cat.* **2023**, *13*, 3044-3054; e) X.-X. Yang, Y.-R. Du, X.-Q. Li, G.-Y. Duan, Y.-M. Chen, B.-H. Xu, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2023**, *15*, 31533-31542; f) R. Wang, Y. Yuan, K.-T. Bang, Y. Kim, *ACS Mater. Au* **2023**, *3*, 28-36; g) L. Ran, Z. Li, B. Ran, J. Cao, Y. Zhao, T. Shao, Y. Song, M. K. H. Leung, L. Sun, J. Hou, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 17097-17109; h) J. Wang, W. Zhu, F. Meng, G. Bai, Q. Zhang, X. Lan, *ACS Cat.* **2023**, *13*, 4316-4329.
- [9] a) M. Á. Navarro, D. Cosano, A. Bhunia, L. Simonelli, V. Martín-Diaconescu, F. J. Romero-Salguero, D. Esquivel, *Sustain. Energy Fuels* **2022**, *6*, 398-407; b) C. Casadevall, *Water* **2022**, *14*, 371.
- [10] a) T. Schlossarek, V. Stepanenko, F. Beuerle, F. Würthner, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202211445; b) R. Ham, C. J. Nielsen, S. Pullen, J. N. H. Reek, *Chem. Rev.* **2023**, *123*, 5225-5261; c) M. Bonchio, T. Gobatto, G. A. Volpato, A. Sartorel, *Chem. Sci.* **2023**; d) T. Gobatto, F. Rigodanza, E. Benazzi, P. Costa, M. Garrido, A. Sartorel, M. Prato, M. Bonchio, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 14021-14025; e) R. B. Park, J. Biggins, *Science* **1964**, *144*, 1009-1011.
- [11] a) H. Jia, P. Schwillie, *Curr. Opin. Biotechnol.* **2019**, *60*, 179-187; b) S. Jeong, H. T. Nguyen, C. H. Kim, M. N. Ly, K. Shin, *Adv. Funct. Mater.* **2020**, *30*, 1907182; c) G. Wang, K. Castiglione, *Catalysts* **2019**, *9*, 12; d) T. M. Chang, *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol* **2007**, *35*, 545-554; e) S. S. Mansy, J. W. Szostak, *Cold Spring Harb Symp Quant Biol* **2009**, *74*, 47-54; f) Y. Mulla, A. Aufderhorst-Roberts, G. H. Koenderink, *Phys Biol* **2018**, *15*, 041001; g) A. Salehi-Reyhani, O. Ces, Y. Elani, *Exp Biol Med (Maywood)* **2017**, *242*, 1309-1317; h) *Nature* **2010**, *465*, 422-424; i) Y. Elani, R. V. Law, O. Ces, *Nat. Comm.* **2014**, *5*, 5305; j) P. Walde, *Bioessays* **2010**, *32*, 296-303; k) X. Huang, M. Li, D. C. Green, D. S. Williams, A. J. Patil, S. Mann, *Nat. Comm.* **2013**, *4*, 2239; l) E. Rideau, R. Dimova, P. Schwillie, F. R. Wurm, K. Landfester, *Chem. Soc. Rev.* **2018**, *47*, 8572-8610; m) D. Gaur, N. C. Dubey, B. P. Tripathi, *Adv. Colloid Interface Sci.* **2022**, *299*, 102566.
- [12] T. Osaki, S. Takeuchi, *Anal. Chem.* **2017**, *89*, 216-231.
- [13] a) Y. Namiki, T. Fuchigami, N. Tada, R. Kawamura, S. Matsunuma, Y. Kitamoto, M. Nakagawa, *Acc. Chem. Res.* **2011**, *44*, 1080-1093; b) J. Li, X. Wang, T. Zhang, C. Wang, Z. Huang, X. Luo, Y. Deng, *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences* **2015**, *10*, 81-98; c) C. G. Palivan, R. Goers, A. Najer, X. Zhang, A. Car, W. Meier, *Chem. Soc. Rev.* **2016**, *45*, 377-411; d) J. M. Domingues, C. S. Miranda, N. C. Homem, H. P. Felgueiras, J. C. Antunes, *Biomedicines* **2023**, *11*, 1862.
- [14] a) S. E. H. Piper, C. Casadevall, E. Reisner, T. A. Clarke, L. J. C. Jeuken, J. Gates, J. N. Butt, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2022**, *61*, e202210572; b) N. Sinambela, R. Jacobi, D. Hernández-Castillo, E. Hofmeister, N. Hagmeyer, B. Dietzek-Ivanšić, L. González, A. Pannwitz, *Mol. Syst. Des. Eng.* **2023**, *8*, 842-852; c) R. Jacobi, D. Hernández-Castillo, N. Sinambela, J. Bösking, A. Pannwitz, L. González, *J. Phys. Chem. A* **2022**, *126*, 8070-8081; d) R. E. P. Nau, J. Bösking, A. Pannwitz, *ChemPhotoChem* **2022**, *6*, e202200158; e) A. Stikane, E. T. Hwang, Emma V. Ainsworth, S. E. H. Piper, K. Critchley, J. N. Butt, E. Reisner, L. J. C. Jeuken, *Faraday Discuss.* **2019**, *215*, 26-38.
- [15] T. He, Z. Zhao, R. Liu, X. Liu, B. Ni, Y. Wei, Y. Wu, W. Yuan, H. Peng, Z. Jiang, Y. Zhao, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 6057-6066.
- [16] a) T. Wegner, R. Laskar, F. Glorius, *Curr. Opin. Chem. Biol.* **2022**, *71*, 102209; b) T. Trantidou, M. Friddin, Y. Elani, N. J. Brooks, R. V. Law, J. M. Seddon, O. Ces, *ACS Nano* **2017**, *11*, 6549-6565.
- [17] M. Alavi, N. Karimi, M. Safaei, *Adv Pharm Bull* **2017**, *7*, 3-9.
- [18] J. Gaitzsch, X. Huang, B. Voit, *Chem. Rev.* **2016**, *116*, 1053-1093.
- [19] a) L. Klermund, S. T. Poschenrieder, K. Castiglione, *ACS Cat.* **2017**, *7*, 3900-3904; b) C. LoPresti, H. Lomas, M. Massignani, T. Smart, G. Battaglia, *J. Mater. Chem.* **2009**, *19*, 3576-3590; c) B. M. Discher, Y. Y. Won, D. S. Ege, J. C. Lee, F. S. Bates, D. E. Discher, D. A. Hammer, *Science* **1999**, *284*, 1143-1146; d) S. Hu, J. Yan, G. Yang, C. Ma, J. Yin, *Macromol. Rapid Commun.* **2022**, *43*, 2100791; e) K. Y. Lee, S.-J. Park, K. A. Lee, S.-H. Kim, H. Kim, Y. Meroz, L. Mahadevan, K.-H. Jung, T. K. Ahn, K. K. Parker, *Nat. Biotechnol.* **2018**, *36*, 530-535; f) Y. Zhu, S. Cao, M. Huo, J. C. M. van Hest, H. Che, *Chem. Sci.* **2023**, *14*, 7411-7437; g) J.-F. Le Meins, O. Sandre, S. Lecommandoux, *Eur. Phys. J. E* **2011**, *34*, 1-17; h) M. Garni, S. Thamboo, C. A. Schoenenberger, C. G. Palivan, *Biochim Biophys Acta Biomembr* **2017**, *1859*, 619-638; i) H. Gumz, T. H. Lai, B. Voit, D. Appelhans, *Polym. Chem.* **2017**, *8*, 2904-2908; j) L. Klermund, K. Castiglione, *Bioproc. Biosyst. Eng.* **2018**, *41*, 1233-1246; k) V. Pata, N. Dan, *Biophys. J.* **2003**, *85*, 2111-2118; l) T. S. Schwarzer, L. Klermund, G. Wang, K. Castiglione, *Nanotechnology* **2018**, *29*, 44LT01; m) X. Wang, C. Yao, G. Zhang, S. Liu, *Nat. Comm.* **2020**, *11*, 1524; n) S. Yorulmaz Avsar, M. Kyropoulou, S. Di Leone, C. Schoenenberger, W. P. Meier, C. G. Palivan, *Front Chem* **2018**, *6*, 645.
- [20] a) F. Ghorbanizamani, H. Moulahoum, F. Zihnioglu, S. Timur, *Biomaterials Science* **2020**, *8*, 3237-3247; b) E. Lorenceau, A. S. Utada, D. R. Link, G. Cristobal, M. Joanicot, D. A. Weitz, *Langmuir* **2005**, *21*, 9183-9186; c) S. Emir Dilemiz, M. Tavafoghi, N. R. de Barros, M. Kanada, J. Heinämäki, C. Contag, S. K. Seidlits, N. Ashammakhi, *Mater. Chem. Front.* **2021**, *5*, 6672-6692; d) J. Su, H. Chen, Z. Xu, S. Wang, X. Liu, L. Wang, X. Huang, *ACS Applied Materials & Interfaces* **2020**, *12*, 41079-41087; e) S. Eglı, M. G. Nussbaumer, V. Balasubramanian, M. Chami, N. Bruns, C. Palivan, W. Meier, *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, *133*, 4476-4483.

- [21] L. Heuberger, M. Korpidou, O. M. Eggenberger, M. Kyropoulou, C. G. Palivan, *Int. J. Mol. Sci.* **2022**, *23*, 5718.
- [22] a) A. Kishimura, *Polym. J.* **2013**, *45*, 892-897; b) A. Goto, Y. Anraku, S. Fukushima, A. Kishimura, *Polymers* **2023**, *15*, 1368; c) S. Fujita, Y. Motoda, T. Kigawa, K. Tsuchiya, K. Numata, *Biomacromolecules* **2021**, *22*, 1080-1090; d) M. Hori, H. Cabral, K. Toh, A. Kishimura, K. Kataoka, *Biomacromolecules* **2018**, *19*, 4113-4121; e) U. Kwolek, K. Nakai, A. Pluta, M. Zatorska, D. Wnuk, S. Lasota, J. Bednar, M. Michalik, S. I. Yusa, M. Kepczynski, *Colloids Surf B Biointerfaces* **2017**, *158*, 658-666.
- [23] a) Y. Li, L. Liu, H. Zhao, *Journal of Colloid and Interface Science* **2022**, *608*, 2593-2601; b) R. Catania, J. Machin, M. Rappolt, S. P. Muench, P. A. Beales, L. J. C. Jeuken, *Macromolecules* **2022**, *55*, 3415-3422.
- [24] S. Rodríguez-Jiménez, H. Song, E. Lam, D. Wright, A. Pannwitz, S. A. Bonke, J. J. Baumberg, S. Bonnet, L. Hammarström, E. Reisner, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 9399-9412.
- [25] a) J. J. Grimaldi, S. Boileau, J.-M. Lehn, *Nature* **1977**, *265*, 229-230; b) G. Steinberg-Yfrach, P. A. Liddell, S.-C. Hung, A. L. Moore, D. Gust, T. A. Moore, *Nature* **1997**, *385*, 239-241; c) G. Steinberg-Yfrach, J.-L. Rigaud, E. N. Durantini, A. L. Moore, D. Gust, T. A. Moore, *Nature* **1998**, *392*, 479-482; d) B. Limburg, E. Bouwman, S. Bonnet, *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 17128-17131; e) S. Bhosale, A. L. Sisson, P. Talukdar, A. Fürstenberg, N. Banerji, E. Vauthey, G. Bollot, J. Mareda, C. Röger, F. Würthner, N. Sakai, S. Matile, *Science* **2006**, *313*, 84-86; f) C. Kleineberg, C. Wölfer, A. Abbasnia, D. Pischel, C. Bednarz, I. Ivanov, T. Heitkamp, M. Börsch, K. Sundmacher, T. Vidaković-Koch, *ChemBioChem* **2020**, *21*, 2149-2160; g) A. Kobayashi, S.-y. Takizawa, M. Hirahara, *Coord. Chem. Rev.* **2022**, *467*, 214624; h) N. Sharma, D. A. Jose, N. Jain, S. Parmar, A. Srivastav, J. Chawla, A. R. Naziruddin, C. R. Mariappan, *Langmuir* **2022**, *38*, 13602-13612; i) M. Wang, C. Wölfer, L. Otrin, I. Ivanov, T. Vidaković-Koch, K. Sundmacher, *Langmuir* **2018**, *34*, 5435-5443; j) N. Zhang, S. Trépout, H. Chen, M.-H. Li, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 288-299.
- [26] a) W. E. Ford, J. W. Otvos, M. Calvin, *Proceedings of the National Academy of Sciences* **1979**, *76*, 3590; b) W. E. Ford, J. W. Otvos, M. Calvin, *Nature* **1978**, *274*, 507-508; c) M. Calvin, *Acc. Chem. Res.* **1978**, *11*, 369-374; d) M. Calvin, *J. Membr. Sci.* **1987**, *33*, 137-149.
- [27] Y. Sudo, F. Toda, *Nature* **1979**, *279*, 807-809.
- [28] M. Taku, I. Kengo, T. Keisuke, H. Kunitoshi, N. Toshihiko, *Chem. Lett.* **1980**, *9*, 1009-1012.
- [29] K. Kurihara, J. H. Fendler, *J. Am. Chem. Soc.* **1983**, *105*, 6152-6153.
- [30] E. Altamura, F. Milano, R. R. Tangorra, M. Trotta, O. H. Omar, P. Stano, F. Mavelli, *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **2017**, *114*, 3837-3842.
- [31] T. Hatae, T. Koshiyama, M. Ohba, *Chem. Lett.* **2017**, *46*, 756-759.
- [32] D. Antoku, S. Satake, T. Mae, K. Sugikawa, H. Funabashi, A. Kuroda, Ikeda, *Chem. Eur. J.* **2018**, *24*, 7335-7339.
- [33] a) A. Pannwitz, H. Saaring, N. Beztsinna, X. Li, M. A. Siegler, S. Bonnet, *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 3013-3018; b) S. H. Askes, A. Bahreman, S. Bonnet, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, *53*, 1029-1033; c) S. H. C. Askes, M. S. Meijer, T. Bouwens, I. Landman, S. Bonnet, *Mol.* **2016**, *21*, 1460; d) S. H. C. Askes, M. Kloz, G. Bruylants, J. T. M. Kennis, S. Bonnet, *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2015**, *17*, 27380-27390.
- [34] S. E. H. Piper, M. J. Edwards, J. H. van Wonderen, C. Casadevall, A. Martel, L. J. C. Jeuken, E. Reisner, T. A. Clarke, J. N. Butt, *Front. Microbiol.* **2021**, *12*.
- [35] H. Zhang, C. Casadevall, J. H. van Wonderen, L. Su, J. N. Butt, E. Reisner, L. J. C. Jeuken, *Adv. Funct. Mater.* **2023**, *33*, 2302204.
- [36] H. Li, Y. Liu, T. Huang, M. Qi, Y. Ni, J. Wang, Y. Zheng, Y. Zhou, D. Yan, *Macromol. Rapid Commun.* **2017**, *38*, 1600818.
- [37] a) C. Nardin, S. Thoeni, J. Widmer, M. Winterhalter, W. Meier, *Chem. Commun.* **2000**, 1433-1434; b) W. Meier, C. Nardin, M. Winterhalter, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2000**, *39*, 4599-4602.
- [38] R. Rodríguez-García, M. Mell, I. López-Montero, J. Netzel, T. Hellweg, F. Monroy, *Soft Matter* **2011**, *7*, 1532-1542.
- [39] D. Hvasanov, J. R. Peterson, P. Thordarson, *Chem. Sci.* **2013**, *4*, 3833-3838.
- [40] L. Kuang, T. L. Olson, S. Lin, M. Flores, Y. Jiang, W. Zheng, J. C. Williams, J. P. Allen, H. Liang, *J. Phys. Chem. Lett.* **2014**, *5*, 787-791.
- [41] H.-J. Choi, C. D. Montemagno, *Nano Lett.* **2005**, *5*, 2538-2542.
- [42] a) M. Hansen, F. Li, L. Sun, B. König, *Chem. Sci.* **2014**, *5*, 2683-2687; b) B. Limburg, J. Wermink, S. S. van Nielsen, R. Kortlever, M. T. M. Koper, E. Bouwman, S. Bonnet, *ACS Cat.* **2016**, *6*, 5968-5977; c) Y. Sato, S.-y. Takizawa, S. Murata, *J. Photoch. Photobio. A.* **2016**, *321*, 151-160; d) H. Song, A. Amati, A. Pannwitz, S. Bonnet, L. Hammarström, *J. Am. Chem. Soc.* **2022**, *144*, 19353-19364.
- [43] a) D. M. Klein, L. Passerini, M. Huber, S. Bonnet, *ChemCatChem* **2022**, *14*, e202200484; b) S. Troppmann, E. Brandes, H. Motschmann, F. Li, M. Wang, L. Sun, B. König, *Eur. J. Inorg. Chem.* **2016**, *2016*, 554-560; c) S. Troppmann, B. König, *Chem. Eur. J.* **2014**, *20*, 14570-14574; d) Y. Higashida, S.-y. Takizawa, M. Yoshida, M. Kato, A. Kobayashi, *ACS Appl. Mater. Interfaces* **2023**, *15*, 27277-27284.
- [44] a) N. Ikuta, S.-y. Takizawa, S. Murata, *Photochemical & Photobiological Sciences* **2014**, *13*, 691-702; b) D. M. Klein, S. Rodríguez-Jiménez, M. E. Hoefnagel, A. Pannwitz, A. Prabhakaran, M. A. Siegler, T. E. Keyes, E. Reisner, A. M. Brouwer, S. Bonnet, *Chem. Eur. J.* **2021**, *27*, 17203-17212; c) T. E. Miller, T. Beynton, T. Schwander, C. Diehl, M. Girault, R. McLean, T. Chotel, P. Claus, N. S. Cortina, J.-C. Baret, T. J. Erb, *Science* **2020**, *368*, 649-654.
- [45] S.-y. Takizawa, T. Okuyama, S. Yamazaki, K.-i. Sato, H. Masai, T. Iwai, S. Murata, J. Terao, *J. Am. Chem. Soc.* **2023**, *145*, 15049-15053.
- [46] a) T. Schwander, L. Schada von Borzyskowski, S. Burgener, N. S. Cortina, T. J. Erb, *Science* **2016**, *354*, 900-904; b) B. Yang, S. Li, W. Mu, Z. Wang, X. Han, *Small* **2023**, *19*, 2201305.
- [47] H. Hu, Z. Wang, L. Cao, L. Zeng, C. Zhang, W. Lin, C. Wang,



Laura Velasco-García

Institute of Chemical Research of Catalonia (ICIQ) / Department of Physical and Inorganic Chemistry, University Rovira i Virgili (URV).

C-e: lvelasco@iciq.es
ORCID: 0000-0002-3908-4032

Laura Velasco comenzó su carrera académica en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB), donde completó una doble titulación en Física y Química (2022). Posteriormente, realizó un Máster en Síntesis, Catálisis y Diseño Molecular en la URV en colaboración con el ICIQ (2023), y el TFM centrado en el desarrollo de nuevos complejos para la reducción fotocatalítica de CO₂ en el grupo de la Dra. Carla Casadevall. Actualmente, es estudiante de doctorado en el mismo grupo en el ICIQ y la URV trabajando en el desarrollo de microreactores poliméricos para la producción de combustibles solares, bajo la dirección de la Dra. Casadevall y codirección del Prof. Emilio Palomares.



Edelman J. Espinoza-Suárez

Department of Physical and Inorganic Chemistry, University Rovira i Virgili (URV), C/ Marcel·lí Domingo, 1, 43007, Tarragona (Spain).

C-e: edelmanjose.espinoza@urv.cat
ORCID: 0009-0001-5141-7426

Edelman J. Espinoza Suárez se graduó con honores del grado en Química en la Universidad de Costa Rica. Realizó sus estudios de master en el programa Erasmus Mundus Joint Master Degree in Sustainable Catalysis, en la Universidad de Poitiers (Francia) y la Universidad de Aveiro (Portugal), junto con una estancia de investigación en fotocatalisis de metales no nobles en el Leibniz Institute for Catalysis in Rostock (Alemania). Comprometido con el avance de tecnologías químicas sostenibles, actualmente cursa sus estudios de doctorado orientados hacia el desarrollo de sistemas fotocatalíticos compartimentalizados en la Universitat Rovira i Virgili bajo supervisión de la Dra. Carla Casadevall



Akhmet Bekaliyev

Department of Physical and Inorganic Chemistry, University Rovira i Virgili (URV).

C-e: akhmet.bekaliyev@estudiants.urv.cat
ORCID: 0009-0005-7616-3142

Akhmet Bekaliyev comenzó su trayectoria académica en la Universidad Nazarbayev en Astaná, Kazajistán, donde obtuvo una licenciatura en Ingeniería Química y de Materiales en 2022. Luego, avanzó en sus estudios a través del prestigioso programa de Erasmus Mundus Joint Master en Catálisis Sostenible de la Universidad de Poitiers (Francia) y la Universidad Rovira i Virgili (España), donde ha realizado el segundo año del máster y el TFM en el grupo de la Dra. Carla Casadevall trabajando en el desarrollo de nuevos complejos porfirina para la reducción fotocatalítica de CO₂. En octubre de 2024 Akhmet continuará como estudiante de doctorado en el mismo grupo trabajando en el desarrollo de nuevos catalizadores heterogeneizados para fotosíntesis artificial.



Carla Casadevall

Department of Physical and Inorganic Chemistry, University Rovira i Virgili (URV), / Institute of Chemical Research of Catalonia (ICIQ).

C-e: ccasadevall@iciq.es
ORCID: 0000-0002-3090-4938

Carla Casadevall comenzó su carrera académica en la Universidad de Girona, donde completó su Grado en Química (2013) y Máster en Catálisis Avanzada y Modelización Molecular (2014). Luego se trasladó al ICIQ para realizar un doctorado (2019) en sistemas homogéneos para fotosíntesis artificial y fotocatalisis. Posteriormente, se unió a la Universidad de Cambridge (UK) como investigadora postdoctoral BBSRC y más tarde como Marie Skłodowska-Curie Individual Fellow, trabajando en sistemas biohíbridos para fotosíntesis artificial. En octubre de 2022, regresó a España y comenzó su carrera independiente con una "La Caixa Junior Leader Incoming Fellowship" en el ICIQ y la URV, donde actualmente es investigadora Ramón y Cajal y líder de grupo, trabajando en el desarrollo de microreactores poliméricos para producir combustibles y productos químicos.

