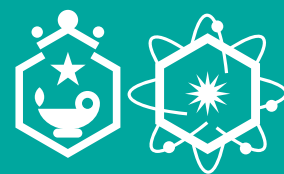




enlace

de los químicos de Madrid

REVISTA DEL COLEGIO Y ASOCIACIÓN DE QUÍMICOS DE MADRID



N.º 49 | JUNIO 2025



La química circular

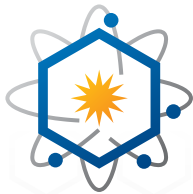
¡Despejada la
incertidumbre!
La ciencia
cuántica
cumple 100 años



Entrevista a Mayte Villalba, década de Ciencias Químicas de la UCM:
“Los químicos nunca han tenido problemas para encontrar empleo”



Colegio Oficial de
Químicos
de Madrid



Asociación de
Químicos
de Madrid

Agrupan a todos los titulados universitarios superiores dedicados a la ciencia y tecnología químicas.

Consulta más información en
www.quimicosmadrid.org

Lagasca 27, 1.º E, 28001 Madrid



TE OFRECE

servicios, infraestructuras, actos sociales, etc.

SERVICIOS

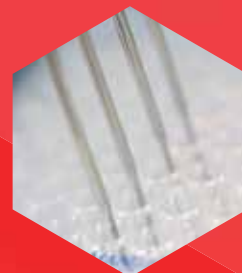
- Agencia de colocación.
- Conferencias y seminarios.
- Formación continua.
- Revista *Enlace*.
- Programa Químicos Emprendedores.
- Correo electrónico corporativo.
- Asesoría fiscal.
- Asesoría laboral.
- Elaboración de informes.
- Premios profesionales.
- Descuentos preferentes.
- Hermandad de Químicos (Grupo hna).
- Visados.
- Compulsado y certificados.
- Certificaciones.
- Secciones técnicas.
- Ventajas fiscales.
- Apoyo y representación social.
- Representación en Anque y Consejo General.

INFRAESTRUCTURAS

- Domicilio social.
- Sala de reuniones.
- Sala de conferencias.

ACTOS SOCIALES Y COMUNICACIÓN

- Acto anual de san Alberto.
- Premios, menciones especiales.



ES

el colectivo que profesionalmente mejor

- Te **apoya y promueve**.
- Te **facilita** los contactos y medios requeridos.
- **Respet**a tu libertad profesional (*).
- Te **ofrece** servicios adecuados para el ejercicio profesional.
- **Defiende** tus derechos.
- Te **ayuda** a tu integración profesional.
- Cuota deducible en la declaración de la renta.

(*). Aunque la colegiación es una exigencia legal obligatoria para ejercer la profesión (Art. 3.2, de la Ley 2/1974, de 13 de febrero, de Colegios Profesionales) en todos los campos de actividad (enseñanza, industria, autónomos, etc.).



TE APORTA

de los profesionales en la química como tú

- Su **confianza** y solidaria responsabilidad.
- **Potenciar** las relaciones interprofesionales en todos los campos.
- **Contribuir** a la mejora de la percepción social de la Química.

Reivindicar la química



Naciones Unidas ha declarado 2025 como el *Año Internacional de la Ciencia Cuántica*, una decisión que no solo reconoce los avances revolucionarios de la física moderna, sino que también nos brinda una oportunidad para reflexionar sobre el papel esencial que juega la química en la intersección entre la ciencia fundamental, la innovación y la vida cotidiana.

La química es el lenguaje con el que entendemos cómo se ha construido el universo y todo aquello que nos rodea. Los productos de higiene, los dispositivos tecnológicos, los alimentos, los medicamentos, la ropa, los materiales deportivos... Ha sido la base silenciosa del progreso de nuestra sociedad. Podemos decir que, desde que nos levantamos hasta que nos acostamos, estamos rodeados de química.