Implementación de una asignatura de comunicación y divulgación de la ciencia para titulaciones universitarias de ciencia e ingeniería

Implementation of a course on science and technology communication and outreach for science and engineering degrees

Gabriel Pinto Cañón, Victoria Alcázar Montero

E.T.S. de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid.

Grupo Especializado en Didáctica e Historia, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química.

PALABRAS CLAVE:

Artículo científico
Competencias
Comunicación oral y escrita
Divulgación
Enfoques ciencia-
tecnología-sociedad
Fuentes de información
Historia de la ciencia
Seudociencia

RESUMEN:

Se recogen las características de la asignatura "Comunicación y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología", implementada en 2017 y desarrollada desde entonces, en los Másteres Universitarios de Ingenierías Química e Industrial, impartidos en la Universidad Politécnica de Madrid. Se explican sus objetivos, resultados de aprendizaje, temario y criterios de evaluación, finalizando con una reflexión sobre los resultados alcanzados, según encuestas de los alumnos y la práctica docente. Se tratan temas variados, relacionados con el lenguaje de la ciencia y la tecnología (expresión de resultados, vocabulario, fuentes de información...), la forma de comunicar y difundir en esos ámbitos (artículos, libros, normas, patentes, blogs...), aspectos sobre su divulgación (publicaciones, ferias, eventos para niños...) y ejemplos de hitos en historia de la ciencia. Todo esto, junto con ejemplos de enfoques CTS (Ciencia-Tecnología-Sociedad), configura una asignatura optativa, que ofrece vías para la formación en competencias de comunicación, y que se considera que pueden ofrecerse (con sus peculiaridades) en otras titulaciones.

KEYWORDS:

Competences
History of science
Information sources
Oral communication
Outreach
Pseudoscience
Science-technology-society
approaches
Scientific paper
Written communication

ABSTRACT:

The characteristics of the subject "Communication and Outreach of Science and Technology," implemented in 2017 and developed since then, are outlined in the Master's Degrees in Industrial and Chemical Engineering of the *Universidad Politécnica de Madrid*. Its objectives, learning outcomes, syllabus, and evaluation criteria are explained, along with a reflection on the results achieved based on student surveys and teaching practices. The subject covers a wide range of topics related to the language of science and technology (expression of results, vocabulary, information sources, etc.), ways to communicate and disseminate in these fields (articles, books, standards, patents, blogs, etc.), and aspects of their outreach (fairs, exhibitions, events for children, museums, etc.) and milestones in the history of science. All of this, along with examples of STS (Science-Technology-Society) approaches, shapes an elective subject that provides pathways for developing communication skills. The idea is to serve as an inspiration for the design of analogous subjects in other degrees.

1. Introducción

En el curso 2017/2018 se implantó, en la Universidad Politécnica de Madrid, la asignatura "Comunicación y Divulgación de la Ciencia y la Tecnología" de 3 créditos ECTS. Desde entonces, se viene impartiendo, dentro de los estudios de Máster Universitario en Ingeniería Industrial (con carácter habilitante) y de Máster Universitario en Ingeniería Química. En ambos casos, el máster tiene una duración de dos cursos académicos, con 120 créditos ECTS en total, y la citada materia forma parte de la oferta de las conocidas como "asignaturas de competencias", todas ellas optativas. Se puede elegir, indistintamente, tanto en el primer curso como en el segundo. Es una asignatura que, a

priori, suele ser sorpresiva para los alumnos cuando la ven en el plan de estudios, pues es de las pocas que no se refieren a aspectos meramente científicos o técnicos. En este trabajo, se presentan las características principales de esta materia, sobre la que se han realizado algunas mejoras con el tiempo y se exponen los resultados alcanzados y perspectivas de futuro.

2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es exponer los resultados alcanzados durante los siete cursos académicos en los que se ha impartido la asignatura citada, con idea de difundirlo entre otros colegas que planteen emprender acciones similares

en diversas titulaciones. En el contexto de los correspondientes planes de estudio, y según figura en la guía de aprendizaje, la materia contribuye al desarrollo de las siguientes competencias en los estudiantes:

- Poseer habilidad para comunicar eficazmente.
- Adquirir conocimiento de temas contemporáneos.
- Saber comunicar sus conclusiones y los conocimientos y razones últimas que las sustentan, tanto a públicos especializados como a no especializados.
- Poseer las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser, en gran medida, auto-dirigido o autónomo.
- Los resultados de aprendizaje concretos que se pretenden conseguir con los estudiantes, son:
- Conocer la aportación de la ciencia y la ingeniería al desarrollo de la humanidad.
- Organizar la información.
- Conocer la influencia de los descubrimientos científicos y técnicos en la transformación de las sociedades.
- Capacidad para comunicar ideas de forma clara y sin ambigüedades
- Habilidad para explicar de manera comprensible el conocimiento científico a audiencias no especializadas.
- Ampliar sus destrezas comunicativas, entendiendo éstas, como la capacidad para transmitir conocimientos, expresar ideas y argumentos de manera clara, rigurosa y convincente, tanto de forma oral como escrita, utilizando los recursos gráficos y los medios necesarios.

3. Descripción de la asignatura

3.1. Contenidos y metodología

En esta asignatura optativa, diseñada para alumnos que poseen ya una titulación de Grado en ingeniería o en ciencias, se abordan cuestiones relacionadas con la comunicación (difusión) y divulgación tanto de la ciencia como de la tecnología. Así, se tratan aspectos relacionados con:

- (i) el lenguaje científico (expresión de resultados experimentales, uso de unidades adecuadas, fuentes de información...);
- (ii) la comunicación y la difusión en áreas STEAM (por las siglas en inglés de ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas) a través de publicaciones (artículos, pósters, patentes, normas...), y la comunicación oral (presentaciones de trabajos fin de carrera, en congresos...);
- (iii) la divulgación de la ciencia y la tecnología (publicaciones informativas, ferias, conferencias, exposiciones...).

Para ello, se exponen aspectos teóricos de estos temas y, además, se realizan ejercicios prácticos mediante los que el alumnado deberá aplicar tanto las habilidades de comunicación como competencias específicas adquiridas en el Grado y en el propio Máster. El temario es el siguiente:

- Bloque 1. El lenguaje de la ciencia y la tecnología.
 - 1.1. El lenguaje científico y tecnológico.
 - 1.2. Expresión de resultados experimentales.
 - 1.3. Significado y vocabulario en torno a un resultado emblemático de la ciencia: *la tabla periódica de los elementos*.
 - 1.4. Fuentes de información: libros, revistas especializadas, portales de Internet y otras.
 - 1.5. Búsqueda y gestión de documentación científica y técnica.
 - 1.6. Introducción a enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad.

- Bloque 2. Comunicación y difusión de la ciencia y la tecnología.
 - 2.1. Elaboración de publicaciones científicas y de ingeniería: libro, artículo en revista especializada, póster, monografía e informe.
 - 2.2. Comunicación de trabajos en reuniones científicas: introducción, estudio de casos y presentaciones orales.
 - 2.3. Introducción a la normalización.
 - 2.4. Introducción a las patentes.
 - 2.5. Otras formas de comunicar ciencia: blogs.
- Bloque 3. Divulgación de la ciencia y la tecnología.
 - 3.1. Ferias científicas y exposiciones para todos los públicos.
 - 3.2. Otras vías de divulgación: libro, artículo, infografía, vídeo, blog...
 - 3.3. Eventos científicos para niños y jóvenes.
 - 3.4. Juguetes e ingenios científicos: de la curiosidad a su uso formativo.
 - 3.5. Los museos como fuentes de recursos para la divulgación y la difusión.
 - 3.6. Algunos hitos en historia de la ciencia y de la técnica.

Como se observa, el contenido está estructurado en tres bloques, en los que se tratan, de forma consecutiva: características generales del lenguaje empleado en ciencia y tecnología, formas de abordar la comunicación y difusión de la ciencia y la tecnología, y cómo divulgar (y por tanto comunicar a públicos no necesariamente expertos) estas áreas.

Para abordar el contenido descrito, la estrategia metodológica fundamental empleada en el aula es la exposición de aspectos teóricos —en 14 clases (una por semana) de 2 horas de duración cada una—, combinada con discusiones de los temas y de los trabajos prácticos realizados por los alumnos, que se detallan en el siguiente apartado.

Entre las fuentes utilizadas para preparar los contenidos, destacan un buen número de páginas Web, los libros de Davis *et al.*^[1] y de Onieva Morales,^[2] y otros recursos.^[3]

3.2. Criterios de evaluación

De acuerdo con la normativa de la Universidad, se realiza en la asignatura el sistema de evaluación distribuida o progresiva, que consiste en:

- Realización y presentación de trabajos individuales. Suponen un 60% del peso de la nota (los detalles específicos se actualizan en la plataforma Moodle). Consisten esencialmente en realizar un portfolio de aprendizaje a lo largo del curso, por parte de cada alumno, en el que deben reflexionar sobre lo tratado en las clases, desde una perspectiva personal y con aportaciones propias. Se valora especialmente la actualización y la creatividad, así como el rigor y el estilo de la edición. También es el medio a través del cual los alumnos incluyen la resolución de algunos ejercicios y casos que se van proponiendo. A través de la plataforma, los profesores van comentando a los alumnos las impresiones sobre el desarrollo del trabajo.
- Realización y presentación grupal de trabajos. Con un 40% del peso de la nota, los detalles específicos también se actualizan en la plataforma Moodle. Desde hace cuatro cursos, esta tarea consiste esencialmente en elaborar, en grupos de tres alumnos, un trabajo con estructura de artículo científico y presentar una ponencia oral, con estructura de simposio, el último día de clase. A su vez, dos alumnos actúan como editores y presidentes de sesión, respectivamente. Como se da relevancia a la forma de comunicar, el contenido puede ser muy variado: temática desa-

rollada en el trabajo fin de máster, una cuestión de ciencia o ingeniería, una biografía, etc. Los alumnos, aparte de escribir un artículo, hacen de revisores, coordinados por los editores. Al final, debe entregarse un ejemplar de la “revista” editada. El desarrollo de los trabajos (artículos y presentaciones) lo valoran profesores y alumnos, a través de rúbricas consensuadas.

Si un alumno no participa o no realiza satisfactoriamente las actividades de evaluación, puede realizar un examen final (convocatoria extraordinaria) de la asignatura.

3.3. Temas tratados

Sin pretender abordarlo de forma exhaustiva, sí se considera conveniente destacar algunas de las ideas que se intentan transmitir a través del desarrollo de los distintos temas. Se podrá observar que, aparte de discutir aspectos generales de comunicación y divulgación de ciencia y tecnología, se enfocan algunos aspectos específicos considerando las titulaciones implicadas.

3.3.1. Contenidos del Bloque 1: El lenguaje de la ciencia y la tecnología

Una vez presentada la asignatura, al tratar en el tema 1.1 el lenguaje científico y tecnológico, se realiza una introducción al conocido como *Proceso de Bolonia*.^[4] Se pretende que los alumnos entiendan la evolución en los últimos años de las titulaciones universitarias —incluyendo la que cursan y aspectos como lo que significa el crédito ECTS—, la relevancia de la calidad y la acreditación, la promoción de la dimensión europea de la educación superior, la formación para el aprendizaje a lo largo de la vida (con la importancia que conlleva en ello la formación en competencias) y la consideración de los estudiantes como colaboradores activos. También, se presenta lo que se va a tratar en la materia, con casos. Así, se introduce la figura de Pilar Careaga Basabe (1908-1993), la primera ingeniera titulada de España, como ejemplo histórico de formación “en competencias” —aunque no de forma tan sistemática como en la actualidad, cuando en 1929 tuvo que conducir un tren como parte de las prácticas del último curso de su carrera de ingeniería industrial—. Con una ilustración (Figura 1), se expone cómo se trata su vida para que los niños y niñas accedan a su conocimiento (ejemplo de divulgación).

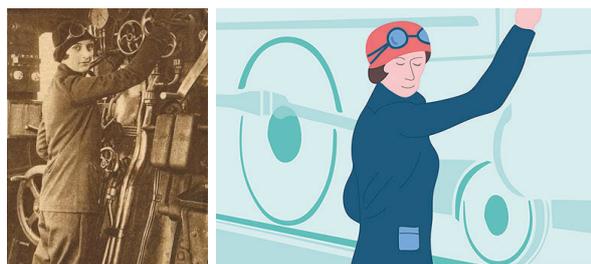


Figura 1. Pilar Careaga, primera española titulada en ingeniería, en fotografía publicada en la revista Estampa en 1929, y en la web “No me cuenten cuentos” (ver Ref. [5]) de relatos infantiles protagonizados por 100 mujeres españolas de vidas inspiradoras.

También se introducen ejemplos de vocabulario actual sobre la temática, explicando lo que significa educación o áreas STEM y STEAM, la descripción del ámbito y actores de la comunicación científica (ver Figura 2) —que incluye, aparte de a los propios científicos, a departamentos de comunicación y divulgación de universidades y empresas, periodistas científicos, etc.—,^[6] la búsqueda de datos a través de la web. Se incluyen nociones generales sobre la peculiaridad del lenguaje científico

como son: escritura científica (características, tecnicismos, palabras de origen griego y latino, abreviaturas...), unidades de medida, nombres y símbolos de unidades, y algunas fuentes de consulta, como la Real Academia Española, la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT) o la Fundación del Español Urgente Fundéu BBVA. Además, el propio desarrollo del tema lleva a comentar aspectos puntuales, como los acortadores de direcciones URL, o el origen de lo que significó la denominación de *Power Point* (se aprecia al presionar sobre las teclas de punto o de coma mientras se expone con este popular programa de presentaciones).

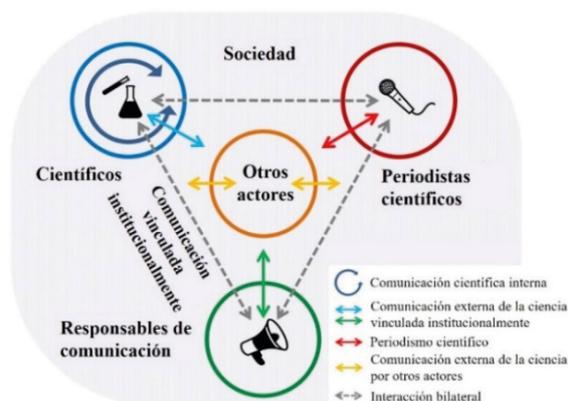


Figura 2. Descripción esquemática del ámbito y actores de la comunicación científica. Traducido por los autores a partir del esquema recogido en la Ref. [7].

En el tema 1.2 se aborda el análisis de cómo la expresión de resultados experimentales se realiza normalmente a través de tablas y gráficas, de forma adecuada.

Por su parte, en el tema 1.3 se introduce un ejemplo emblemático de lo que se trata en el curso, como es el significado y vocabulario en torno a un resultado relevante de desarrollo de la ciencia: *la tabla periódica de los elementos químicos*. [8] Se presenta su historia, destacando el intercambio que ha supuesto de comunicación a través de libros y revistas científicas, como obra colectiva e intergeneracional que es. También se tratan otras cuestiones como la contribución española a su desarrollo y cómo supone un icono cultural.

En el tema 1.4 se muestran ejemplos de las fuentes de información más habituales para la comunicación científica, destacando los libros (historia, características, datos esenciales como el ISBN...) y las revistas especializadas. De estas, se tratan aspectos sobre los artículos científicos, como: origen de las revistas científicas, crecimiento exponencial de publicaciones en los últimos años, proceso editorial —donde se destaca la “evaluación por pares” —, el “efecto Matilda”^[9] como prejuicio en contra de reconocer los logros de científicas, tipos de revistas, *open access*, medidas del impacto de artículos e indicadores de revistas (JCR, SJR, cuartiles, DOI...) y de autores (como el índice H), así como las controversias actuales con las denominadas “revistas depredadoras”^[10,11] Se destaca aquí la importancia de todo esto en la carrera profesional de docentes e investigadores (algo poco conocido por los alumnos). De forma más breve, se introducen otras formas de textos científicos y técnicos, como son: artículo de revisión, portal de internet, informe, tesis, monografía, aportación en congreso, norma técnica y patente. Se termina el tema, discutiendo sobre portales con informaciónseudocientífica.

En el tema 1.5 se explica cómo se puede buscar y gestionar la documentación científica y, finalmente, en el tema 1.6 se

esbozan enfoques Ciencia-Tecnología-Sociedad (C-T-S), para lo que se introducen ejemplos como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), el enfriamiento del agua en recipientes de cerámica porosa (como los populares botijos), el fundamento termoquímico de las calderas de condensación domésticas (y su repercusión para ahorro de energía y disminución de emisiones de CO_2), y el tratamiento de la ciencia en los medios de comunicación.

3.3.2. Contenidos del Bloque 2: Comunicación y difusión de la ciencia y la tecnología

En el bloque 2, se aborda cómo elaborar las publicaciones científicas y de ingeniería, una vez que, en el bloque anterior, se estudiaron sus características. Así, en el tema 2.1 se analiza la elaboración de publicaciones científicas y de ingeniería, destacando el artículo en revistas especializadas. Para ello, se explica lo que significa el modelo IMRAD (por sus siglas en inglés de: introducción, métodos, resultados, y discusión) y cómo es la estructura general de artículo científico —título, autoría y afiliación, resumen, palabras clave, texto principal (contenido IMRAD), tablas y figuras, conclusiones, agradecimientos, referencias y material de soporte (abreviaturas y símbolos, apéndices y material complementario)—. Aparte de todo lo anterior, se da un énfasis especial a la ética en la publicación (plagio, auto-plagio, derechos de autor...) y a la forma de indicar citas y referencias bibliográficas —con ejemplos de gestores bibliográficos—. También se explica en este tema cómo hacer un póster de congreso (por su analogía con el artículo científico) y se destacan otras vías de comunicación como monografías e informes técnicos.

En el tema 2.2 se explica lo que son y cómo se preparan las comunicaciones de trabajos en reuniones científicas. Se tratan aspectos como los objetivos y tipos de estos eventos (congreso, simposio, jornada...), estructura, organización, características y, muy especialmente, cómo se prepara y se realiza una presentación oral (selección de contenidos, diseño, ensayo, puesta en escena...). Esto tiene especial importancia, pues se transmite a los alumnos que es importante no solo para congresos, sino para otras situaciones como su defensa del trabajo fin de máster. Para dar contenido concreto y fomentar la cultura, se ponen ejemplos emblemáticos, como las Conferencias Gordon de EE. UU. y, de forma especialmente intensa por su contexto histórico, las Conferencias Solvay de Física y de Química,^[12,13] que se celebran en Bruselas desde 1911. Estas son un claro ejemplo, también, de historia del desarrollo científico (como fue el caso del nacimiento de la física cuántica) y su contextualización —financiación por el empresario y mecenas Ernest Solvay, interrelación entre científicos de diferentes países como Albert Einstein, Marie Curie o Blas Cabrera, la ciencia en las dos guerras mundiales, el relevo de EE. UU. frente a Europa en la brecha del desarrollo científico, etc.—.

El bloque 2 termina con temas de introducción a la normalización (2.3) y a las patentes (2.4), y otras formas de comunicar ciencia, donde se destacan los *blogs* (2.5).

3.3.3. Contenidos del Bloque 3: Divulgación de la ciencia y la tecnología.

En el bloque 3 se analiza cómo se puede comunicar ciencia y tecnología a públicos no especializados. Tras introducir su importancia y aportar nociones históricas de la divulgación científica,^[14] se tratan estos temas: 3.1 Ferias científicas y exposiciones para todos los públicos, donde se destacan sus objetivos, la metodología y las medidas de seguridad necesarias; 3.2 Otras vías de divulgación (libro, artículo, vídeo, noticia de prensa, *blog*...), resaltando ejemplos como los ilustrados en las Figuras

3 y 4, o las populares infografías de Andy Brunning;^[15] 3.3 Eventos científicos para niños y jóvenes, que conllevan características especiales; 3.4 Juguetes e ingenios científicos, donde se incluyen ejemplos relacionados con la tecnología (pájaro bebedor, *energy stick*, radiómetro de Crookes, pez adivino, etc.); 3.5 Museos como fuentes de recursos para la divulgación y la difusión, destacando ejemplos concretos (incluyendo las correspondientes páginas web); y 3.6 Algunos hitos en la historia de la ciencia y de la técnica. En este último tema se tratan cuestiones que, incluso, varían con los años, según la actualidad (exposiciones, efemérides...). Algunos ejemplos típicos tratados (a veces incluidos en los temas anteriores) son: vida y obra de científicos e ingenieros (incluyendo mujeres como referencias motivadoras), —como Antonio de Ulloa, Andrés Manuel del Río o Marie Curie—, la colección pictórica de Maxam,^[16] y paseos culturales con temática científica por Madrid.^[17]

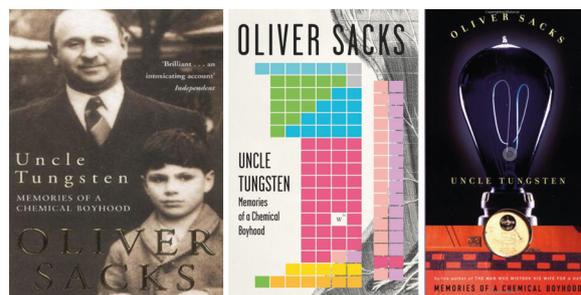


Figura 3. Diferentes portadas del emblemático libro divulgativo, traducido al español como “El tío tungsteno. Recuerdos de un químico precoz” —hubiera sido preferible el término “wolframio” en vez de “tungsteno”—, que permiten discutir diversas cuestiones sobre su apasionante contenido.



Figura 4. Portada de un cómic (Ref. [18]) que explica de forma distendida el fundamento termoquímico de las calderas domésticas de condensación, y sus ventajas económicas y para la sostenibilidad.

4. Resultados

Los alumnos, en general, no se implican de una manera intensa en el desarrollo de la asignatura, pero es comprensible dado el poco tiempo de que disponen por la naturaleza de los estudios que cursan y por el hecho de que muchos están realizando simultáneamente prácticas en empresa, e incluso, trabajan ya como ingenieros.

La percepción general es que hay bastante variabilidad en cuanto al interés, de forma que hay estudiantes que se involucran con especial entusiasmo y otros que, seguramente, consideran la materia únicamente un requisito “fácilmente aprobable” para conseguir 3 créditos ECTS y no le dedican el tiempo necesario. Esta idea se refuerza con el hecho de que, en las encuestas institucionales de los alumnos sobre la asignatura, existe una gran desviación típica en los resultados. En la Tabla 1 se recogen algunos valores de dichas evaluaciones sobre diversos aspectos que se han destacado para los objetivos de este trabajo, para los cuatro últimos cursos. En 2023 la respuesta estuvo limitada a dos alumnos.

Cuestión valorada por los alumnos	Año 2021	Año 2022	Año 2023	Año 2024
No hay solapamiento con contenidos de otras materias	6,4 ± 2,9	8,5 ± 1,6	7,5 ± 1,5	9,2 ± 1,4
El modo de evaluación es adecuado para el tipo de actividad y contenidos	7,8 ± 2,9	7,9 ± 2,6	5,5 ± 2,5	8,4 ± 2,0
La carga de trabajo se adecúa a los créditos asignados	5,8 ± 2,6	5,7 ± 3,1	9,5 ± 0,5	8,8 ± 1,6
Es importante para mi actividad profesional	6,1 ± 2,9	5,6 ± 2,7	7,5 ± 0,5	8,8 ± 1,6
En general, estoy satisfecho con su desarrollo	6,0 ± 2,9	6,7 ± 2,7	6,5 ± 1,5	8,6 ± 1,6
Nº respuestas / nº alumnos totales	16/22	10/19	2/16	14/22

Tabla 1. Valores medios y desviaciones estándar de las respuestas de los alumnos, entre 0 (completamente en desacuerdo) y 10 (completamente de acuerdo), sobre la asignatura.

Como se observa en la Tabla 1, dentro de la respuesta limitada y gran variabilidad encontradas, los alumnos valoran de forma positiva (y de forma creciente con los años) que la asignatura es importante para su actividad profesional y están satisfechos con ella. La “queja” mayor suele ser que implica un “exceso de trabajo” para los créditos que supone. En todo caso, los profesores consideramos que ese trabajo es necesario, para aplicar los conocimientos adquiridos, y sí se corresponde con los créditos ECTS asignados.

Los alumnos agradecen, tanto en comentarios en las encuestas como en conversaciones informales, que la asignatura les aporta contenidos variados e interesantes, con implicaciones en los contenidos de sus titulaciones, aunque también señalan que hay cierto sesgo hacia temas de química. Es cierto que muchos ejemplos son de esta área, dada la experiencia del profesorado que la imparte.

Hasta la fecha, pocos alumnos que cursan los másteres en los que se imparte la asignatura manifiestan que desean emprender carreras investigadoras. Si ese fuera el caso, probablemente la asignatura impactaría más en su formación, dado que hay aspectos como la elaboración de artículos científicos o la presentación de ponencias en congresos, más relacionados en ese ámbito que en carreras profesionales en empresas. Por eso, se insiste con ellos en que lo tratado sirve también para elaboración de otro tipo de documentos escritos y presentaciones orales. De hecho, no es extraño que los alumnos señalen que se les ha pedido entregar trabajos y presentar temas, en cursos anteriores, pero casi ninguno ha sido formado previamente para ello.

Aparte de lo que se refleja meramente en las encuestas, se puede decir que la asignatura está convenientemente implantada, dentro de las materias optativas que facilitan la formación en competencias transversales.

Los alumnos reciben con mucha curiosidad el bloque sobre divulgación. Aunque suelen apreciarlo como algo interesante, y se implican más intensamente en aspectos como la explicación de los juguetes o ingenios científicos, no lo perciben como algo tan relacionado con sus presentes o futuras tareas, como es lo tratado en los dos bloques previos. Pero se les insiste en que, en muchas empresas e instituciones, la labor divulgadora es cada vez más relevante, para acercar la ciencia y tecnología a la ciudadanía.

5. Conclusiones

El hecho de impartir una asignatura de formación en competencias de comunicación para ingenieros en formación, a nivel de Máster, creó inicialmente una incertidumbre e inseguridad en el profesorado encargado de ello, principalmente porque, aun estando involucrado por su experiencia en estos temas, no tenía una formación específica reglada sobre ello. No obstante, des-

de los primeros cursos, se ha ido afianzando tanto el desarrollo de la asignatura como el convencimiento de que es de gran utilidad para los alumnos. Aparte de la variedad de temas y contenidos —como enfoques de tipo Ciencia-Tecnología-Sociedad específicos— para ilustrar lo tratado, se valora el hecho de que, al menos en ciertas partes, los alumnos se evalúan entre ellos. También se destaca que se entiende que, con lo tratado en el curso, los alumnos darán especial valor a aspectos de comunicación (oral y escrita) tanto de su labor presente como de la que desarrollen en su carrera profesional.

La asignatura es una oportunidad para introducir algunos hitos de historia de la ciencia y para abordar ejemplos de información seudocientífica, para los que no suele haber suficiente tiempo en otras asignaturas. Además, permite que los alumnos reconozcan la importancia de la divulgación de contenidos científicos y técnicos para la ciudadanía.

En los próximos cursos, se plantea afinar los contenidos impartidos, incluir más ejemplos prácticos y fomentar una mayor participación de los alumnos, entre otras mejoras.

Todo lo tratado puede ser fuente de inspiración para implementar materias análogas en otras carreras universitarias, para lo que, obviamente, habría que tener en cuenta sus peculiaridades.

Agradecimientos

Se agradece la ayuda recibida por la Comunidad de Madrid, a través del Convenio Plurianual con la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), dentro de la línea de actuación «Programa de Excelencia para el Profesorado Universitario» (V Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica, PRICIT). También se agradece la ayuda de la UPM, a través del proyecto “Madrid con Ciencia: Paseos para descubrir nuestro pasado científico” (Convocatoria de «Proyectos de Aprendizaje-Servicio» del año 2023).

Bibliografía

- [1] M. Davis, K. J. Davis, M. Dunagan, *Scientific papers and presentations*, Academic Press, **2012**.
- [2] J. L. Onieva Morales, *Curso básico de redacción: de la oración al párrafo*, Verbum, **2006**.
- [3] V. Alcázar, G. Pinto, *Recursos para la didáctica de las ciencias*. En “Experiencias y estrategias de innovación educativa en ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas (III)”, (Eds.: M. González Montero de Espinosa y A. Herráez Sánchez), Ed. Grupo SM, **2023**, pp. 11-16.
- [4] G. Pinto, *J. Chem. Educ.* **2010**, 87(11), 1176-1182.
- [5] P. Velasco, M. Requena, Pilar Careaga, *La maquinista valiente que no temía lo nuevo*. Proyecto de relatos infantiles “No me cuentes cuentos”, disponible en <https://short.upm.es/9b8h4> (consultado: 03/09/2024).

- [6] G. Revuelta, C. Llorente, N. Saladie, *La comunicación científica en España*, Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), **2023**.
- [7] C. Könniker, *Actor model of science communication*, **2016**, disponible en <https://short.upm.es/op5te> (consultado: 03/09/2024).
- [8] G. Pinto, *Educación en la Química* **2019**, 25(2), 17-52.
- [9] M. W. Rossiter, *Soc. Stud. Sci.* **1993**, 23(2), 325-341.
- [10] J. Alonso-Arévalo, R. Saraiva, R. Flórez-Holguín, *Cuadernos de Documentación Multimedia* **2020**, 31, 1-6.
- [11] E. Delgado López-Cózar, A. Martín-Martín, *An. Quím. RSEQ* **2024**, 120(2), 67-84.
- [12] G. Pinto, M. Martín, M. T. Martín, *ConCIENCIAS.digital: Revista de Divulgación Científica de las Facultad de Ciencias de Zaragoza* **2015**, 16, 46-63.
- [13] G. Pinto, M. Martín, M. T. Martín, *Ibid.* **2016**, 17, 4-21.
- [14] G. Pinto, *Metode Science Studies J.* **2024**, 15, 55-63.
- [15] A. Brunning, *Compound Interest*, disponible en <https://www.compoundchem.com/about/> (consultado: 03/09/2024).
- [16] G. Pinto, A. Garrido-Escudero, *J. Chem. Educ.* **2016**, 93(1), 103-110.
- [17] G. Pinto *et al.* Diseño e implementación de rutas divulgativas STEAM en Madrid: Un proyecto de Aprendizaje-Servicio (No. COMPON-2023-CINAIC-0009). Universidad de Zaragoza, Servicio de Publicaciones, **2023**. Disponible en <https://zaguan.unizar.es/record/131922>.
- [18] Y. García, S. Llamas, P. García, S. de Paz, *Condensación para ti, futuro para tus hijos*, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid y Editorial El Instalador, **2009**, disponible en <https://short.upm.es/qac5a> (consultado: 03/09/2024).



Gabriel Pinto Cañón

E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. Grupo Especializado en Didáctica e Historia, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química.

C-e: gabriel.pinto@upm.es
ORCID: 0000-0002-8961-7255

Licenciado (1985) y Doctor (1990) en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, se incorporó como docente a la Universidad Politécnica de Madrid en 1986, donde ejerce como catedrático de universidad (área de ingeniería química). Ha investigado sobre espectroscopia aplicada, preparación y propiedades de polímeros y materiales compuestos de matriz polimérica, recursos didácticos, educación STEAM e historia de la ciencia, habiendo publicado 200 artículos al respecto. Ha dedicado un esfuerzo especial a la divulgación científica en multitud de formatos (conferencias, talleres, ferias, artículos, libros, webs...), reconocido por el Premio Nacional a la Difusión de la Ciencia otorgado en 2020 por la Confederación de Sociedades Científicas de España, entre otros.



Victoria Alcázar Montero

E.T.S. Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. Grupo Especializado en Didáctica e Historia, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química.

C-e: mariavictoria.alcazar@upm.es
ORCID: 0000-0002-1891-3209

Realizó los estudios de Licenciatura (1986) y Doctorado (1989) en Ciencias Químicas en la Universidad de Salamanca. A continuación, fue becaria postdoctoral Fulbright (1990-1992) en la Universidad de California Los Ángeles y, más tarde (1992-1993), profesora ayudante en el Instituto Tecnológico de Zúrich (ETH). Se incorporó a la Universidad Autónoma de Madrid (1993-1996) con un contrato de incorporación a España de Doctores y Tecnólogos y, tras trabajar como Profesora de Enseñanza Secundaria (1996-2007), se unió al Departamento de Ingeniería Química Industrial y del Medio Ambiente de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (Universidad Politécnica de Madrid) donde, en la actualidad, es profesora titular.



XX Simposio de Jóvenes Investigadores Químicos de la Real Sociedad Española de Química

Ciudad Real, del 18 al 21 de noviembre 2024

¡Ponte Bata! Un ejemplo del uso de vídeos cortos para la divulgación de la química

¡Ponte Bata! An example of the use of short videos to disseminate chemistry

Aythami Soto, Albert Poater, Josep Duran

Universitat de Girona

PALABRAS CLAVE:

Divulgación de la ciencia
Vídeo
YouTube
Química

RESUMEN:

En los últimos años, los vídeos cortos verticales de hasta un minuto se han vuelto populares. Estos formatos ofrecen a los comunicadores científicos una manera de llegar a audiencias más jóvenes, que son diferentes de los usuarios de otras redes sociales. Este estudio analiza las diferencias en la demografía de los usuarios (edad, género, origen), la retención de audiencia y el tiempo de visualización en TikTok y YouTube Shorts utilizando vídeos de los canales de Ponte Bata. Los resultados indican perfiles de usuarios similares en ambas plataformas con ligeras diferencias. Estas perspectivas ayudarán a comprender los diferentes patrones de consumo de contenido en TikTok y YouTube Shorts, haciendo que el contenido científico sea más accesible para una audiencia más amplia.

KEYWORDS:

Science popularisation
Video
YouTube
Chemistry

ABSTRACT:

In recent years, short vertical videos of up to one minute have become popular. These formats offer science communicators a way to reach younger audiences, which are different from users of other social networks. This study analyzes the differences in user demographics (age, gender, origin), audience retention, and viewing time on TikTok and YouTube Shorts using videos from the Ponte Bata channels. The results indicate similar user profiles on both platforms with slight differences. These insights will help understand the different content consumption patterns on TikTok and YouTube Shorts, making scientific content more accessible to a broader audience.

Introducción

En los últimos años se ha producido un gran impulso para llevar la ciencia y la investigación a un público más amplio y para reducir el elitismo instaurado en la sociedad con respecto a quién tiene acceso al conocimiento y al aprendizaje científicos.

Podría situarse el inicio de la comunicación científica con la publicación, en 1612, de una de las obras de Galileo Galilei, en italiano, con la intención de acercar su contenido a una mayor parte de la sociedad.^[1] En el siglo XVII también se sitúan las primeras revistas científicas, como el *Journal des Sçavans*. En España la primera revista especializada, *Dissertaciones de la Regia Sociedad de Medicina de Sevilla*, apareció en 1736.^[2] Michael Faraday, en el siglo XIX, entendió la importancia de la educación y la divulgación científica, ofreciendo conferencias públicas accesibles, como las famosas *Christmas Lectures* en la *Royal Institution*.

En el siglo XX, Carl Sagan, David Attenborough o Jacques Cousteau acercaron la ciencia a miles de personas de todo el mundo con sus programas de televisión, documentales y libros. En España el fenómeno de la divulgación en ciencias naturales a través de la televisión nos llegó de la mano de Félix Rodríguez de la Fuente y su programa "El hombre y la Tierra".

Todas estas producciones tenían un gran coste que limitaba su acceso solamente a aquellos que contaban con suficiente financiación.

En la era digital, las redes sociales y *YouTube* han emergido como poderosas herramientas de comunicación científica. Plataformas como *Twitter*, *Instagram* y *Facebook* permiten a científicos y divulgadores compartir hallazgos, discutir teorías y educar al público en tiempo real. Estas plataformas ofrecen una interactividad sin precedentes, permitiendo a los usuarios hacer preguntas y recibir respuestas de expertos de manera inmediata.^[3]

La comunicación científica en español ha cobrado importancia en los últimos años, con un creciente número de científicos y comunicadores dedicados a difundir el conocimiento en esta lengua. Canales como *QuantumFracture*, *Date un Vlog*, *La Gata de Schrödinger* y *CdeCiencia* superan juntos los 11 millones de seguidores y producen contenido de alta calidad en español,^[4] abordando temas desde la física teórica hasta la biología y la tecnología. Estas iniciativas no sólo hacen la ciencia accesible a la audiencia hispanohablante, sino que también promueven la inclusión y la diversidad en el ámbito científico. En este mismo sentido, la democratización de la información científica a través de medios digitales en español es crucial para

CÓMO CITAR: A. Soto, A. Poater, J. Duran, *An. Quím. RSEQ* 2024, 120, 151-156, DOI: 10.62534/rseq.aq.1991

* Ce: josep.duran@udg.edu

fomentar una mayor comprensión y apreciación de la ciencia en el mundo hispanohablante.^[5]

Ante la ausencia de canales relevantes de difusión de la química en la plataforma *YouTube*, en 2017 se creó el proyecto Ponte Bata en el marco del canal de *YouTube* Reacciona Explora.^[6] El canal, vinculado al Departamento de Química de la Universitat de Girona, cuenta hoy en día con más de 460.000 seguidores, siendo uno de los canales de habla hispana más relevantes para la difusión de la química en la plataforma. Los vídeos publicados en este canal suelen tener una media de más de 500.000 visualizaciones, superando varios de ellos el millón de visualizaciones.

En este entorno aplicaciones como *TikTok*, *YouTube Shorts* e *Instagram Reels*, han irrumpido de forma exitosa con un formato vertical y creatividad concentrada en un corto espacio de tiempo. El formato ha demostrado ser especialmente atractivo para los jóvenes de la generación nacida después del año 2000.^[7] El proyecto Ponte Bata se ha extendido a este tipo de formato, acumulando entre estas redes unos 2 millones de seguidores y más de 250 millones de visualizaciones.

Comunicación científica a través del formato de video corto.

Varios autores han estudiado el fenómeno *YouTube* en el campo de la comunicación científica. En un estudio del 2015, Morcillo et al.^[8] encontraron que la calidad del contenido, la autenticidad y el entretenimiento son los factores más importantes para el éxito y la construcción de una comunidad, mientras que la calidad de la edición y la producción son menos importantes. Welbourne y Grant^[9] hicieron énfasis en la figura del comunicador sugiriendo que no sólo es importante la calidad narrativa, sino también el carisma y credibilidad del presentador.

Haran y Poliakoff son los únicos autores que analizaron el impacto de los vídeos de su propio canal de *YouTube*^[10], *Periodic Videos*, que en aquel momento contaba con 36.000 seguidores (ahora 1,8 millones de seguidores). Sin embargo, todos estos estudios tienen el inconveniente de estar desactualizados. La plataforma *YouTube* ha cambiado significativamente en los últimos años, con cambios en el algoritmo de recomendación de vídeos y las estadísticas disponibles para los creadores de contenidos. Estas herramientas permiten en la actualidad un análisis más detallado de los datos facilitados por la plataforma, así como una mejor interpretación de los mismos.

Las plataformas que contienen formato de vídeo corto han implementado algoritmos de recomendación que rastrean los intereses de los usuarios y sugieren vídeos personalizados. Como resultado, estas aplicaciones tienden a convertirse en herramientas poderosas para la mensajería pública, facilitando el acceso a audiencias que sienten curiosidad por la ciencia.

Son pocas las investigaciones sobre el uso de *TikTok* para la divulgación científica, ya que la plataforma es relativamente nueva.^[11] Sin embargo, algunos científicos y organizaciones han comenzado a utilizar *TikTok* como una forma de compartir contenido relacionado con la ciencia e interactuar con una audiencia más joven, utilizando el humor, la animación y otras formas creativas para entregar información científica, haciéndola más accesible y atractiva para una audiencia más amplia.^[12] A pesar de que algunos usuarios editores de contenido han conseguido un gran número de seguidores en la plataforma, publicando contenido relacionado con temas científicos, a menudo son críticos con la corta duración de los vídeos.^[13]

Metodología

En el canal Ponte Bata y en las plataformas *TikTok*, *Instagram*, *Facebook* y *YouTube*, se han publicado hasta el momento 91 vídeos en formato vertical y con una duración inferior a un minuto. El tema central es la química, y en ellos se presentan curiosidades y experimentos visuales, entrelazados mediante una corta narración basada en hechos históricos.

La estructura de los vídeos es similar y contiene una breve introducción, inferior a los tres segundos, para atraer la atención de la audiencia, seguida de las explicaciones y la contextualización histórica, y un final con una frase reconocible, una especie de marca. En este caso “¿a que mola?”.

La edición de los vídeos se trata con sumo esmero y se utiliza la voz de uno de los investigadores. Paralelamente, se ha usado la sección de contenido de cada *post* para añadir información a través de *hashtags* genéricos como #ciencia, #química y otros específicos para cada plataforma, como #learnwithtiktok, #divulgación, #aprender, #sabiasque o #shorts, además de los referidos a cada tema, como #uranio, #nuclear, #cohetes o #luminiscencia.

Cada plataforma facilita diferente información del contenido que alberga. Por este motivo, en este estudio se descarta la información de *Instagram* y *Facebook* porque sólo contiene el número de “me gusta”. En lo que se refiere a los vídeos cortos publicados en *TikTok* y *YouTube*, este estudio analizará las estadísticas de número de visualizaciones, género, edad, origen, retención de audiencia y porcentaje medio de visualización. Los datos corresponden al intervalo agosto 2022-julio 2024. Eso es, 68 vídeos cortos con un total de 180.800.291 visualizaciones entre las dos plataformas.

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del análisis de los vídeos cortos publicados en las plataformas *TikTok* y *YouTube Shorts*. A continuación, se detallan las estadísticas de algunos de los vídeos más populares, considerando el número de visualizaciones, la retención de la audiencia, y otros aspectos relevantes.

Para este análisis, seleccionaremos los vídeos que más visualizaciones han obtenido en ambas plataformas: en este caso “Este hilo de metal cuesta casi una PS5” y “La pesadilla de los bomberos”. Las visualizaciones de estos vídeos cortos se recogen en la Tabla 1.

Tabla 1. Número de visualizaciones de los vídeos cortos más visto en el canal Ponte Bata.

Título del vídeo	Visualizaciones <i>TikTok</i>	Visualizaciones <i>YouTube Shorts</i>
Este hilo de metal cuesta casi una PS5	2.176.358	23.170.559
La pesadilla de los bomberos	2.396.513	16.321.185

Fuente: Datos tomados de los canales de *YouTube* y *TikTok* Ponte Bata.

Además, vamos a mostrar el caso específico de los: “Así eran las linternas hace 100 años. Lámparas de Carburo” y “Encendiendo Fuego en Hielo”. En ambos vídeos se presenta la historia y propiedades del compuesto carburo de calcio y sus diferentes usos.

Tabla 2. Número de visualizaciones de los vídeos relacionados con el carburo de calcio.

Título del vídeo	Visualizaciones TikTok	Visualizaciones YouTube Shorts
Así eran las linternas hace 100 años. Lámparas de Carburo	490.514	2.167.232
Encendiendo Fuego en Hielo	207.611	853.953

Fuente: Datos tomados de los canales de YouTube y TikTok Ponte Bata.

En ambas plataformas la mayoría de las visualizaciones de los vídeos de las Tablas 1 y 2 provienen de las recomendaciones del algoritmo. Esto se puede verificar acudiendo a las fuentes de tráfico de estos vídeos.

Tabla 3. Fuente de tráfico de las visualizaciones de los vídeos expuestos en las Tablas 1 y 2.

Título del vídeo	Algoritmo TikTok (#for you page)	Algoritmo YouTube Shorts (Feed)
Este hilo cuesta casi una PS5	98,6%	93,1%
La pesadilla de los bomberos	95,9%	90,6%
Así eran las linternas hace 100 años, Lámparas de Carburo	94,7%	94,6%
Encendiendo Fuego en Hielo	97,2%	88,7%

Fuente: Datos tomados de los canales de YouTube y TikTok Ponte Bata.