Es aquí donde la celebración de este *Año Internacional* se vuelve particularmente relevante. La química y la física cuánticas han sido aliadas poderosas desde el Siglo XX. La mecánica cuántica ha permitido a los químicos entender la estructura de los átomos, las propiedades de los enlaces moleculares y las reacciones más sutiles que ocurren en fracciones de segundo. Sin la teoría cuántica, hoy no podríamos diseñar medicamentos personalizados, ni crear materiales con propiedades asombrosas, ni comprender los mecanismos que gobiernan la fotosíntesis o el plegamiento de proteínas. Y es que, aunque la palabra "cuántica" pueda parecer abstracta para muchos, sus implicaciones están cada vez más presentes en nuestras vidas. La computación cuántica promete resolver problemas imposibles para las máquinas clásicas. La criptografía cuántica puede transformar la seguridad de nuestras comunicaciones. Incluso las tecnologías de diagnóstico médico, y las imágenes de alta resolu-

ción están siendo rediseñadas gracias a los principios de la física cuántica.

Desde el Colegio y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid hemos querido celebrar la efeméride con una serie de conferencias a lo largo del año y con el cuerpo central de la revista Enlace.

Este año dos de nuestros compañeros han sido premiados con los máximos galardones de nuestras instituciones nacionales. En noviembre, a Antonio Gutiérrez Maroto se le concedió la medalla de oro de la Asociación Nacional de Químicos e Ingenieros Químicos de España (ANQUE) y en mayo, el Consejo

« La química es una forma de ver el mundo, de buscar la verdad y de construir un futuro más justo, sostenible e inteligente »

General de Colegios Oficiales de Químicos de España entregó el premio de excelencia química a Juana Bellanato Fontecha. Ambos, claros ejemplos de encontrar oportunidades donde el resto solo ven obstáculos, alcanzando la excelencia desde la humildad.

Desde el Colegio y la Asociación seguimos fomentando la divulgación científica entre los más jóvenes. Hemos organizado la II edición del concurso de proyectos de excelencia química para alumnos de bachillerato, esta vez colaborando con la Facultad de Químicas de la UCM y con la RSEQ; también hemos organizado la primera edición de Concurso de Química con Excelencia de Madrid para alumnos de la ESO, que ha sido un éxito de participación. Esperamos que haya despertado el interés de

los jóvenes para próximas ediciones y que el estímulo de estos eventos los convierta en los próximos químicos e ingenieros químicos madrileños.

Como químicos, profesionales, científicos, docentes, estudiantes o simplemente ciudadanos interesados, tenemos el deber y el privilegio de ser embajadores de esta ciencia tan bonita. Reivindiquemos su belleza, su utilidad y su poder transformador. Debemos mostrar que la ciencia no es solo una carrera, sino una forma de ver el mundo, de buscar la verdad y de construir un futuro más justo, sostenible e inteligente. Y al igual que no culpamos a la electricidad cuando alguien muere electrocutado, no culpemos a la química por la contaminación o la toxicidad. Es la ciencia que ofrece soluciones para procesos industriales más limpios, tecnologías para potabilizar agua, limpiar el aire y crear o transformar nuevos materiales biodegradables. En resumen, este año internacional no es solo una celebración del pasado o una anticipación del futuro, sino un homenaje al presente: al de los profesionales de la industria química, de los laboratorios, de las aulas, de las ideas que nacen, de las preguntas que aún no tienen respuesta, de las personas que día tras día hacen ciencia con pasión y excelencia. Y como todos los años, me gustaría felicitar y agradecer de manera pública a todos los compañeros que han hecho posible este nuevo número de la revista Enlace, que estoy convencido que será de vuestro interés.

Un afectuoso saludo de vuestro amigo y compañero

Iñigo Pérez-Baroja Verde
Decano presidente

Colegio y Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid (QUÍMICOS MADRID).