Con estos datos podemos comprobar que los algoritmos de estas plataformas funcionan de forma ligeramente diferente. El algoritmo de TikTok tiende a recomendar especialmente nuestros vídeos a personas que no forman parte de nuestro público habitual, o sea, a más gente ajena de ellos (bajo la categoría *#for you*). Sin embargo, hemos podido verificar que sólo recomienda aquellos vídeos recientemente publicados. En cambio, el algoritmo de *YouTube Shorts* recomienda ligeramente menos nuestros vídeos a gente ajena, aunque a diferencia de los de *TikTok*, los vídeos sí son recomendados independientemente del tiempo publicado. Esta diferencia en las recomendaciones de los algoritmos se recoge en la Figura 1, correspondiente a las visitas del vídeo "La pesadilla de los bomberos". A la izquierda visualizaciones de las últimas 48 horas de *YouTube Shorts*, a la derecha de las últimas 24 horas de *TikTok*.

**Figura 1.** Captura de las visualizaciones en las últimas 24 y 48 horas del vídeo "La pesadilla de los bomberos". Fuente: *TikTok Studio* y *YouTube Studio*.

Los datos de las Tablas 1, 2 y 3 permiten diseñar estrategias comunicativas en función de si el objetivo es la comunicación científica o bien se trata de la alfabetización científica.^[14] A pesar de que los contenidos pueden coincidir, la plataforma *TikTok* parece más indicada para la comunicación mientras que *YouTube Shorts* aparenta ser más indicada para la alfabetización. Al respecto, cuando el abanico es más amplio, es posible que el contenido no sea del agrado de los destinatarios, por lo que en ocasiones puede ser de más interés publicar en una u otra plataforma, aunque en nuestro caso hemos utilizado ambas.

La diferencia de visualizaciones entre los vídeos y entre ambas plataformas de las Tablas 1 y 2 es bastante notoria. Nuestra interpretación es que el algoritmo de *TikTok* es mucho más reactivo a mostrar nuestro contenido que el de *YouTube Shorts* cuando estos vídeos involucran cualquier experimento o referencia relacionada con el fuego. Aquellos vídeos donde la llama es más notoria suelen ser más castigados por el algoritmo de esta plataforma.

En la Tabla 4 se exponen las visualizaciones de dos vídeos directamente relacionados con el fuego: "Esta es la energía de un osito de Gominola" y "El secreto de las velas" donde se puede ver la diferencia sustancial de estos dos algoritmos al tratar esta temática. Este patrón se repite en aquellos vídeos donde las llamas tienen protagonismo.

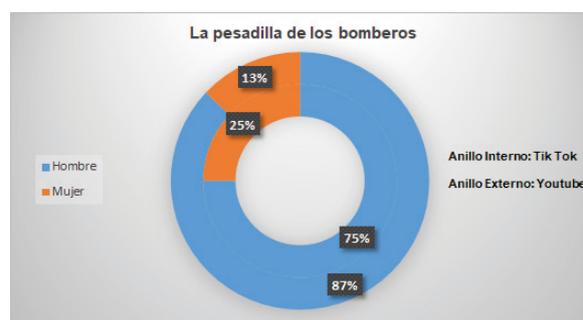
Tabla 4. Número de visualizaciones de los vídeos con temática de fuego.

Título del vídeo	Visualizaciones TikTok	Visualizaciones YouTube Shorts
Esta es la energía de un osito de Gominola	100.479	1.293.510
El secreto de las velas	130.437	981.651

Fuente: Datos tomados de los canales de YouTube y TikTok Ponte Bata.

Género, Edad y Origen

En ambas plataformas el género se define únicamente de forma binaria "Hombre o Mujer". Hemos encontrado diferencias notorias entre ambas plataformas:

**Figura 2.** Distribución de género del vídeo "La pesadilla de los bomberos". Fuente: *TikTok Studio* y *YouTube Studio*.

Las gráficas recogidas en la Figura 2 reflejan que nuestra audiencia es mayoritariamente masculina. Ambas plataformas muestran resultados similares, inclinándose *TikTok* a una mayor paridad. Una tendencia que suele reflejarse en otros canales de ciencia.^[15]

La distribución de edad entre ambas audiencias (Figura 3) es bastante similar, aunque se pueden apreciar ligeras diferen-

cias. Se puede observar que en *TikTok* el vídeo suele llegar a un público mucho más joven, concentrado en la franja de 18-24 años, mientras que la audiencia en *YouTube* destaca en las siguientes franjas. Esto corrobora la idea de que *TikTok* es una plataforma orientada a gente joven.



Figura 3. Distribución de edad de "Este alambre cuesta casi una PS5". Fuente: *TikTok Studio* y *YouTube Studio*.

En la Figura 4, se muestra la distribución porcentual de visualizaciones del vídeo 'La pesadilla de los bomberos' en varios países, según los datos obtenidos de *TikTok Studio* y *YouTube Studio*. Se puede observar que México tiene el mayor porcentaje de visualizaciones, seguido de España, Argentina, Colombia y Chile.

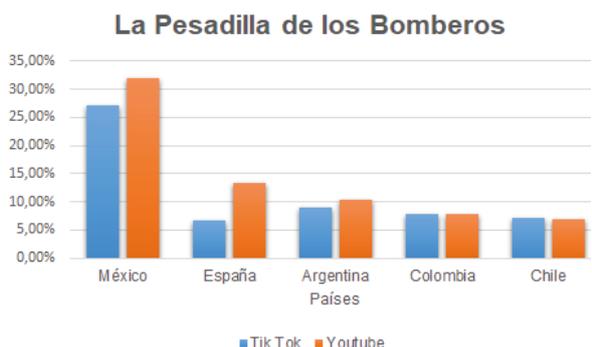


Figura 4. Distribución de países de "La pesadilla de los bomberos". Fuente: *TikTok Studio* y *YouTube Studio*.

Puede verse que hay impacto de nuestros vídeos en el ámbito hispanohablante, muy probablemente debido a que están realizados en lengua castellana, y también porque el protagonista de la locución de los vídeos tiene acento latino.

La gráfica, que muestra una tendencia común con la del resto de vídeos del canal, indica el poder que tiene la comunidad mexicana dentro de la comunidad hispanohablante. Algo lógico teniendo en cuenta que México es uno de los países con más hispanohablantes del mundo.

Comportamiento de la audiencia

Para esta sección comparamos el comportamiento de nuestra audiencia basándonos en una gráfica común que tienen ambas plataformas, conocida como "Tiempo de Retención". Dicho dato, es el porcentaje de personas que continúa viendo el vídeo en función del tiempo.

La Figura 5 muestra la comparativa entre las retenciones de audiencia del vídeo "La pesadilla de los bomberos". La gráfica superior corresponde a *YouTube Shorts*, mientras que

la inferior corresponde a *TikTok*. Así, puede verse cómo la gráfica es ligeramente más pronunciada en la plataforma de *TikTok*. El usuario de esta plataforma está más habituado a pasar rápidamente de vídeos si no le interesa el tema y esto se ve reflejado en la caída de los primeros segundos de la retención de audiencia.

Puede llamar la atención como la gráfica de *YouTube* supera durante los primeros 15 segundos el 100% de retención de audiencia. Esto es debido a que un gran número de usuarios ha vuelto a ver nuestro vídeo en cuanto ha terminado, al menos durante ese tiempo. La explicación de este comportamiento puede estar relacionada con el interés que el propio vídeo suscita, y a que el usuario vuelve a repetir la visualización del vídeo.

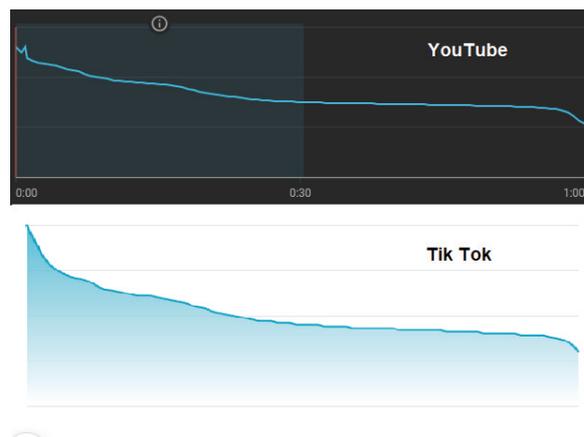


Figura 5. Retención de la audiencia del vídeo "La pesadilla de los bomberos". Fuente: *YouTube Studio* y *TikTok Studio*.

Otra estadística bien diferenciadora entre ambas plataformas es la mostrada en la Figura 6, que corresponde al tiempo medio, en porcentaje, que la audiencia ha pasado viendo el vídeo.

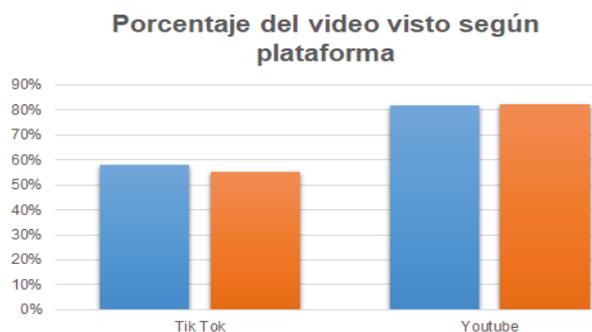


Figura 6. Comparativa media en cuanto a porcentaje/fracción de los vídeos "Pesadilla de los bomberos" y "Este alambre cuesta una PS5" en función de la plataforma. Fuente: *TikTok Studio* y *YouTube Studio*.

Esto refleja que los espectadores de *TikTok* tienden a pasar menos tiempo viendo nuestros vídeos, con tiempos de visualización que apenas llegan al 60%, en comparación con los usuarios de *YouTube*, donde el tiempo promedio de visualización ronda el 80%. La hipótesis que barajamos los autores es que los usuarios de *TikTok* (como refleja la Figura 4, de media, más joven) están asociados con un consumo más acelerado de la plataforma, en comparación con los usuarios de *YouTube*, quienes ya están acostumbrados a ver vídeos más largos. Los usuarios de *TikTok* parecen ver los vídeos durante los primeros segundos y luego deslizar hacia arriba para ver otro contenido.

Esto se refleja en los tiempos promedio de visualización entre cada plataforma y la abrupta caída en los gráficos de retención de audiencia de *TikTok* (Figura 5).

Caso específico: Carburo de Calcio

Por último, los autores queremos remarcar el potencial que tiene el formato de vídeo corto como globo sonda (en este contexto un "globo sonda" es un formato que se utiliza para medir la reacción de la audiencia antes de un lanzamiento más amplio). Este formato permite a los creadores de contenido evaluar el interés y el impacto de un tema o estilo de presentación en particular.

Estos fueron publicados en fechas muy diferentes como se puede ver en la Figura 7, amasando una gran cantidad de visitas en esos diferentes periodos de tiempo.



Figura 7. Fecha de publicación y número de visitas de los vídeos relacionados con carburo de calcio. Fuente: *YouTube Studio*.

Los autores nos dimos cuenta de que este impacto se repitió en cada una de las plataformas donde fue publicado. Algo muy poco usual pues no todos los algoritmos funcionan igual. También estas publicaciones se vieron anegadas de miles de comentarios, la mayoría evocando a un factor nostálgico sobre cómo un familiar suyo les había enseñado esto, tal y como recogemos en la Figura 8 al filtrar los comentarios de los vídeos con la palabra "abuelo". Nuestra hipótesis es que el éxito multiplataforma de estos vídeos se ha visto influenciado por factores ajenos al algoritmo, en este caso un factor claramente nostálgico.



Figura 8. Comentarios filtrados bajo la palabra "abuelo" de los vídeos del carburo de calcio. Fuente: *YouTube Studio*.

¿Podría verse reflejada la influencia de ese factor si cambiáramos el formato e hiciéramos un vídeo largo? Para comprobar esta cuestión realizamos un experimento, realizando un vídeo largo en el canal *Reacciona Explota*, y no en el canal *Ponte Bata* donde los vídeos cortos habían tenido éxito.

El vídeo fue publicado el 3 de marzo de 2024 bajo el título "Carburo, la piedra que iluminó el Mundo" y fue un éxito extraordinario, convirtiéndose en el segundo vídeo más visto en la historia del canal en función del tiempo. En la Figura 9 se puede ver el rendimiento de este vídeo (línea azul) en comparación con el rendimiento habitual de los vídeos (en gris).

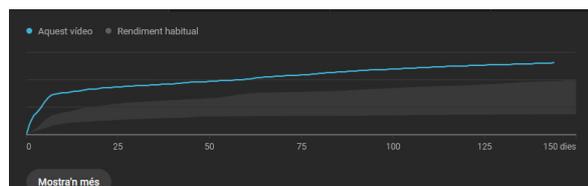


Figura 9. Rendimiento del vídeo "Carburo, la Piedra que iluminó el mundo". Fuente: *YouTube Studio*.

El éxito sin precedentes de este vídeo nos lleva a pensar que quizá podamos usar los vídeos cortos no solo como una herramienta de divulgación a grandes masas sino también para probar qué temas pueden resultar atractivos al gran público.

Conclusiones

Los vídeos cortos en formato vertical han irrumpido de forma significativa en las redes sociales y, por ende, en nuestras vidas. Bien a través de *Instagram Reels*, *YouTube Shorts* o *TikTok*, estos directos, atractivos y a menudo nimios vídeos inundan nuestros dispositivos móviles.

Lejos de rehuir de ellos, hemos estudiado cómo este formato puede permitir acercar la ciencia a una población más joven que la que habitualmente consume nuestros vídeos divulgativos en un formato más tradicional.

A pesar de que el formato es común en las diferentes plataformas comparadas, el algoritmo que promociona los vídeos es diferente. Por este motivo hemos observado que *YouTube Shorts* recomienda los vídeos a un segmento de población al que ya considera interesado en este tipo de vídeos, mientras que *TikTok* los distribuye de forma más aleatoria. La mayor proyección de *YouTube* a largo plazo se traduce en un mayor número de visualizaciones final. Sin embargo, durante los primeros días los usuarios de *YouTube Shorts* son menos en cantidad, pero están más tiempo visualizando los vídeos. Por el contrario, los usuarios de *TikTok* son más, pero están menos tiempo. De acuerdo con estos datos, si la finalidad es comunicativa, ambas plataformas son igualmente válidas. En cambio, si se trata de alfabetización, *YouTube Shorts* sería más indicada.

Los vídeos cortos pueden servir como globos sonda para la elaboración de vídeos largos. Se ha estudiado en detalle el trabajo previo en forma de vídeos cortos basados en la temática del carburo de calcio. Todos demostraron tener una buena aceptación. Ello condujo a un gran éxito del vídeo largo "Carburo, la piedra que iluminó el Mundo", que está teniendo un rendimiento superior al promedio de los demás vídeos.

Agradecimientos:

Los autores desean expresar su más sincero agradecimiento a la *Universitat de Girona* y a su Departamento de Química por facilitar un espacio para grabar los vídeos. La disponibilidad y flexibilidad del espacio ha permitido grabaciones de alta calidad y ha sido fundamental para la realización de experimentos y demostraciones en el campo de la química.

Gracias también a la *Fundación Española de Ciencia y Tecnología (FECyT)* por brindar apoyo económico parcial para la publicación de los vídeos.

Los autores agradecen el apoyo financiero del Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2021-127423NB-I00) y la Generalitat de Catalunya (2021SGR623). A. Poater es Profesor Serra Húnter y agradece el premio *ICREA Academia 2019*.

Bibliografía

- [1] R. Núñez, *El País*, disponible en https://elpais.com/sociedad/2010/03/30/actualidad/1269900010_850215.html, 30 mar. **2010** (consultado: 01/07/2024).
- [2] A. Algaba, *Scripta Nova* **2000**, 69(17).
- [3] D. M. Boyd, N. B. Ellison, *J. Comput. Mediat. Commun.* **2008**, 13, 210-230, DOI:10.1111/j.1083-6101.2007.00393.x.
- [4] a) "Canal de QuantumFracture", disponible en <https://www.youtube.com/channel/UCbdSYaPD-Ir1kW27U-Juk8Pw>, **2024** (consultado: 01/07/2024); b) "Canal de Date un Vlog", disponible en <https://www.youtube.com/channel/UCbdSYaPD-Ir1kW27U-Juk8Pw>.

- com/channel/UCQX_MZRCaluNKxywklEgfA, **2024** (consultado: 01/07/2024); c) "Canal de La Gata de Schrödinger", disponible en <https://www.youtube.com/c/LagatadeSchr%C3%B6dinger>, **2024** (consultado: 01/07/2024); d) "Canal de CdeCiencia", disponible en <https://www.youtube.com/@CdeCiencia>, **2024** (consultado: 01/07/2024).
- [5] J. Gallardo-Camacho, *Revista Luciérnaga* **2013**, 5(9), 57-68.
- [6] J. Duran, A. Soto, "Canal de Reacciona Explota" disponible en <https://www.youtube.com/c/reaccionaexplota>, **2024** (consultado: 22/7/2024).
- [7] B. Muliadi, *Forbes*, disponible en <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2020/07/07/what-the-rise-of-tiktok-says-about-generation-z/?sh=4b84d94c6549>, 7 jul. **2020**. (consultado: 2/08/2022).
- [8] J.M. Morcillo, K. Czurda, C.Y. Robertson-von Trotha, *JCOM* **2016**, 15(04), A02, DOI: 10.22323/2.15040202.
- [9] D.J. Welbourne, W.J. Grant, *Public Underst. Sci.* **2016**, 25, 706-718, DOI: 10.1177/0963662515572068.
- [10] B. Haran, M. Poliakoff, *Nat. Chem.* **2011**, 3, 180-182, DOI: 10.1038/nchem.990.
- [11] K. Cruzado Bautista, V.O. Vite León, *INTED2022 Proceedings* **2022**, 8090-8095, DOI: 10.21125/inted.2022.2042.
- [12] J. Zeng, M.S. Schäfer, J. Allgaier, *Int. J. Commun.* **2021**, 15, 3216-3247, DOI: 10.31219/osf.io/8tdvm.
- [13] B. Rein, *Neuroscience* **2023**, 530, 192-200, DOI: 10.1016/j.neuroscience.2023.08.021.
- [14] T.W. Burns, D.J. O'Connor, S.M. Stocklmayer, *Public Understand. Sci.* **2003**, 12(2), 183-202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>.
- [15] I. Amarasekara, W.J. Grant, *Public Understand. Sci.* **2018**, 28(1), 68-84, DOI: 10.1177/0963662518786654.



Aythami Soto Rodríguez

Universitat de Girona

C-e: pontebata@gmail.com
ORCID: 0009-0006-9909-9806

Aythami Soto Rodríguez se licenció en Química en la Universitat de Girona en 2016. Cursó un màster en Comunicació Social de la Investigació Científica en 2022. Su especialidad es la comunicación científica en redes sociales, especialmente en el formato vídeo. Cara visible del proyecto Reacciona Explota y Ponte Bata en YouTube. Es uno de los químicos de habla hispana más seguidos de Internet con más de 1,5 millones de seguidores distribuidos por todo el mundo hispanohablante.



Albert Poater Teixidor

Universitat de Girona

C-e: albert.poater@udg.edu
ORCID: 0000-0002-8997-2599

Dr. Albert Poater obtuvo su doctorado en Química en 2006 en la Universitat de Girona. Realizó estancias con Profs. Alejandro Toro-Labbé, Odile Eisenstein, Remi Chauvin y un largo postdoc en la Universidad de Salerno con Prof. Luigi Cavallo. En 2010 empezó la carrera independiente como Ramón y Cajal en Girona, en 2019 se convirtió en Profesor Agregado y Director del Departamento de Química desde 2020. Ha publicado más de 300 artículos, 14000 citas (H = 65), en cálculos DFT sobre mecanismos de reacción, destacando un turno hacia la sostenibilidad y con énfasis en la química predictiva. Recibió el Premio ICREA Academia 2019.



Josep Duran Carpintero

Universitat de Girona

C-e: josep.duran@udg.edu
ORCID: 0000-0003-2121-6364

Dr. Josep Duran se licenció en química por la Universidad Autónoma de Barcelona en 1989, y en 1999 se doctoró en la Universitat de Girona. Su investigación se centra en catalizadores enantioselectivos con metales de transición. Desde 1991 es profesor en el Departamento de Química de la Universidad de Girona, y desde 2003 es profesor titular. Ha liderado proyectos de mejora de la calidad docente y en 2019 recibió la distinción Jaume Vicens Vives a la calidad docente universitaria. Organiza actividades de divulgación científica, siendo responsable de los proyectos ¡Reacciona... explota! y ¡U-Au! esto es química para el fomento de las vocaciones científicas.

Química en la escuela primaria: La obra de Edmundo Lozano (1856-1919)

Chemistry in primary schools: The work of Edmundo Lozano (1856-1919)

Luis Moreno Martínez

Departamento de Física y Química, IES Enrique Tierno Galván, Parla, Comunidad de Madrid.

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Física y Química.

PALABRAS CLAVE:

Historia de la Química
Didáctica de la Química
Biografías
Enseñanza

RESUMEN:

Edmundo Lozano Cuevas (León, 1856-Madrid, 1919) fue una figura de gran relevancia en la renovación pedagógica de la enseñanza de las ciencias en la España de finales del siglo XIX y principios del siglo XX a través de la mejora de la formación científica de los maestros. Este artículo recupera sus principales contribuciones a la enseñanza de la química, ciencia cuya didáctica contribuyó a impulsar abogando por la importancia pedagógica del laboratorio escolar. Se pretende así poner en valor sus reflexiones y experiencias para la educación química actual.

KEYWORDS:

History of Chemistry
Didactics of Chemistry
Biographies
Teaching

ABSTRACT:

Edmundo Lozano-Cuevas (León, 1856-Madrid, 1919) was a key figure in the pedagogical renewal of science teaching in the late 19th-century and early 20th-century Spain who contributed to improve school-teachers training in science. This work focuses on his outstanding contributions to chemistry teaching, especially his works on the pedagogical role of school laboratories, in order to show the importance of his work for current chemistry education.

Introducción

Tradicionalmente la investigación en historia de la ciencia se ha centrado principalmente en profundizar en cómo han investigado los científicos y las científicas del pasado. Sin embargo, el interés en desgranar cómo enseñaban es más reciente.^[1] Así, en las últimas décadas las aulas de ciencias, su profesorado, su alumnado, su cultura material y sus prácticas han ganado un creciente interés hasta el punto de haberse afirmado que la historia de la ciencia no puede prescindir de la historia de la educación científica.^[2] Desde la investigación educativa también se ha subrayado la importancia de contextualizar históricamente las prácticas docentes a fin de valorarlas críticamente y favorecer el empleo de estrategias eficaces y fundamentadas en las aulas.^[3] Todo ello ha hecho del estudio histórico de la enseñanza de las ciencias un área de interés actual con un marcado carácter interdisciplinar, pues implica la convergencia entre la historia de la educación, la historia de la ciencia, la didáctica de las ciencias y las propias ciencias experimentales, como la química. Es en este terreno híbrido en el que se sitúa el presente trabajo.

El objetivo principal de este artículo es recuperar y poner en valor la labor de Edmundo Lozano Cuevas para la enseñanza de la química, ámbito sobre el que reflexionó ampliamente. Se

trata de una figura destacada en la literatura académica sobre la renovación pedagógica en España, por su vinculación con el Museo Pedagógico Nacional y la proximidad de sus postulados a la destacada Institución Libre de Enseñanza.^[4] No obstante, sus contribuciones a la renovación de la enseñanza de las ciencias físicoquímicas, en particular, a la didáctica de la química, son todavía poco conocidas incluso por quienes comparten oficio y profesión con este ilustre desconocido. Su obra es de especial interés por abordar la enseñanza de la química en la escuela primaria, etapa educativa que ha recibido una menor atención en los estudios históricos sobre enseñanza de la química frente a la enseñanza secundaria o los estudios universitarios. El trabajo permite ilustrar, en sintonía con estudios internacionales como los de John Rudolph, la relevancia de la historia de la educación científica para pensar críticamente la formación actual del profesorado, las prácticas de enseñanza y los desafíos del sistema educativo.^[5] A fin de contextualizar sus contribuciones a la enseñanza de la química, se ofrece primero un apunte biográfico sobre los principales aspectos de su vida y su obra. Como se abordará, su labor es de gran interés para reflexionar sobre la pertinencia pedagógica de una mayor presencia de la química experimental en la etapa de Educación Primaria.

CÓMO CITAR: L. Moreno *An. Quím. RSEQ* 2024, 120, 157-163, DOI: 10.62534/rseq.aq.1990

* Ce: luis.morenomartinez@educa.madrid.org

Breve biografía

El 31 de julio de 1919 se publicaba en Madrid el número 712 del popular *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* (BILE), uno de los máximos altavoces de la educación de la época.^[6] La necrológica dedicada al protagonista de este trabajo en la primera página de este boletín ilustra su notoriedad (Figura 1).

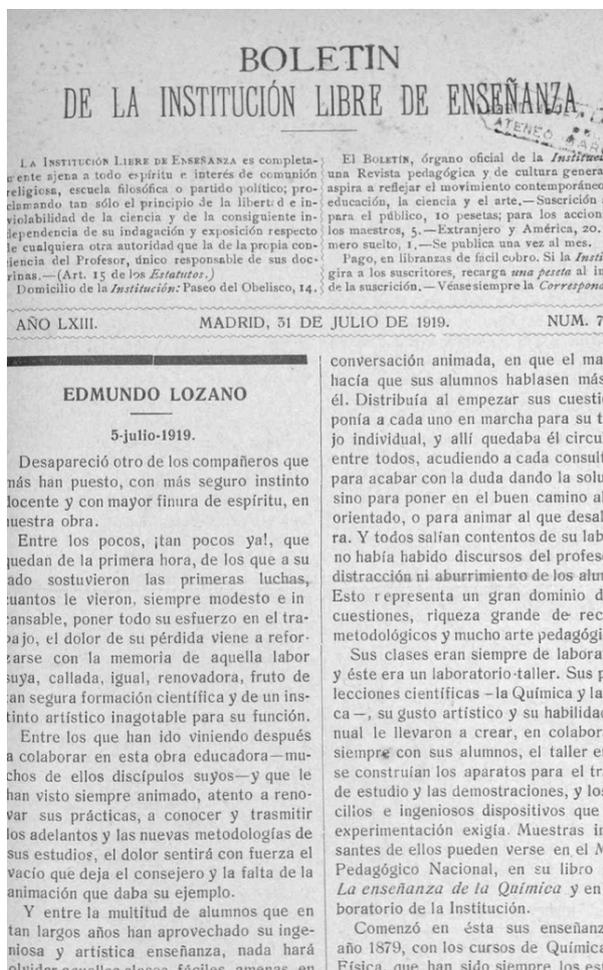


Figura 1. Primera página del *BILE* de julio de 1919 dedicada a Edmundo Lozano. Fuente: Biblioteca Virtual de Prensa Histórica. Ministerio de Cultura.

Una década después, el *BILE* volvía a recuperar la figura de Edmundo Lozano en un trabajo publicado por el profesor José Ontañón Arias (1846-1930), licenciado en Filosofía y Letras, muy ligado a la Institución Libre de Enseñanza y catedrático de Latín en la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio de Madrid.^[7] Estos dos trabajos sobre Lozano publicados en el *BILE* han permitido elaborar el apunte biográfico que se aborda en este epígrafe. Los datos biográficos de los mismos han sido contrastados con la literatura secundaria que ha abordado total o parcialmente su vida y su obra.^[4, 8]

Edmundo Lozano nació en 1856 en León, ciudad donde cursó sus primeros estudios y demostró un gran interés por la física, la química y el dibujo. Sus dibujos, de gran calidad, todavía se conservaban en el Instituto de León durante la década de 1920. También fue colaborador del periódico *El Porvenir*, donde escribió sobre política y divulgación científica. En Madrid frecuentó los ambientes intelectuales propios del último tercio del siglo XIX y asistió a diversas clases de ciencias, pero no cursó estudios universitarios. Decidió fundar una empresa de destilación de alcohol

les en su León natal, pero tras su cierre, regresó a Madrid donde conoció al químico Laureano Calderón Arana (1847-1894), en cuyo laboratorio trabajó y se formó. En 1879 ingresó en la Institución Libre de Enseñanza, donde desarrolló su labor docente. No obstante, su espíritu aventurero le llevó a África como director del laboratorio de análisis de la Sociedad Minera de Transvaal y como ingeniero y arquitecto municipal en Ciudad del Cabo, donde tuvo contacto destacado con la comunidad inglesa allí presente. Pese a sufrir dos tentativas de asesinato continuó en tierras africanas hasta que debido a los conflictos bélicos y tras un breve paso por Inglaterra, regresó a España en 1905. A su regreso, retomó su puesto como profesor de Química en la Institución Libre de Enseñanza. En 1908 recibió una pensión de la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE) para analizar la enseñanza de la física y la química en Inglaterra (Figura 2), experiencia que quedará latente en algunas de sus obras escritas, como *La Química de la escuela primaria* (1913).

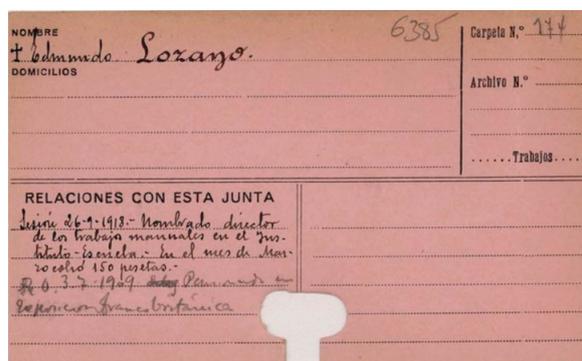


Figura 2. Ficha de Edmundo Lozano sobre su pensión en Inglaterra concedida en 1908 por la Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas. Fuente: Archivo de la Edad de Plata. Residencia de Estudiantes. Madrid.

En 1913 fue nombrado profesor de Metodología de las Ciencias Físicoquímicas (área que hoy sería vinculable a la didáctica de la física y la química) en el Museo Pedagógico Nacional. En este centro, ubicado entonces en el edificio que hoy alberga al IES Lope de Vega (en la madrileña calle Daoíz) y claro exponente de la renovación pedagógica de la época, fundó un laboratorio especialmente dirigido a la formación científica del alumnado de las escuelas normales, esto es, a los maestros en formación. A estos cursos también asistieron otros públicos, como docentes en activo o estudiantes de bachiller. Buena parte de sus prácticas docentes y de sus ideas sobre la enseñanza de las ciencias nos son hoy conocidas gracias a las publicaciones derivadas de su labor docente en el Museo, como *Ciencias Físico-químicas* (1916), *La Enseñanza de las Ciencias Físicoquímicas y Naturales* (1917) o los numerosos artículos que publicó en el *BILE* entre 1887 y 1918 con títulos como *Prácticas de Física y Química en la escuela primaria*, *Las prácticas de laboratorio en el Museo Pedagógico Nacional*, *Pedagogía de las ciencias físicoquímicas* o *El laboratorio y gabinete de Física en la escuela*, entre otros.

Edmundo Lozano falleció el 5 de julio de 1919 en Madrid, tras haber pasado la tarde anterior en el laboratorio desde el que trabajó asiduamente para mejorar la sociedad tratando de contribuir a elevar el nivel de formación científica de maestros y maestras.

Ciencia para el magisterio

La fundación de la Institución Libre de Enseñanza (ILE) en 1876 bajo el impulso de Francisco Giner de los Ríos (1839-



Figura 3. El edificio donde se localizó la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio en Madrid, ubicado en la céntrica calle Montalván, es en la actualidad la sede del Museo Nacional de Artes Decorativas. Una placa recuerda a esta institución que, junto con el Museo Pedagógico Nacional, contribuyeron a hacer del Madrid de principios del siglo XX un entorno prolífico para la formación científica y pedagógica del profesorado. Fuente: Fotografías tomadas por el autor.

1915), al que se ha denominado «el Sócrates español», constituye un momento clave en la historia de la educación en España. La labor de sus docentes, entre los que cabe destacar a Manuel Bartolomé Cossío (1857-1935) o a José Ontañón Arias (1846-1930), y su boletín, el *BILE*, son solo una muestra de las muchas actuaciones realizadas desde la ILE para la democratización de la cultura y la circulación de las ideas pedagógicas innovadoras del momento.^[9] Creado en 1882 y profundamente ligado a los postulados de la ILE, el Museo Pedagógico Nacional fue un centro clave para ello. Entre sus objetivos fundacionales se encontraba la mejora de la formación del profesorado, un reto ineludible para la sociedad del momento.^[10] Tal y como señaló en 1915 su director, Manuel Bartolomé Cossío, la escuela primaria en España seguía centrada en enseñar a leer, escribir, contar y rezar. La ciencia tenía un papel entre nulo y anecdótico en las escuelas, dada la escasez de recursos y la deficitaria formación científica de maestros y maestras. No en vano, la presencia de la ciencia en las escuelas primarias se ha señalado como un síntoma de madurez de un sistema educativo.^[11]

La obra de Edmundo Lozano es muestra del interés de la Institución Libre de Enseñanza y del Museo Pedagógico Nacional por elevar el nivel en ciencias de los futuros docentes. Este objetivo fue compartido por otras instituciones de la época, como la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio de Ma-

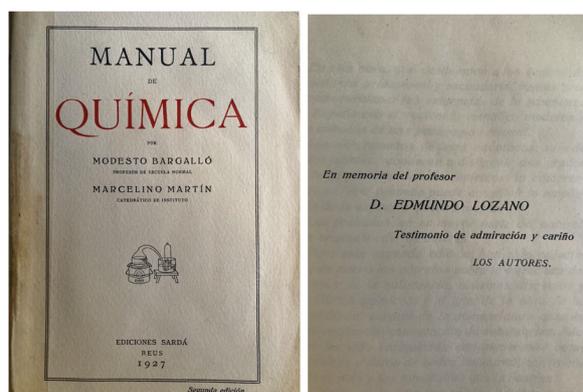


Figura 4. Modesto Bargalló, profesor de Física, Química, Historia Natural y Agricultura de escuela normal, y Marcelino Martín, catedrático de Física y Química de instituto, dedicaron su *Manual de Química* a la memoria de Edmundo Lozano. Fuente: Fotografías tomadas por el autor.

drid, donde se formaban los futuros profesores de las escuelas normales, esto es, los futuros maestros de maestros.

No es casual, por tanto, que algunos docentes en formación en la Escuela asistiesen a los cursos que se impartía en el Museo. Tal es el caso de Modesto Bargalló Ardévol (1894-1981) y Margarita Comas Camps (1892-1972), quienes terminarán siendo reconocidos didactas de las ciencias en España. Bargalló fue uno de los máximos exponentes de la renovación pedagógica de la enseñanza de la física y la química, que tuvo muy presente a Edmundo Lozano en sus trabajos, tal y como se indica en algunos de ellos (Figura 4).^[12] Comas fue una figura sobresaliente de la didáctica de las ciencias naturales que promovió la importancia del trabajo práctico en las aulas, algo que ella misma pudo experimentar como alumna en las clases que impartía Lozano en el Museo.^[13]

Muchas de las propuestas de Edmundo Lozano para la formación de los futuros docentes recogidas en sus obras (Figura 5) son rastreables -con las apropiaciones y



Figura 5. Algunos trabajos publicados por Edmundo Lozano en la década de 1910 sobre la enseñanza de las ciencias fisicoquímicas. Fuente: Fotografías tomadas por el autor.

modificaciones que inevitablemente introduce la creativa labor de enseñar- en las propuestas pedagógicas de sus estudiantes, como Bargalló y Comas. Estos docentes compartieron con su viejo profesor la importancia de un aprendizaje activo de las ciencias desde las primeras etapas, impulsando la observación y descripción de los fenómenos físicos y químicos del entorno y apostando por la experimentación en el laboratorio escolar.

Una de las ideas clave del pensamiento pedagógico de Edmundo Lozano era que las ciencias fisicoquímicas estuviesen presentes en los programas escolares desde la escuela primaria:

No es necesario ponderar el valor utilitario del contenido de las ciencias fisicoquímicas; nadie ignora que a toda conquista realizada en el dominio de estas ciencias corresponde un progreso en todas las afines o bien algún adelanto industrial importante. Desde este punto de vista hay razones suficientes para que su enseñanza se incorpore al programa de la escuela primaria. Pero, aparte de todo motivo de carácter utilitario o de mera cultura, existen otros de índole pedagógica (p.7).^[14]

Entre los motivos pedagógicos para incorporar las ciencias fisicoquímicas a la escuela primaria, Lozano destacaba su interés para estimular la iniciativa, la capacidad de investigar y el hábito de trabajo reflexivo, manual y ordenado en el alumnado. No obstante, para dotar a las ciencias fisicoquímicas en la escuela primaria de dicho valor pedagógico era necesario acometer varias reformas. En primer lugar, reducir la extensión de los programas y cuidar la selección de contenidos:

El programa debe comprender escaso número de temas, seleccionados de tal modo que cada uno de ellos constituya un grupo de hechos sencillos, fácilmente observables, interesantes en sí mismos y por sus relaciones con otros hechos y que ofrezcan cierto enlace lógico. Höfler recomienda que el programa se ajuste al desenvolvimiento histórico de la ciencia. En todo caso, es necesario tener en cuenta que la enseñanza de las ciencias fisicoquímicas en la escuela primaria tiene como fin esencial, no la mera adquisición de conocimientos más o menos útiles, sino más bien la formación del hábito científico, el cultivo de un método y de una orientación del pensamiento (p.19-20).^[14]

Como puede apreciarse, para Lozano la ciencia en la escuela primaria iba más allá de contenidos básicos de física y química dotando al alumnado de habilidades, destrezas y capacidades de interés para su desarrollo intelectual. Especial mención merece la referencia a la importancia de la historia de la ciencia. En consonancia con figuras tan célebres como el químico alemán Wilhelm Ostwald (1853-1932), la historia de las ciencias fisicoquímicas permitía identificar los conceptos fundamentales en el desarrollo de las mismas. Asimismo, el propio desarrollo histórico de la ciencia desde la observación a la experimentación, transitando de lo cualitativo a lo cuantitativo, sería el germen del hábito científico que se debería adquirir en la escuela primaria. La propia historia de las ciencias ilustraría también la escasa compartimentación de la ciencia en los primeros estadios de su desarrollo, motivo por el cual en los primeros cursos las ciencias debían enseñarse de forma conjunta, algo que el propio Lozano señaló para la física y la química:

No es conveniente separar la Física de la Química en los primeros grados de la enseñanza. Una clasificación prematura de las ciencias, disecionándolas en parcelas independientes, aisladas, cercenando el enlace, la solidaridad esencial de los fenómenos, origina una representación incoherente de la naturaleza (p.5).^[15]

Otra acción fundamental para dotar a las ciencias fisicoquímicas de su máximo valor pedagógico en la escuela primaria era abordar su enseñanza de forma experimental. Para ello, la enseñanza elemental de las ciencias fisicoquímicas debía ha-

cerse en el laboratorio. Abordar la enseñanza experimental de las ciencias fisicoquímicas en las escuelas primarias no era una tarea exenta de dificultades en la época. Tras su estancia en Inglaterra gracias a la pensión de la JAE, Lozano trajo consigo las pautas del *Scotch Education Department* sobre el aprendizaje experimental. No obstante, fue consciente de las limitaciones que existían en el contexto del magisterio español:

La adaptación a nuestra escuela primaria de los métodos correspondientes a esta orientación ofrece, por el momento ciertas dificultades. En primer término, se tropieza con la falta de preparación científica y manual del maestro, quien, salvo en casos contados, desconoce por completo el laboratorio y el taller; a esta circunstancia se suman la organización de la enseñanza y el general atraso de la mayoría de las gentes, que se contentan con que los futuros ciudadanos abandonen la escuela leyendo mal, escribiendo peor y canturreando la tabla de multiplicar. Estas dificultades, sin embargo, se vencerán andando el tiempo, cuando el taller, el laboratorio y el libro colaboren equitativamente a la formación del maestro y la opinión pública se percate de que el bienestar y la prosperidad de las naciones dependen, en cierta medida, del cultivo y difusión de las ciencias (p.3).^[15]

Las palabras de Lozano subrayan su clara apuesta por el papel de la ciencia y de su enseñanza desde la escuela primaria para la mejora de la sociedad. No obstante, la falta de formación científica del profesorado dificultaba la presencia de las ciencias en las aulas de las escuelas. Es por ello que, una vez diagnosticada la situación, Lozano dedicó amplios esfuerzos a formar en el trabajo experimental a los futuros docentes. Sin embargo, su quehacer docente trascendió las lindes de su laboratorio en el Museo Pedagógico Nacional. Gracias a sus publicaciones, sus propuestas metodológicas para el uso del laboratorio escolar pudieron circular por los centros educativos de la época. Es gracias a dichos trabajos que hoy podemos conocer sus propuestas.

El papel central del laboratorio en las escuelas

La *Química de la escuela primaria* sintetiza las clases prácticas impartidas por Edmundo Lozano en el Museo Pedagógico Nacional. Por su laboratorio pasaron docentes diversos, principalmente maestros (en activo y en formación) y sus futuros docentes (los profesores de las escuelas normales que cursaban estudios en la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio). Por ejemplo, en el curso 1911-1912 sus clases contaron con 42 estudiantes, entre los que cabe destacar 10 maestros en activo, 3 estudiantes de escuela normal, 7 estudiantes de la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio y 10 estudiantes que preparaban el acceso a la sección de ciencias de dicha Escuela, entre otros. En el curso 1912-1913 la matrícula fue de 48 estudiantes, la mayoría alumnado de bachiller y del curso preparatorio para acceder a la Escuela de Estudios Superiores del Magisterio (p.102).^[15]

Para la formación eficaz de los docentes en química resultaba fundamental que ellos mismos aprendieran de forma práctica y experimental, evitando una formación exclusivamente teórica centrada en una química meramente descriptiva:

Los alumnos de algunas clases de Química agotan la memoria y la paciencia- aprendiendo, ad pedem litterae, los pesos atómicos, las densidades... y otras muchas constantes físicas de los ochenta y tantos cuerpos simples, amén de otros datos numéricos concernientes a los compuestos, siempre para responder a preguntas de examen. No es extraño que muchos estudiantes concluyan el curso detestando una disciplina que representa, para ellos, un fárrago de números, sin ningún contenido sustancial. Otros se ven imposibilitados de venir al laboratorio, porque ne-



Figura 6. Ilustraciones de varios montajes experimentales propuestos por Edmundo Lozano para el aprendizaje experimental de la química en la escuela primaria. Fuente: Reproducido de Ref. [15].

cesitan su tiempo y su atención para saturarse del texto, que es preciso saber de memoria para aprobar el examen. ¡Justo es que toda esta labor, execrable desde el punto de vista pedagógico, se desvanezca irremisiblemente al día siguiente de concluida! Lo malo es que consume energía y tiempo, y entorpece todo trabajo serio y útil (p. 104-105).^[19]

En su obra, Lozano dejó constancia de las múltiples prácticas de laboratorio que podían ser de interés para las aulas de la escuela primaria. Gracias a su habilidad para el dibujo, talento que manifestó desde su juventud, sus ilustraciones circularon entre los lectores de sus obras, facilitando la reproducción de los experimentos. Se trata de un aspecto de gran importancia dada la escasa formación en química experimental de los docentes de la época.

En la Figura 6 se pueden apreciar algunas de sus propuestas de prácticas de laboratorio, como la obtención de oxígeno a partir de clorato potásico y manganesa en polvo (1 y 3), la determinación del coeficiente de dilatación del aire (2), la demostración experimental de que la combustión del carbón produce un gas (anhídrido carbónico) que enturbia el agua de cal (4), la comprobación experimental de la dilatación del aire por acción del calor (5) o la destilación (6). En *La Química de la escuela primaria* detalló 65 experimentos clasificados atendiendo a la familia de sustancias implicadas en los mismos: aire, agua, anhídridos e hidróxidos, anhídridos y ácidos, sales, hidrocarburos, alcoholes, hidratos de carbono, ácidos orgánicos, éteres y alcaloides naturales.

Aunque el enfoque cualitativo está presente en la mayoría de los experimentos, la propuesta de prácticas muestra una notable ambición en el autor por elevar el nivel científico del magisterio. Para la realización de los experimentos, Lozano recomendaba las premisas del sistema educativo inglés que había conocido gracias a la pensión concedida por la JAE:

- Debe primarse la experimentación directa del discente frente a las demostraciones de cátedra por parte del docente.
- El trabajo de laboratorio debe ir seguido de la comparación de resultados, la discusión de divergencias y la fundamentación teórica de los hechos experimentales.

- Se deben combinar experimentos individuales con otros realizados en grupos, exigiendo siempre trabajo individual a cada discente.
- El cuaderno de laboratorio del discente constituye un instrumento de capital importancia que el docente debe revisar.
- Debe priorizarse la experimentación con instrumentos sencillos. Cuando sea posible, deben ser los propios estudiantes quienes elaboren los aparatos y artefactos necesarios para los experimentos.

Cabe destacar que, si bien Lozano abogó por una explícita modestia material para la enseñanza experimental de las ciencias fisicoquímicas en lo referente a aparatos e instrumentos, sus propuestas de prácticas de laboratorio de química implicaban una nada desdeñable colección de reactivos, no siempre fáciles de conseguir. Este punto no hace sino ilustrar las particularidades de la enseñanza experimental de la química frente al caso de la física, siendo en esta última donde la modestia material encontraba un acomodo menos contradictorio entre discurso y acción.

A la hora de seleccionar experimentos para la escuela primaria, Lozano se inspiró en la concepción del desarrollo histórico de las ciencias en tres fases, la cual será también compartida por alumnos suyos como Modesto Bargalló.^[16] Así, la primera fase de producción del conocimiento científico es eminentemente cualitativa, basada en la observación. Seguidamente, se sistematiza dicho conocimiento a través de las medidas cuantitativas. Finalmente, dicho conocimiento se estructura y generaliza en forma de leyes y teorías. Para Lozano, las fases cualitativa y cuantitativa eran las que deben estar presentes en la escuela primaria, dejando el estudio de leyes y teorías para enseñanzas superiores, ya que el aprendizaje de las mismas en la escuela primaria solo podría hacerse de forma dogmática dada la "falta de preparación y de sentido crítico del alumnado"^{(p.5).}^[21]

Respecto a los experimentos cuantitativos, Lozano defendió su pertinencia en las escuelas señalando que: "el experimento cuantitativo no ofrece al alumno ninguna dificultad seria ni le exige más preparación que el conocimiento de las operaciones de la aritmética vulgar"^{(p.5).}^[15]

La experimentación desprovista de una observación concienzuda, la medida (cuando procediese) y la interpretación de los hechos encerraba, no obstante, un riesgo para el aprendizaje que se debía evitar. De ahí el interés de Lozano en facilitar experimentos selectos para que el laboratorio cumpliera su función educadora evitando caer en el mero espectáculo:

Las primeras tentativas de vulgarización científica y de adaptación del método experimental a la escuela dieron el ser a la ciencia recreativa, mezcla artificiosa del arte de prestidigitador y de una física explicativa ramplona, que ofrece al maestro escasa o ninguna substancia aprovechable (p.5).^[14]

Es por ello que en sus obras, Lozano da cumplida cuenta de los muchos experimentos cualitativos y cuantitativos que los maestros y las maestras de escuela primaria podían realizar, huyendo de costosos montajes y sofisticados instrumentos (aunque no pueda decirse lo mismo de los reactivos), facilitando detalles para su reproducción y ayudando a la interpretación de los hechos experimentales observados y las medidas obtenidas. Todo ello sustentado en una profunda imbricación entre aprendizaje experimental e historia de la ciencia que también está presente en su apuesta por una cuidada selección de los manuales escolares:

Tocante a la enseñanza de que tratamos [la enseñanza de las ciencias fisicoquímicas], convendrían dos clases de libros: guías del trabajo de laboratorio, completadas con amplios cuestionarios, y páginas de la historia de las ciencias fisicoquímicas y de sus aplicaciones e influencia social (p.21).^[14]

Sin duda, una apuesta renovada, entusiasta y ambiciosa por una mejora de la enseñanza de las ciencias no exenta de dificultades (de las que el propio Lozano fue ampliamente consciente) en la que la formación y la labor del profesorado jugaban un papel central:

¿Puede nadie imaginarse que en una escuela cuya consignación no es suficiente para comprar papel y escobas llegue a instalarse un laboratorio para la enseñanza de las ciencias fisicoquímicas? La respuesta a esta pregunta no es difícil. La preparación y el buen deseo del maestro pueden remedir en gran parte la penuria de los medios (p.17).^[14]

A modo de conclusión: Química en la escuela, un reto didáctico y social pendiente

La formación científica de los docentes de Educación Primaria es, todavía hoy, una cuestión frecuente en los debates educativos y sociales. Desde la investigación educativa se ha señalado, entre otras muchas propuestas, la necesidad de una mayor formación competencial del profesorado, que deberían aprender en sus años en formación del mismo modo que se desea que enseñe en sus años de ejercicio.^[17] Si bien es cierto que la didáctica de las ciencias experimentales ha contribuido notablemente a la formación científica de maestros y maestras, no es menos cierto que muchas de las problemáticas que ya abordó Lozano siguen todavía hoy sin resolver.

Es por ello que la recuperación de las biografías y de la obra de docentes de ciencias como Edmundo Lozano constituye un ejercicio de enorme interés no solo para la historia y la didáctica de las ciencias, también para el profesorado. Este colectivo profesional podrá encontrar en la historia de la educación científica una poderosa herramienta para contextualizar su labor trabajando por la cultura científica

ciudadana y para pensar críticamente múltiples cuestiones que afectan a su quehacer docente, como los cambios curriculares, las dificultades para el trabajo experimental o la incorporación de innovaciones metodológicas. Dado que se trata de cuestiones que hunden sus raíces en tiempos más lejanos que nuestro contexto educativo actual, todo análisis profundo y sosegado de las mismas no ha de desatender las lecciones que la mirada histórica nos brinda.

Hoy la química cuenta con una presencia periférica en las aulas de Educación Primaria, el laboratorio no se ha convertido en un espacio de aprendizaje en las escuelas y los conocimientos de química de los docentes de Educación Primaria están lejos de alcanzar el nivel que Lozano promulgó y que una sociedad instruida científicamente requiere. Lejos del desánimo, obras como las de este ilustre profesor de ciencias constituyen un valioso punto de partida para pensar la formación del profesorado y su acción docente. Así, una mayor formación de los futuros maestros y maestras en química experimental, con una cuidada selección de saberes fundamentales y un desempeño autónomo en el laboratorio, se revela como una estrategia que, lejos de perderse en la noche de los tiempos, constituye una línea de trabajo que debe reforzarse desde la actual didáctica de las ciencias experimentales. Asimismo, dotar a los colegios de Educación Primaria de laboratorios escolares o de materiales de trabajo experimental constituye otra línea de actuación de enorme interés, siempre que vaya acompañada del perfeccionamiento y la actualización de la formación del profesorado para su uso eficaz. Solo a través de profesionales del magisterio que conozcan los fundamentos de la química y hayan interiorizado el trabajo experimental en sus años de formación podrá convertirse el laboratorio escolar en un espacio imprescindible para nuestros centros educativos y la experimentación, en la forma natural de aprender química. Sin duda, una acción que solo podrá redundar en una sociedad más instruida en la que la química sea valorada como una disciplina «interesante y de reconocida utilidad» (p.6).^[15]

Bibliografía

- [1] J. R. Bertomeu Sánchez, en Relocating the History of Science: Essays in Honor of Kostas Gavroglu (Eds: T. Arabatzis, J. Renn, A. Simoes), Springer, Dordrecht, **2016**, pp. 159-173.
- [2] A. Nieto-Galan, Los públicos de la ciencia. Expertos y profanos a través de la ciencia, Marcial Pons, Barcelona, **2011**.
- [3] J. L. Rudolph, How we teach Science? What's changed and why it matters, Harvard University Press, Cambridge, **2019**.
- [4] J. M. Bernal Martínez, Renovación pedagógica y enseñanza de las ciencias. Medio siglo de propuestas y experiencias escolares (1882-1936), Biblioteca Nueva, Madrid, **2001**.
- [5] J. L. Rudolph, Why we teach science and why we should, Oxford University Press, Oxford, **2023**.
- [6] M. Bartolomé Cossío, BILE. **1919**, 712, 193-195.
- [7] J. Ontañón, BILE. **1929**, 830, 175-183.
- [8] C. de Lucas del Ser, Argutorio. **2014**, 17(32), 40-45.
- [9] A. Viñao, en La Institución Libre de Enseñanza y Francisco Giner de los Ríos: Nuevas perspectivas, vol. 2, Publicaciones de la Residencia de Estudiantes, Madrid, **2012**, pp. 420-435.
- [10] P. L. Moreno-Martínez, en La Institución Libre de Enseñanza y Francisco Giner de los Ríos: Nuevas perspectivas, vol. 2, Publicaciones de la Residencia de Estudiantes, Madrid, **2012**, pp. 458-475.
- [11] O. Barberá, en Escoleres i mestres. Dos siglos de historia y memoria en Valencia (Eds: O. Barberá, A. Mayordomo), Publicaciones de la Universitat de València, Valencia, **2017**, pp. 438-463.

- [12] L. Moreno-Martínez, *Dynamis*. **2022**, 42(2), 551-581.
- [13] M. A. Delgado-Martínez, Margalida Comas Camps (1892-1972). *Científica i pedagoga, Govern de les Illes Balears, Palma*, **2009**.
- [14] E. Lozano, *La Enseñanza de las Ciencias Físico-Químicas y Naturales, La Lectura, Madrid*, **1917**.
- [15] E. Lozano, *La Química de la Escuela Primaria, Museo Pedagógico Nacional, Madrid*, **1913**.
- [16] L. Moreno-Martínez, *Enseñanza de las Ciencias*. **2021**, 39(3), 215-230.
- [17] J. M. Valle, J. Manso, J. Sánchez-Tarazaga, *Las competencias profesionales docentes. El Modelo 9:20, Narcea, Madrid*, **2023**.

Luis Moreno Martínez



Departamento de Física y Química, IES Enrique Tierno Galván, Parla, Comunidad de Madrid.

Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Física y Química.

C-e: luis.morenomartinez@educa.madrid.org

ORCID: 0000-0002-4540-5752

Funcionario de carrera del Cuerpo de Profesores de Enseñanza Secundaria de la Comunidad de Madrid en la especialidad de Física y Química con destino en el IES Enrique Tierno Galván de Parla. Licenciado en Química (UCM). Experto en Divulgación y Cultura Científica (UO). Máster en Formación del Profesorado (UCM) y en Historia de la Ciencia y Comunicación Científica (UMH). Doctor en Educación (UAM) y en Estudios sobre Ciencia (UV). Vicepresidente del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química. Embajador Scientix, la comunidad para la enseñanza de las ciencias en Europa.

¿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



Las manos en química

Hands in Chemistry

Santiago Álvarez

Catedrático Emérito de Química Inorgánica.

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

En la columna anterior destacaba que los objetos más emblemáticos de la química son los aparatos de laboratorio de vidrio, tales como vasos de precipitados, balones, erlenmeyers o tubos de ensayo.^[1] Esos aparatos aparecían en los manuales docentes frecuentemente en grabados en que unas manos de químico independizadas de su cuerpo mostraban el gesto técnico que se debe realizar para llevar a cabo la operación química descrita. La manipulación se consideraba tan importante que muchos libros incluían la palabra en su título.^[2-10] "Manipular", operar con las manos o con cualquier instrumento, proviene en última instancia del latín *manus* (mano). Si para las culturas beréber y romana la mano significa protección, autoridad y poder,^[11] en las manipulaciones químicas son las manos las que otorgan al operario todo el poder de esta ciencia. Es por ello que nos ocupamos en esta sección de las imágenes de manos, en química, al tiempo que se intentan establecer conexiones con imágenes semejantes en el mundo del arte.

Para hacernos una idea de la importancia que daban los manuales de química a los gestos adecuados para diversas tareas del laboratorio baste considerar el ejemplo del de Achille Mermet (1849-1919), profesor del Lycée Charlemagne de París desde 1875, quien en su obra *Manipulations de Chimie*,^[2] publicada en 1885 y re-editada en 1899, incluía más de 200 imágenes, de las cuales 109 muestran el detalle de las manos en muy variados experimentos. Empecemos, sin embargo, por dos ejemplos tomados de otro libro.^[12] En el primero (Figura 1a) vemos cómo un operario, se apresta a partir un tubo de vidrio después de haber hecho una incisión con una lima, colocando sutilmente sus dedos meñiques en la parte contraria del tubo sobre la que ejerce presión, de tal manera que amortigüen la fuerza para facilitar una ruptura limpia. En el segundo ejemplo (Figura 1b), para dirigir el líquido de un frasco al interior de un tubo de ensayo, el operario sostiene el tapón de vidrio del frasco con los dedos índice y pulgar de la mano izquierda, mientras los dedos meñique y anular de la misma mano sostienen el tubo de ensayo. Otro detalle interesante de manipulación se puede ver en la operación de trasvase de gases (Figura 2a), en que una mano sostiene con los dedos índice y pulgar el cuello de un frasco, mientras los restantes dedos de esa misma mano mantienen el embudo introducido en el frasco.^[2] Un detalle notable de esta ilustración de 1885 es que las manos son de mujer.

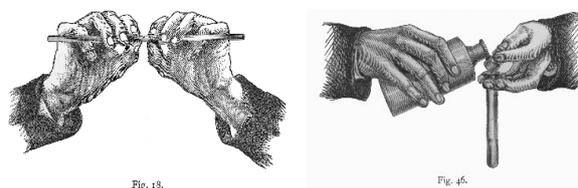


Figura 1. Dos grabados de manipulaciones en el laboratorio: ^[12] (izq.) Manera de cortar un tubo de vidrio tras haber hecho una incisión con una lima, (dcha.) Cómo utilizar el tapón esmerilado de un frasco para verter el líquido que contiene a un tubo de ensayo. Reproducido de Ref. [12].

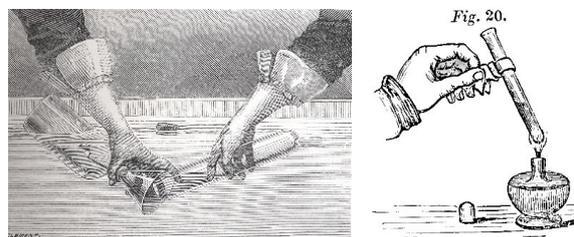


Figura 2. (izq.) Trásvase de gases.^[2] (dcha.) Forma de sostener un tubo de ensayo para calentarlo con un mechero de alcohol. Reproducido de Ref. [13].

Gracias a los numerosos grabados que muestran la manera de sostener un tubo de ensayo para calentarlo, como el de la Figura 2b, podríamos deducir que durante buena parte del siglo XIX en vez de una pinza se empleaba una tira de papel. Sirva como ejemplo la explicación de Booth que acompaña la Figura 2b: «El calor se aplica directamente al extremo del tubo con la ayuda de un mechero de alcohol, mientras que el tubo de ensayo se sostiene por el otro extremo en posición inclinada, ya sea con los dedos, o, si está muy caliente, con una tira de papel doblada enrollada a su alrededor». ^[13] Sin embargo, la explicación de Mermet para una figura análoga nos da una idea ligeramente diferente: "Tomarás el tubo de ensayo con unas pinzas de madera o de hierro; si no dispones de estos. útiles, utilizarás una tira de papel de filtro doblada en diez partes y juntarás los dos extremos girándolos para obtener una especie de asa aislante".^[2]

Aunque son frecuentes las ilustraciones en que el experimentador aparece de cuerpo entero, son más numerosos los grabados en que las manos “flotan” en el espacio, probablemente por economía de espacio y tinta, así como por centrar la atención en el gesto. Podemos encontrar precedentes de esas “manos voladoras” ya a finales del siglo XIV. En la Galleria della Accademia de Florencia, un poco alejado del tumulto que rodea al impresionante David de Miguel Ángel, se expone un cuadro del Maestro della Madonna Strauss, titulado “Cristo en piedad entre la Virgen y santa María Magdalena con símbolos de la Pasión”.^[14] El motivo central del cuadro es el triángulo formado por María Magdalena, que sostiene con sus dos manos la mano derecha inerte de Jesús, la figura central, y María, que hace lo propio con la mano izquierda. Estas tres figuras están rodeadas por un batiburrillo de caras, manos y objetos, que pretenden describir (a) la última cena, (b) la captura de Jesús, (c) la flagelación, (d) la crucifixión, (e) el descendimiento de la cruz y (f) los símbolos de Cristo. Otro cuadro parecido, del mismo autor, “Piedad con los símbolos de la Pasión y los santos Gregorio y Longinos”, que se encuentra en la iglesia de San Rómulo en Valiana (Pratovecchio), presenta algunas variantes, entre las cuales la presencia de la mano de San Pedro en el momento de cortar la oreja de Malco, siervo del Sumo Sacerdote.

Centrándonos sólo en las 15 manos flotantes del *collage* de Florencia y en su simbología, vemos (1) una mano que sostiene una bolsita con monedas entre el pulgar y el índice, y la deposita en la palma de la mano de Judas; (2) otra mano sostiene una antorcha en el apresamiento de Jesús en el Huerto de los Olivos; (3) la mano de un falso testigo señala con el índice a Jesús, y la mano de Caifás sostiene un báculo, simbolizando la condena de Jesús por éste, gracias a dos falsos testimonios; (4) a Poncio Pilatos lavándose las manos tras haber consultado a la muchedumbre si prefieren que libere a Jesús o a Barrabás; (5) la mano cerrada de Jesús empuñando una palma, a modo de cetro; (6) un puño cerrado del que sobresale el pulgar entre los dedos índice y corazón; una mano que acerca un cuerno a los labios de un joven, simbolizando los gestos de burla y humillación hacia Jesús; (7) una mano que sujeta un puñado de clavos y otra que hace el gesto de coger uno con los dedos índice y pulgar, como símbolo de la crucifixión; (8) la mano del centurión Longinos que sostiene una lanza con la que ha herido a Jesús en el costado; (9) una mano que sostiene el globo terráqueo, símbolo de Cristo Salvador del mundo.

Algo posteriores son las famosas manos de Miguel Ángel en “La creación de Adán”, en la Capilla Sixtina (1508-1512) y el grabado de las “Manos en oración” de Albrecht Dürer (1508, Museo Albertina de Viena). Ambas obras tienen, además de su indiscutible valor artístico, la simbología que le hemos añadido los químicos, para quienes son símbolos de las interacciones intermoleculares y de la quiralidad molecular, respectivamente. En numerosas obras de arte las manos de músicos, de profetas, de santos varones o mujeres piadosas, tienen una gran expresividad y a menudo una enorme importancia simbólica, pero me he limitado a un caso poco conocido de un *collage avant la lettre* (recordemos que la palabra “collage” en arte aparece a principios del siglo XX) y dos ejemplos archiconocidos como simples botones de muestra para situar las imágenes de las manipulaciones químicas en un contexto más amplio, tanto histórico como cultural.

Tras el advenimiento de la fotografía en la segunda mitad del siglo XIX, las imágenes de la química no son ajenas a las nuevas técnicas. Así, Robert Cornelius (1809-1893), a quien se atribuye el mérito de haber realizado el primer retrato fotográfico (un autorretrato) en 1839, es también autor de una fotografía del químico danés-estadounidense Martin Hans Boyè, la primera de alguien

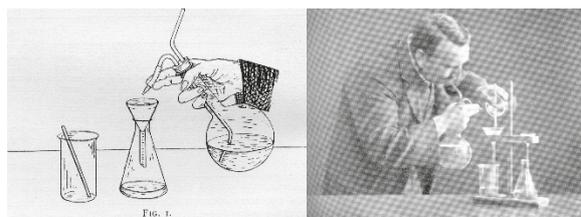


Figura 3. Dos ilustraciones diferentes del uso de un frasco lavador: (izq.) para lavar un precipitado recogido en un filtro, y (dcha.) para transferir un precipitado a un filtro. Reproducido de Ref. [18].

realizando operaciones químicas, que se conserva en el George Eastman Museum de Rochester^[15] y sobre la cual se puede encontrar más información en publicaciones recientes.^[16,17] En 1913, Alexander Charles Cumming y Sydney Alexander Kay, profesores de la Universidad de Edimburgo, ilustraban la utilización de un frasco lavador en la primera figura de su libro (Figura 3a).^[18] Obsérvese cómo un pequeño trozo de tubo de goma interpuesto entre el tubo de salida del frasco lavador y la punta estrecha ofrece una flexibilidad que permite orientar fácilmente el chorro de agua a diferentes partes del embudo con un simple gesto de los dedos índice y corazón, mientras los tres dedos restantes se ocupan de sostener el balón con el agua destilada. Curiosamente, en ese mismo libro, los autores hacen un tímido intento de introducir fotografías en lugar de grabados, aunque tan solo para las operaciones de lavado de un precipitado por decantación y de transferencia de un precipitado a un filtro con la ayuda de un frasco lavador (Figura 3b). Aunque el libro fue reeditado varias veces, en la sexta edición aparecen igualmente las dos fotografías mencionadas.^[19] Aunque no tengo la seguridad de que esas fotografías de manipulaciones químicas sean las primeras aparecidas en un libro, pueden servir como ejemplo del período de transición del dibujo a la fotografía, a la espera de un análisis más exhaustivo de las imágenes de los libros de química de esa época.

La técnica de fijación y reproducción de imágenes recién nacida, igual que antes la pintura y la escultura, también se interesa por los detalles de las manos. Un ejemplo es “La mano del banquero D.”, del gran fotógrafo Félix Nadar (Figura 4a), fechada en 1861, en la que destacan las líneas de la mano y una cicatriz paralela al dedo pulgar. Otro ejemplo interesante es la foto de Henri Manuel (1874-1947), de las “Manos de Arnold Netter”, médico y biólogo francés (Musée d’Orsay, París). Se trata de un fotomontaje que muestra las palmas de las manos



Figura 4. (izq.) “La mano del banquero D.” (estudio quirográfico) obtenida en una hora con luz eléctrica, fotografía de Félix Nadar, 1861. © Ministère de la Culture (France), Médiathèque de l’architecture et du patrimoine (MAP), diffusion RMN-GP, reproducido con autorización. (dcha.) Fotografía de manos, de autor desconocido, ca. 1875, cortesía del George Eastman Museum.

con la cara en segundo plano ligeramente desenfocada y sus dorsos "flotando" a la derecha. Por último, centramos nuestra atención en la foto "Man and child's hands" (Figura 4b), de autor desconocido y fechada alrededor de 1875, que forma parte de la colección del George Eastman Museum of Rochester (N.Y.). En esta excelente foto la pequeña mano de un niño se posa sobre el dorso de la de un adulto, ofreciendo un marcado contraste en el tamaño y la tonalidad de la piel de ambas manos, al tiempo que introduce una sutil antisimetría entre la mano derecha del niño y la izquierda del adulto.^[16]

En un contexto muy diferente, es interesante observar los gestos de las manos de los químicos (y los científicos en general, y los periodistas, y los políticos...) cuando imparten una lección o una conferencia. En este sentido, el psicoanalista Darian Leader observa que no existe ninguna cultura humana en la que los oradores no muevan sus manos al hablar, y la conexión entre el movimiento de las manos y el lenguaje ha dado lugar a numerosas investigaciones.^[20] Basta con observar atentamente a los oradores en un congreso, o a periodistas y políticos en las noticias televisivas, para concluir que en muchos casos las manos se mueven simplemente para acompañar el ritmo del discurso, a manera de metrónomo. Los más conspicuos oradores, en cambio utilizan las manos para sugerir o complementar la parte verbal de su discurso (Figura 5), aunque condicionados, en épocas recientes, por el forzoso manejo de un puntero láser o un micrófono.

Aunque hemos tan solo rozado la superficie del tema abordado, confío haber abierto el apetito del lector para explorar por su cuenta el vasto campo de las imágenes de manos y, en particular, el planeta de las ilustraciones de manipulaciones químicas. Como botón de muestra adicional apunto aquí una referencia sobre el uso de manos y otras partes del cuerpo en numerosas culturas desde tiempos mesopotámicos como unidades de medida: pulgada, palmo, pie, codo y las distintas variaciones de brazo o braza.^[21] No puedo concluir sin hacer una fugaz referencia al "Elogio de la mano" del historiador del arte francés Henri Focillon (1881-1943),^[22] con una cita que podría aplicarse perfectamente a la manipulación de aparatos de laboratorio:

Nueva, la herramienta no está «terminada», es necesario que se establezca entre ella y los dedos que la sostienen esa concordancia nacida de la posesión gradual, de ligeros gestos combinados, de costumbres recíprocas e incluso de un cierto desgaste. Entonces el instrumento inerte se convierte en un ser vivo.

Bibliografía

- [1] S. Álvarez, *An. Quím. RSEQ* **2024**, 120, 99-101.
- [2] A. Mermet, *Manipulations de Chimie. Métalloïdes*, Paul Dupont, París, **1885**.
- [3] K. R. Fresenius, *Traité d'analyse chimique qualitative: Des manipulations et opérations chimiques, des réactifs et de leur action sur les corps les plus répandus, essais au chalumeau, analyse des eaux potables, des eaux minérales, des terres, des engrais, etc.: recherches chimico-légales, analyse spectrale*, traducido de la 14ª edición en alemán, Savy, París, **1871**.
- [4] E. Jungfleisch, *Manipulations de chimie: guide pour les travaux pratiques de chimie de l'École Supérieure de Pharmacie de Paris*, Balillière, París, **1893**.
- [5] J. H. Jüngken, *Chymia experimentalis, sive naturalis philosophia mechanica: ubi prior pars generosiorum remedium fabricam ex triplici regno cum omnibus manipulationibus fideliter exhibet, pars altera eadem medicamenta, inter alia, ad quoscumque morbos generaliter adaptare docet: adjectis montis medicis affectibus puerorum concernentibus, nec non experimentis rerum naturalium principia commentarii, loco illustrantibus*, J. Maximilianum, Frankfurt, **1702**.

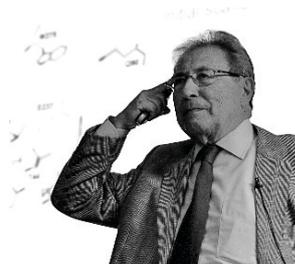


Figura 5. Un gesto del Prof. Joan Bertran durante una conferencia en Barcelona, 2014. Foto: S. Álvarez.

- [6] R. Leblanc, *Manipulations de chimie: leçons pratiques à l'usage des élèves des établissements d'enseignement spécial, professionnel, primaire supérieur et de toutes les institutions*, F. E. André-Guédon, París, **1880**.
- [7] F. V. Raspail, *Nouveau système de chimie organique fondé sur des nouvelles méthodes d'observation et précédé d'un traité complet de l'art d'observer et de manipuler en grand et en petit dans le laboratoire et sur le porte-objet du microscope*, Baillière, París, **1838**.
- [8] H. Violette, *Nouvelles manipulations chimiques* sManos para simplifiées, L. Mathias, París, **1847**.
- [9] F. De Walque, *Manuel de manipulations chimiques suivi d'un manuel de chimie opératoire*, Aub. Peeters-Ruelens, Lovaina, **1884**.
- [10] M. Faraday, *Chemical Manipulation: being Instructions to Students in Chemistry on the Methods of Performing experiments of Demonstration or Research, with Accuracy and Success*, John Murray, Londres, **1842**.
- [11] J. E. Cirlot, *Diccionario de símbolos*, Siruela, Madrid, **2001**.
- [12] A. G. V. Harcourt, H. G. Madan, *Exercises in Practical Chemistry*, Clarendon Press, Oxford, **1869**.
- [13] J. C. Booth, *The Encyclopedia of Chemistry, Practical and Theoretical*, Henry C. Baird, Philadelphia, **1850**, p. 171.
- [14] "Cristo in pietà tra la Madonna e santa Maria Maddalena con simboli della Passione", disponible en <http://www.travelingintuscany.com/arte/maestrodelamadonnastrauss/cristoinpieta.htm>, (consultado: 23/09/2024).
- [15] "Robert Cornelius", disponible en : <https://collections.eastman.org/objects/26200/robert-cornelius?ctx-%20=e02d862c-b70f4aae-8b26-40ba0c41c>, (consultado: 23/09/2024).
- [16] T. Mulligan, D. Woollins, eds., *Historia de la fotografía. De 1839 a la actualidad*, Taschen, Colonia, **2012**.
- [17] S. Álvarez, *An. Quím.* **2018**, 114, 257-267.
- [18] A. C. Cumming, S. A. Kay, *A Text-Book of Quantitative Chemical Analysis*, Gurney and Jackson, **1913**; p. 14, 24.
- [19] A. C. Cumming, S. A. Kay; *A Text-book of Quantitative Chemical Analysis*, 6ª ed., Gurney & Jackson: Londres, **1934**; p. 30.
- [20] D. Leader, *Hands: What we Do with Them and Why*, Penguin, Londres, **2017**.
- [21] R. O. Kaaronen, M. A. Manninen, J. T. Eronen, *Science* **2023**, 380, 948-954.
- [22] H. Focillon, *Vie des formes: suivi de Éloge de la main*, Presses Universitaires de France, París, **1996**.



Santiago Álvarez

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

Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1-11, 08028
Barcelona.

Noticias de la RSEQ

Premios RSEQ-Lilly 2024

La Real Sociedad Española de Química y Lilly han otorgado los XXII Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado, así como el Premio *Early Career Researcher*, ambos galardones reconocen los trabajos en las áreas de Química Orgánica, Farmacéutica y Analítica. El Premio *Early Career Researcher*, que destaca el mejor proyecto de un investigador menor de 40 años, ha recaído en Marc García Borràs, del Departament de Química–Universitat de Girona, Institut de Química Computacional i Catàlisi (IQCC).

El trabajo de Marc García Borràs se centra en la modelización computacional de procesos bioquímicos y biocatalíticos, con el objetivo de entender, diseñar e implementar nuevas actividades enzimáticas. Según explica el joven investigador, “la biocatálisis facilita reacciones químicas bajo condiciones suaves, reduciendo así el consumo energético requerido y minimizando la generación de residuos tóxicos mediante la drástica disminución de manipulaciones necesarias para aislar y purificar los productos de una reacción química y preparación de reactivos”.

Por su parte, los alumnos de Doctorado premiados han sido Marcos Vilela, del Centro Singular de Investigación en Química Biológica y Materiales Moleculares (CiQUS) de la Universidad de Santiago de Compostela (USC); Andrea Palone, de la Universitat de Girona (UdG) y Università degli Studi di Roma “Tor Vergata”; y Beatriz Arévalo, de la Universidad Complutense de Madrid (UCM).

La tesis de Marcos Vilela, titulada *Supramolecular systems based on cyclic peptides for the selective transport of antitumor drugs*, está centrada en desarrollar nanotubos peptídicos sensibles a estímulos externos como la luz, así como la potencial aplicación de estas estructuras para el transporte de fármacos antitumorales hasta las células cancerosas. Para Vilela, este premio “supone un gran orgullo y un reconocimiento a todo el esfuerzo realizado durante la tesis doctoral y representa una gran motivación para el futuro”.

Por su parte, el trabajo de Andrea Palone, *Manganese catalysis enables expedient chiral pool expansion via asymmetric C-H bond oxidation*, se ha enfocado en la oxigenación estratégica y enantioselectiva de enlaces C-H en fragmentos alifáticos, “lo cual tiene un gran atractivo en la química orgánica debido a la versatilidad de los grupos funcionales que contienen átomos de oxígeno”, precisa el autor de la investigación, que puntualiza, además, que “estos grupos son valiosos intermediarios sintéticos y componentes clave en la estructura de productos naturales y fármacos”.

Por último, *Cutting-edge bioelectroanalytical tools to detect autoimmune, neurodegenerative and cancer diseases* es la tesis



De izquierda a derecha: Marc García Borràs, Beatriz Arévalo, Marcos Vilela (arriba) y Andrea Palone (abajo).

de Beatriz Arévalo, centrada en los biosensores electroquímicos, que han adquirido gran relevancia al ser capaces de detectar individual o simultáneamente biomarcadores relacionados con enfermedades prevalentes. «Este premio es un estímulo para seguir avanzando en mi carrera científica y laboral con pasión y dedicación, sabiendo que nuestro trabajo tiene un valor y reconocimiento dentro y fuera de la comunidad científica», explica Arévalo.

Apoyo a los investigadores jóvenes

Convocados anualmente por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y Lilly España, los Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado reconocen los incipientes logros de estudiantes que están cursando su tesis doctoral en las áreas de Química Orgánica, Farmacéutica o Analítica y que son miembros de la Real Sociedad Española de Química. Cada ganador recibe un apoyo económico de 2.000 euros.

El Premio de Investigación *Early Career Researcher*, dotado con 4.000 euros, reconoce la calidad y cantidad de las publicaciones, patentes y presentaciones científicas del joven investigador, así como su participación en proyectos científicos. Antonio Echavarren, presidente de la Real Sociedad Española de Química opina que es muy importante respaldar el trabajo de los científicos jóvenes, “tanto los que estudian el doctorado, como los que ya desarrollan un proyecto de investigación, pues su esfuerzo contribuye a la ciencia de nuestro país y por lo tanto al progreso de todos”.

Por su parte, María José Lallena, directora del Centro de I+D de Lilly España, explica que “un año más estamos encantados de participar en estos reconocimientos a los jóvenes investigadores, pues nuestra labor va más allá de la actividad que realizamos en nuestras instalaciones y el apoyo y la colaboración con otras instituciones nos permite contribuir a la creación de un ecosistema científico robusto que favorece las sinergias, redundando en mejores resultados y por ende, a largo plazo, repercutirá positivamente en los pacientes”.

NOTICIAS GRUPOS ESPECIALIZADOS

XX Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química Inorgánica y XIV Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química del Estado Sólido, de la RSEQ (QIES24)



Participantes en el congreso QIES24 en los jardines exteriores del rectorado de la UDC.

Entre los días 2 y 5 del pasado mes de junio se ha celebrado en la Universidad de A Coruña el congreso QIES24, XX Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química Inorgánica y XIV Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química del Estado Sólido, de la Real Sociedad Española de Química, siendo su sede el magnífico Paraninfo del Rectorado de dicha Universidad, que tiene una ubicación privilegiada abierta al Atlántico en el seno de dicha ciudad.

El Congreso, que está muy consolidado como reunión nacional de referencia en nuestros campos, fue un gran éxito y cumplió ampliamente con su objetivo de fomentar una discusión conjunta y enriquecedora entorno a las investigaciones, desarrollos y avances recientes en los campos de la Química Inorgánica y del Estado Sólido, muchos de ellos directamente relacionados con los grandes retos a los que se enfrenta nuestra sociedad tales como energía, sostenibilidad, descarbonización, salud, etc. Y contó con la participación muy activa de más de 100 congresistas.

Además, ofreció un marco muy favorable para el establecimiento y el reforzamiento de colaboraciones e intercambios en estos ámbitos, en un ambiente muy cordial, inspirador e integrador. Y fomentó la visibilidad de las mujeres científicas, cuya presencia en el mismo fue ya prácticamente paritaria; incentivando, también muy especialmente la participación activa de estudiantes y jóvenes que se están iniciando en la investigación, que constituyeron más del 40 % de los participantes, a los que se concedieron una serie de ayudas que cubrieron su inscripción al congreso.

El Congreso incluyó 4 conferencias plenarios a cargo de científicos de reconocido prestigio internacional: Andrew Goodwin, de la Universidad de Oxford, Reino Unido que disertó sobre “Complexity in molecular perovskite analogues”; Eva Jakab Toth del Centre de Biophysique Moléculaire CNRS Orléans, Francia, cuya intervención versó sobre “Metal complexes for magnetic resonance imaging”; Marisol Martín González del Instituto de Micro y Nanotecnología del CSIC, Madrid, que impartió la conferencia titulada “Ingeniería de metamateriales: diseño, propiedades y aplicaciones de nanoredes tridimensionales”; y Alfonso Caballero Martínez de la Universidad de Sevilla, que expuso el trabajo “Confinement of catalytic active phases in structured supports: A way to improve the stability and performance of catalytic materials”.

Contó además con 10 conferencias invitadas, de las que 8 fueron impartidas por investigadores/as con trayectoria destacada en su ámbito de trabajo (Elena Cándida Gonzalo Martín, del CIC energiGUNE de Álava; Álvaro Caballero Amores, de la Universidad de Córdoba; Raquel Trujillano Hernández, de la Universidad de Salamanca; Santiago Herrero Domínguez, de la Universidad Complutense de Madrid; Beatriz Julián López, de la Universidad Jaume I, Castellón; Xabier Martínez Irujo, de la Universidad de Münster, Alemania; María Giménez López, de la Universidad de Santiago de Compostela; M^o Ángeles Gómez de la Torre, Universidad de Málaga). Y las dos jóvenes investigadoras que ganaron el premio, convocado previamente por cada



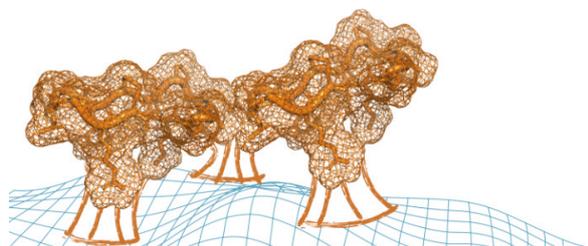
El profesor Alario participando en las conferencias del QIES24.

uno de los grupos especializados, al mejor trabajo publicado en el pasado año 2023: Elena Solana Madruga, de la Universidad Complutense de Madrid y Nereida Hidalgo Reinoso CSIC- Universidad de Sevilla.

Completaron el programa 28 comunicaciones orales, 21 comunicaciones oral-*flash* y 56 pósters que abordaron temas muy variados, que abarcaron desde: avances en el desarrollo de baterías de ion litio, magnesio, sodio o calcio, pilas de combustible, desarrollo de nuevos materiales basados en cerámicas avanzadas, métodos de química suave para la obtención de perovskitas solares, nuevas propiedades magnéticas en sistemas altamente frustrados, cementos inteligentes, nuevos compuestos de coordinación heteronucleares, nuevos agentes de contraste, etc.

Además, se hizo un homenaje al profesor John B. Goodenough galardonado con el Premio Nobel de Química en 2019 por ser uno de los padres de las baterías de litio, y fallecido el año

pasado, siendo la profesora María Antonia Señarís Rodríguez, discípula directa suya en la Universidad de Texas en Austin (EE. UU.) y organizadora el QIES 24, la encargada de hacer una pequeña *laudatio*. Y se le dedicó, a continuación, la siguiente sesión que estuvo presidida por el profesor Miguel Ángel Alario Franco, gran amigo y admirador del primero, además de fundador, hace 40 años, y Primer Presidente del grupo del Estado Sólido, quien asistió con gran entusiasmo a todo el congreso. Aún conmocionados por su reciente fallecimiento acontecido de forma totalmente inesperada y repentina este pasado mes de agosto, aprovechamos para agradecer y reconocer su extraordinaria figura, esencial para el desarrollo de la Química de Estado Sólido en España y su papel de gran embajador de la misma a lo largo de su dilatada y fructífera carrera. Su dedicación, entusiasmo y pasión por la Ciencia, así como su optimismo vital y enorme humanidad, quedarán siempre en nuestro recuerdo.

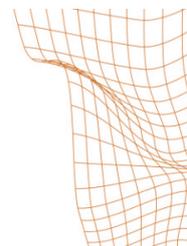


ChemBio VII

18-20 NOV 2024



SEVILLA



XXIX Reunión del Grupo Especializado de Química Orgánica de la RSEQ



Foto oficial de la XXIX Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química Orgánica de la RSEQ.

El pasado mes de junio, durante los días del 26 al 28, se celebró la XXIX Reunión Bienal del Grupo Especializado de Química Orgánica (GEQOR) de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), cuya sede fue el Auditorio de Tenerife ubicado en la ciudad de Santa Cruz de Tenerife. La Reunión Bienal fue organizada por investigadores del Instituto de Productos Naturales y Agrobiología (IPNA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y el Instituto Universitario de Bio-Orgánica "Antonio González" (IUBO) de la Universidad de La Laguna (ULL). El número de participantes ascendió a 280, provenientes de diversas universidades españolas, centros de investigación del CSIC y otras instituciones autonómicas, así como de algunos centros de investigación extranjeros. Entre los Conferenciantes Plenarios tuvimos el placer de escuchar a los profesores Erick M. Carreira (ETH Zürich, Suiza), Sabine Flitsch (Universidad de Mánchester, Reino Unido), Rubén Martín (ICIQ, España), Stefan Matile (Universidad de Ginebra, Suiza) y Peter R. Schreiner (Universidad de Justus Liebig, Alemania). Adicionalmente se impartieron diez Conferencias Invitadas realizadas por destacados científicos nacionales, cuarenta y dos Comunicaciones Orales, sesenta y dos Comunicaciones Flash y ciento treinta y nueve Pósteres.

En la sesión inaugural se entregaron los XXII Premios Lilly de Investigación para Alumnos de Doctorado: Marcos Vilela-Picos (Universidad de Santiago de Compostela), Andrea Palone (Universitat de Girona) y Beatriz Arévalo (Universidad Complutense de Madrid), y el Premio Lilly al Investigador Joven 2024

al doctor Marc García Borràs (Universitat de Girona). A continuación, se entregaron las Medallas del GEQOR de 2024 a los profesores Juan R. Granja de la Universidad de Santiago de Compostela (Medalla Félix Serratosa) y Belén Martín Matute de la Universidad de Estocolmo (Medalla Ignacio Ribas). En nombre del Comité Organizador, y en el mío propio, quisiera agradecer el patrocinio y la colaboración de diversas entidades públicas y empresas privadas, sin cuya ayuda no hubiera sido posible la celebración de este evento: Turismo de Tenerife, Scharlab, Jasco, Avantor, Biotage, EKMA, ITER, Cabildo de Tenerife, GSK, Bruker, Biosigma, Melcan, RSEQ-STC, Chemistry Europe, Ayuntamiento de Santa Cruz de Tenerife, Real Casino de Tenerife, Magna Congresos y Lilly. También en este apartado, agradecemos la generosa contribución del CSIC (IPNA y Delegación en Canarias), de la ULL y del IUBO. Por último, mencionar la gran aportación del GEQOR al subvencionar en gran medida los gastos de inscripción de los socios jóvenes del Grupo. Por otro lado, me gustaría mostrar nuestro agradecimiento al Comité Científico por todo el apoyo brindado y por su contribución al éxito del congreso. No me gustaría finalizar, sin agradecer al excelente grupo de jóvenes investigadores del IPNA, que contribuyeron a que esta Reunión Bienal se desarrollase con gran brillantez.

Tomás Martín Ruiz

Instituto de Productos Naturales y Agrobiología-CSIC

XLIV Reunión del Grupo Especializado de Electroquímica de la RSEQ y V Simposio E3 del Mediterráneo



Foto oficial de la XLIV Reunión del Grupo Especializado de Electroquímica de la RSEQ y el V Simposio E3 del Mediterráneo.

La XLIV Reunión del Grupo Especializado de Electroquímica (GEE) de la RSEQ, celebrada junto con el V Simposio E3 del Mediterráneo apoyado por la *Divisione di Elettrochimica* de la *Società Chimica Italiana*, tuvo lugar en Leioa (Bilbao) del 3 al 5 de julio de 2024, y fue organizada por el BCMaterials (Dr. Javier del Campo) y la Universidad del País Vasco (Dra. Idoia Ruiz de Larramendi). El evento conjunto reunió a más de 200 expertos nacionales e internacionales en diferentes ámbitos de la Electroquímica. Durante la reunión, se presentaron 3 conferencias plenarias (Prof. Richard Compton, Universidad de Oxford;

Dra. Nuria García-Aráez, Universidad de Southampton; Prof. Francesco Paolucci, Universidad de Bolonia), 2 invitadas (Prof. Michele Mascia, Universidad de Cagliari; Prof. Carlo Santoro, Universidad de Milano-Bicocca), y unas 100 comunicaciones orales y 80 comunicaciones en formato póster. Además, como es ya habitual en las reuniones del GEE, durante la reunión tuvieron lugar las defensas de los trabajos de fin de Máster y de los proyectos de Tesis de los estudiantes de los programas interuniversitarios de máster y doctorado en 'Electroquímica. Ciencia y Tecnología'.

Entrega de los Premios Grupo de Electroquímica 2024

Durante la XLIV Reunión del Grupo Especializado de Electroquímica (GEE) de la RSEQ y el V Simposio E3 del Mediterráneo, organizados como un evento conjunto por el BCMaterials y la Universidad del País Vasco en Leioa (Bilbao) del 3 al 5 de julio de 2024, se realizó el acto de entrega de los Premios del Grupo de Electroquímica 2024.

Los Premios entregados fueron:

- Premio 2024 de 'Jóvenes Talentos' del Grupo de Electroquímica, concedido *ex aequo* a la **Dra. Paula Sebastián Pascual** del *KTH Royal Institute of Technology* (Suecia) y a la **Dra. Sara Barja Martínez** de la Universidad del País Vasco.
- IX Premio "Antonio Aldaz" a la mejor Tesis Doctoral en el ámbito de la Electroquímica defendida durante el año 2022. El premio fue concedido a la **Dra. Sara Santiago**



De izquierda a derecha: José Solla, Paula Sebastián, Sara Barja y Rebeca Marcella.



De izquierda a derecha: Sara Santiago e Ignacio Sirés.

Malagón (Universidad Autónoma de Barcelona) por la tesis titulada "*Design, characterization and fabrication of electrochromic flexible materials for the development of smart devices*", dirigida por los Dres. Gonzalo Guirado López y Xavier Muñoz Berbel.

X Reunión Iberoamericana de RMN XII Bienal del Grupo Especializado de Resonancia Magnética Nuclear (GERMN)

El pasado 5 de julio tuvo lugar la X Reunión Iberoamericana de RMN, conjuntamente con la XII Bienal del Grupo Especializado de Resonancia Magnética Nuclear (GERMN), que se celebró en Bilbao, en el paraninfo de la Universidad del País Vasco (Bizkaia Aretoa - UPV/EHU), bajo el auspicio del GERMN. El comité científico organizador lo constituyeron representantes de los grupos especializados de 3 países: Sonia Menezes (Brasil), Eurico J. Cabrita (Portugal) e Ignacio Alfonso y Jesús Angulo (España). La reunión presentó un formato distinto al habitual, constituyéndose en una sola jornada de medio día, al celebrarse como reunión satélite del congreso europeo de resonancia magnética nuclear (EUROMAR 2024), que tuvo lugar del 30 de junio al 4 de julio en Bilbao.

La reunión constó de 4 conferencias plenarios y 6 comunicaciones orales. En las primeras, cuatro investigadores de reconocido prestigio internacional en el campo de la resonancia magnética nuclear expusieron los últimos avances en las aplicaciones interdisciplinarias de la espectroscopia RMN de alta resolución: el Prof. Carlos González (IQF-CSIC, Madrid) habló sobre el papel clave de la RMN para el estudio de la estructura y dinámica de motivos no-canónicos de ácidos nucleicos, la Prof. Ana Gil (Univ. Aveiro) demostró cómo la RMN de alta resolución constituye una potente herramienta para la caracterización metabólica del cáncer de mama y de la regeneración de tejidos, el Prof. Marcos de Oliveira Jr (IFSC, Universidade de Sao Paulo) expuso nuevos avances en RMN de estado sólido para el estudio de materiales vítreos y cerámicos basados en tierras raras, y el Prof. Roberto Gil (Carnegie Mellon Univ., Pittsburgh) cerró la jornada con una charla sobre nuevas metodologías de RMN basadas en medidas de parámetros iso- y anisotrópicos para resolver los desafíos de la determinación de la estructura 3D de moléculas pequeñas.

La jornada tuvo como colofón la entrega del XII Premio Bruker – GERMN al Prof. Carlos González (IQF-CSIC) por sus contribuciones a la resonancia magnética nuclear para el estudio de la estructura y dinámica de ácidos nucleicos. Asimismo, la revista *Magnetic Resonance in Chemistry* contribuyó con un premio al mejor póster que fue concedido a Paola Oquist, estudiante predoctoral del departamento de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid.

Grupo Especializado de Resonancia Magnética Nuclear (GERMN) de la Real Sociedad Española de Química.



Inauguración de la X Reunión Iberoamericana de RMN / XII Bienal del Grupo Especializado de RMN (GERMN) de la RSEQ. De izquierda a derecha: Sonia Menezes (AUREMN, Brasil), Jesús Angulo (GERMN, España), Eurico J. Cabrita (FCT NOVA, Portugal).



Acto de entrega del XIII Premio Bruker – GERMN. De izquierda a derecha: Jesús Angulo (Presidente del GERMN), Carlos González (Premio Bruker-GERMN 2024), Víctor García Pidal (Director General Bruker Española).



Premio MRC-Wiley al mejor póster de la X Reunión Iberoamericana de RMN. De izquierda a derecha: Roberto Gil (Editor Jefe de *Magnetic Resonance in Chemistry*), Paola Oquist (Premio MRC mejor póster) y Jesús Angulo (Presidente del GERMN).

X Escuela de Verano de Historia de la Química (XEVHQ)

Del 10 al 12 de julio de 2024 se ha celebrado la X Escuela de Verano de Historia de la Química (XEVHQ), cuya dirección académica ha estado a cargo de los catedráticos de Química de la Universidad de La Rioja Jesús R. Berenguer Marín y Héctor Busto Sancirián, y del Proyecto Valle de la Lengua – Campus Valle de la Lengua del Plan de Transformación de la Universidad de La Rioja.

Orientada a un público muy amplio entre los que destacan docentes y estudiantes de enseñanzas universitarias y no universitarias, profesionales de la comunicación y público en general, sus principales objetivos han sido, entre otros:

- Visibilizar la importancia del español en el mundo como lenguaje científico y divulgativo, particularmente en el ámbito de la Química.
- Destacar la utilidad de la Historia de la Química y su lenguaje como valiosas herramientas didácticas.
- Impulsar la investigación de la Historia de la Ciencia en general y de la Historia de la Química en particular.

Continuar con la tradición de las Escuelas de Verano de Historia de la Química que se han impartido en La Rioja durante los años 2007, 2008, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2021 (retrasada por la pandemia) y 2023. Esta actividad se inició hace 18 años, cuando tuvieron lugar las primeras Jornadas sobre Historia de la Química de la Universidad de La Rioja (2006), antesala de la *I Escuela de Verano de Historia de la Química* (2007). La próxima EV tendrá lugar en el verano de 2026 para recuperar la periodicidad bienal en los años pares, y para no solaparse con la celebración de las Bienales de la RSEQ, que también recuperan su celebración en años impares (la próxima será en 2025 en Bilbao).

Como ya es habitual en este evento, se han reunido destacados especialistas en química, historia, divulgación, periodismo y lingüística para participar en conferencias, mesas redondas y debates sobre la historia, la enseñanza y la divulgación de la química. Todas sus intervenciones se han realizado desde el punto de vista del empleo del español como lenguaje científico particularizado en el caso de la química, tema central de esta edición. Sus nombres son, por riguroso orden alfabético de primer apellido:

Jesús R. Berenguer Marín; Héctor Busto Sancirián; Susana Cabredo Pinillos; Pedro Campos García; Ignacio Funes Ardoiz; Fayna García Martín; Javier García Martínez; Francisco González Redondo; Bernardo Herradón García; Sergio Menargues Irlés; Inés Pellón González; Rocío Pérez Benavente; Lorena Pérez Hernández; Joaquín Pérez Pariente; Carmina Puyod Alegre; Pascual Román Polo; Víctor Ugarte Farrerons; Teresa Valdés Solís.

Las actividades han tenido lugar en el Centro Científico Tecnológico de la Universidad de La Rioja (Logroño, los días 10 y 12 de julio) y en la Escuela de Patrimonio de Nájera (el día 11). En este evento se ha otorgado una especial relevancia al proyecto de digitalización de la revista *Anales de Física y Química* que ha realizado el Grupo Especializado de Historia de



Participantes de la XEVHQ en el Monasterio de Santa María la Real de Nájera (La Rioja).

Fuente: Imagen tomada por la cámara de uno de los asistentes.

la Ciencia de la Real Sociedad Española de Química (GEHCi – RSEQ). Por ello, después de la inauguración, el primero de los actos que tuvieron lugar fue la “Presentación del proyecto de digitalización de *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*” (<https://www.unirioja.es/actividades/curso-de-verano-campus-valle-de-la-lengua-comunicacion-de-la-ciencia-del-espanol-al-mundo-x-escuela-de-verano-sobre-historia-de-la-quimica/>).

Durante la mañana del miércoles 10 de julio se impartieron tres conferencias bajo el tema de “El surgimiento de la Química española” y por la tarde dos conferencias y una mesa redonda dentro de la temática “La edad de plata de la Ciencia española”.

El jueves 11 de julio comenzó con una sesión titulada “El español para trasladar la ciencia a la sociedad” en la Escuela de Patrimonio de Nájera con dos conferencias y una mesa redonda, a la que prosiguió una interesantísima visita guiada al Monasterio de Santa María la Real de Nájera. El día finalizó con un recorrido en las Bodegas Lecea de San Asensio (La Rioja) que incluyó la cena.

El viernes 12 de julio y de nuevo en el Centro Científico Tecnológico de la Universidad de La Rioja (Logroño), tuvieron lugar dos conferencias y una mesa redonda con la temática “El lenguaje español ante la Ciencia” por la mañana. Por la tarde y bajo el lema “Divulgar Ciencia” también se desarrollaron dos conferencias y una mesa redonda, para finalizar esta XEVHQ con la lectura de conclusiones y el acto de clausura.

Ese mismo viernes tuvo lugar la tradicional reunión de la Junta de Gobierno del Grupo Especializado de Historia de la Ciencia de la RSEQ, en la que se trataron diferentes temas relativos al grupo.

Esta X edición de la EVHQ ha sido patrocinada por el Grupo Especializado de Historia de la Ciencia de la Real Sociedad Española de Química (GEHCi – RSEQ), la Sección Territorial de La Rioja de la misma RSEQ, el Ayuntamiento de Nájera, la Escuela de Patrimonio Histórico de Nájera y las Bodegas Lecea de San Asensio (La Rioja).

Inés Pellón González

Universidad del País Vasco (UPV/EHU)

Presidenta del GEHCi de la RSEQ

NOTICIAS SOCIOS

Javier García Martínez es reconocido como Honorary Fellow de la RSC

Nuestro compañero Javier García Martínez, catedrático de Química Inorgánica en la Universidad de Alicante y socio de la RSEQ, ha sido nombrado Fellow Honorario de la *Royal Society of Chemistry* (RSC). Este reconocimiento destaca a aquellos investigadores con liderazgo excepcional y contribuciones sobresalientes en el campo de la química. Esta distinción reconoce los méritos científicos y su labor en la difusión y promoción de la química en todo el mundo. La ceremonia tuvo lugar en Londres, con la presencia de más de 400 asistentes.

Javier García Martínez ha sido presidente de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), impulsando el uso de inteligencia artificial, la sostenibilidad y la diversidad en la ciencia. Ha desarrollado una nueva generación de catalizadores que reducen significativamente las emisiones de CO₂. Entre otros premios, ha recibido el Premio Nacional de Investigación 'Juan de la Cierva' y el Premio Rey Jaime I. Su nombramiento como Fellow Honorario de la RSC reconoce sus significativas contribuciones científicas y su impacto en el desarrollo de la química. Con este reconocimiento Javier se incorpora a la selecta lista de



Javier García Martínez en la entrega del diploma de *Honorary Fellow* de la *Royal Society of Chemistry*. Fuente: Universidad de Alicante.

Fellows Honorarios de la RSC que reúne a poco más de un centenar de personalidades, entre ellos más de 20 premios Nobel.

Desde estas líneas queremos darle la enhorabuena a nuestro compañero por este merecido reconocimiento.

Entrega del Diploma de Honor y el Premio COSCE 2024

El pasado viernes, 14 de junio, tuvo lugar la entrega del Diploma de Honor a Joan J. Guinovart y el Premio COSCE a la Difusión de la Ciencia 2024 a Carlos Briones en la sede de la Fundación Ramón Areces de Madrid. La ceremonia comenzó con la bienvenida por parte del director general de la Fundación Ramón Areces, a la que siguió la presentación del acto por parte de la presidenta de la COSCE, Perla Wahnón. En su discurso, Perla Wahnón resaltó la importancia de las actividades, paralelas pero esenciales para el sistema de ciencia y tecnología, como las que realizan los dos premiados, la gestión en el caso de Joan J. Guinovart y la divulgación de la ciencia en el de Carlos Briones.

La presidenta de COSCE, Perla Wahnón, hizo entrega del Diploma de Honor a Joan J. Guinovart tras una semblanza de Joan J. Guinovart realizada por la vicepresidenta de la COSCE donde destacó la enorme importancia de la figura de Guinovart para la ciencia española. A continuación, tuvo lugar la entrega del Premio COSCE a la Difusión de la Ciencia 2024 a Carlos



De izquierda a derecha: Carlos Briones y Joan J. Guinovart.

Briones. La ceremonia acabó con una presentación realizada por Briones en la que destacó la importancia de la divulgación de la investigación que realiza en su centro de trabajo, el Centro de Astrobiología.

Conseguidas dos Menciones de Honor en la 56th International Chemistry Olympiad (IChO'2024)



Algunos de los miembros de la delegación española en la IChO'2024 acompañados por la guía local.

Los alumnos españoles Carlos Calderón Alba, del Complejo Preuniversitario Mas Camarena (Paterna, Valencia), y Daniel García Mihalic, del IES Santa Brígida (Santa Brígida, Las Palmas) han obtenido una Mención de Honor en la 56th International Chemistry Olympiad (IChO'2024).

Nuestros otros dos estudiantes, Ángel García Andreu del IES Vicent Andrés Estellés (Burjassot, Valencia) y Enrique Cortés Tirado, del English School Los Olivos (Campolivar, Valencia) también han obtenido un buen resultado.

La Olimpiada Internacional de Química (IChO) es un certamen supranacional de enorme prestigio que se celebra anualmente desde hace cincuenta y seis años. La IChO'2024 se celebró en Riad (Arabia Saudí) del 21 al 30 de julio de 2024. En ella estuvieron representados 89 países y compitieron 327 alumnos.

Desde la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y, el Ministerio de Educación y Formación Profesional queremos agradecer el esfuerzo y entusiasmo de nuestros estudiantes. Así

mismo, queremos dar las gracias a los miembros de la RSEQ que los acompañaron formando parte de nuestra delegación como mentores: Prof. Óscar Rodríguez Montoro, de la Universidad Rey Juan Carlos y Prof. Jorge Melendo Arrufat, Funcionario Químico de la Administración General del Estado. ¡Enhorabuena a todos!

La formación general para el certamen tuvo lugar en la Universidad de Valencia (UV), comandada por los Profs. Juan José Borrás y Carmen Ramírez de Arellano. Mientras que la formación específica se llevó a cabo en la Escuela Superior de Ciencias Experimentales y Tecnología de la Universidad Rey Juan Carlos (URJC) en cuyos laboratorios de química se realizó la preparación práctica bajo la supervisión de la profesora Mar Ramos Gallego. Entre otros colaboradores, participó además la técnico de laboratorio Carmen Garrido. Agradecemos a la UV y a la URJC su cesión de espacios para poder preparar con éxito la participación del equipo olímpico español de Química.



Profesor Miguel Ángel Alario y Franco

El profesor Miguel Ángel Alario y Franco realizó su carrera docente e investigadora en la Universidad Complutense de Madrid, en la que se doctoró en 1970. En esta universidad fue Profesor Agregado de Química Inorgánica, Catedrático y Profesor Emérito. Además, fue Decano de la Facultad de Ciencias Químicas y Director de los cursos de verano de la Universidad Complutense en San Lorenzo de El Escorial.

Fue profesor visitante en otras universidades como Cambridge, Berkeley, San Diego, Universidad Nacional Autónoma de México y Universidad de Bahía Blanca en Argentina, y centros de investigación como el *Laboratoire de cristallographie* del CNRS en Grenoble.

El profesor Miguel Ángel Alario, introdujo la enseñanza de la Química del Estado Sólido en España y fue fundador del grupo de investigación de Química del Estado Sólido en el Departamento de Química Inorgánica de la UCM en 1973, del que fue Director hasta 2017. En este grupo se han formado un gran número de profesores e investigadores, incluyendo más de cincuenta visitantes extranjeros. Fue el primer presidente del Grupo Especializado de Química del Estado Sólido de la Real Sociedad Española de Química.

Fue pionero en la utilización de la Microscopía Electrónica en la Química del Estado Sólido, en primer lugar en el Instituto de Química Inorgánica del CSIC y posteriormente, en 1987, en el Centro de Microscopía Electrónica de la UCM.

Años más tarde, en 1995, fundó el Laboratorio Complutense de altas presiones.

Director/Co-Director de 27 Tesis Doctorales y autor de más de 300 publicaciones científicas, entre las que destacan los estudios acerca de los materiales superconductores de alta temperatura crítica.

Su destacada trayectoria científica le hizo merecedor de numerosas distinciones tales como, Premio de la Real Sociedad Española de Física y Química, Premio Jaime I, Medalla de Oro de la Real Sociedad Española de Química, de la que fue miembro durante más de cincuenta años, Premio México de Ciencia y Tecnología, *International Sustainability Award in Solid State Chemistry*, y a comienzos de este año, Medalla Complutense al Mérito Docente e Investigador.

Académico numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España desde 1991, fue Presidente durante el período 2009-2012. También fue miembro de



Profesor Miguel Ángel Alario.

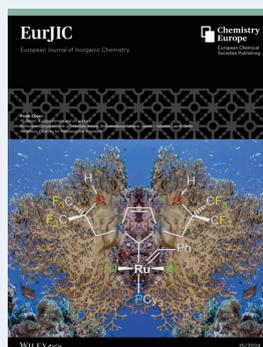
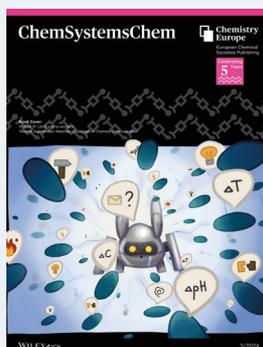
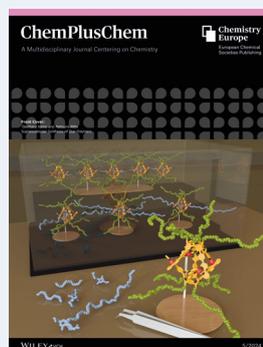
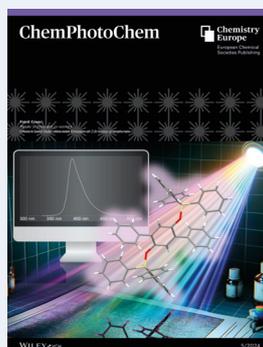
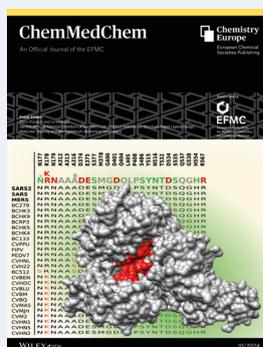
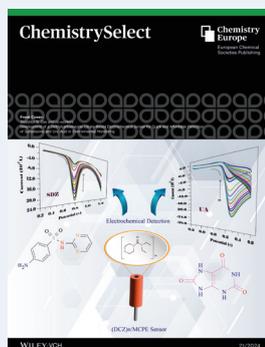
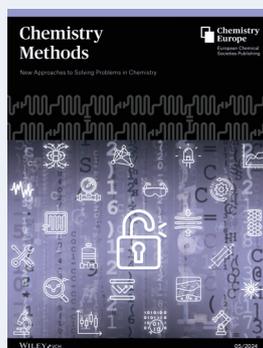
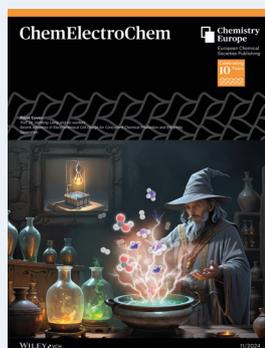
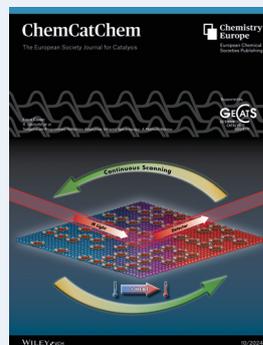
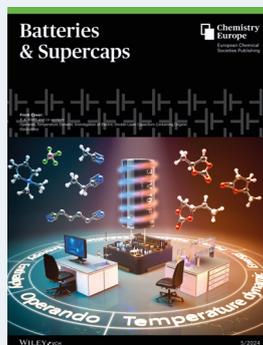
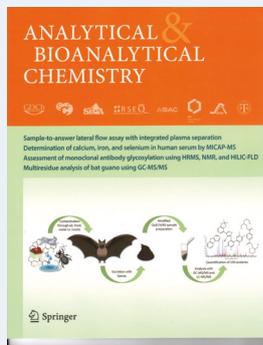
otras instituciones de ámbito internacional como la Academia de Ciencias de la República Argentina, Academia Colombiana, MRS de la India y miembro numerario de la Academia Europea de Ciencias.

Siempre entusiasta y trabajador incansable, transmitió a sus discípulos y colaboradores su pasión por el conocimiento. Optimista y de trato cercano y afable, hacía que los alumnos no solo aprendieran si no que se sintieran atraídos y disfrutaran con la ciencia y del trabajo que hacían. Con frecuencia recordaba la máxima "encuentra un trabajo que te guste y no tendrás que trabajar nunca".

Los que tuvimos la suerte de trabajar con él, siempre lo recordaremos como un buen profesor, buen científico y sobre todo un excelente amigo.

Profs. Eméritos: M-J. Torralvo Fernández y R. Sáez Puche
Dpto. Química Inorgánica, Facultad Químicas, Universidad Complutense Madrid

Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química



MERCK

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

Issue 1 2023



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

Sigma-Aldrich[®]
Lab & Production Materials