índice

3 presentación

5 el núcleo

Las claves de la química del futuro:
circular, tecnológica y sostenible

12 materia

¡Despejada la incertidumbre!
La ciencia cuántica cumple 100 años

16 sociedad Q

Lo que los récords deportivos deben a la química

18 educación Q

La magia de la química en casa

20 industria Q

El reto energético para la competitividad
del sector químico

22 entrevista Q

Mayte Villalba, decana de la Facultad de Ciencias
Químicas de la UCM: “Los químicos nunca han
tenido problemas para colocarse, hay muchas
salidas profesionales”

25 noticias

30 iones

32 arte Q

Las huellas de los mozárabes

34 agenda



Ilustre
Colegio Oficial
de Químicos
de Madrid



Asociación
Químicos e
Ingenieros Químicos
de Madrid

Enlace

Número 49. Junio 2025

Edita: Ilustre Colegio Oficial de
Químicos de Madrid y
Asociación de Químicos e
Ingenieros Químicos de Madrid.
C/ Lagasca 27, 1.º E
28001 Madrid
Tel. 91 4 35 50 22
Fax 91 5 77 51 37
colquim@quimicosmadrid.org
www.quimicosmadrid.org

Dirección: Lourdes Campanero
Campanero

Consejo de redacción:

Íñigo Pérez-Baroja Verde
Lourdes Campanero Campanero
Emilio Gómez Castro
Valentín González García
Donato Herrera Muñoz
Tomás García Martín
Ángel Prieto Maeso
María del Mar Alarcón
Hernández
Rosario García Giménez

Producción y coordinación:

Ignacio Fernández Bayo
Diseño y maquetación:
José M^o Cerezo/Jorge Redondo
Impresión:
Editorial MIC
ISSN: xxxx
Depósito Legal: M-xxxx

Enlace no se hace responsable de
los artículos firmados ni comparte
necesariamente la opinión de los
colaboradores.



De ciencia transformadora a motor de sostenibilidad, el sector químico, ahora más circular que nunca, redefine la gestión de recursos y la reutilización de residuos en un contexto geoestratégico marcado por la escasez de materias primas críticas y esenciales (como las llamadas tierras raras), la presión sobre los ecosistemas y la urgencia climática. Es la adaptación a la concepción actual de la sostenibilidad: la economía circular. Un nuevo enfoque que trasciende a la química verde para integrar innovación, reciclaje avanzado y tecnología desde el diseño hasta la aplicación industrial; un objetivo hacia el que avanzan ya distintos proyectos en España.

Las claves de la química del futuro: circular, tecnológica y sostenible

Texto: Patricia Ruiz Guevara, matemática y periodista de ciencia

Vivimos tiempos convulsos. En un contexto global marcado en lo ambiental por la escasez de materias primas, la creciente generación de residuos y la urgencia de detener la crisis climática, se presenta imperativo replantear el sector químico. Con la urgencia de mitigar el impacto de la industria química, la circularidad de esta lleva años perfilándose como un factor clave.

No siempre ha sido así. Desde sus raíces, en la alquimia de la Antigüedad, hasta nuestros días, la química ha recorrido un largo camino hasta convertirse en una ciencia (casi) exacta y fundamental para el desarrollo tecnológico e industrial. En los siglos pasados, supuso una revolución al permitir la síntesis de nuevos materiales, fertilizantes, medicamentos y combustibles que transformaron la sociedad moderna. Pero el avance también implicó claroscuros, porque trajo consigo un uso intensivo de recursos naturales y una consecuente generación masiva de residuos. El enfoque actual es distinto.

La química circular busca replantear la gestión de recursos, reducir la extracción de materias primas, convertir el residuo en un nuevo recurso, hacer un reciclaje avanzado y repensar los procesos de producción y fabricación. Una

aproximación que parte de lo académico y de la investigación para llegar a su aplicación en empresas y proyectos innovadores de la mano de la tecnología. Decir química verde seguramente sería quedarnos cortos; el estadio completo es la química circular.

Los expertos coinciden en que, en los últimos años, la industria química en España ha dado pasos significativos hacia

la implantación de prácticas más circulares y sostenibles, aunque venimos de lejos. “El impacto ambiental de la industria química en España ha sido históricamente significativo. Al tratarse de un sector que trabaja con procesos complejos, muchos de ellos intensivos en energía y que requieren el uso de materias primas peligrosas, su actividad genera en ocasiones emisiones a la atmósfera,



Planta de biocombustibles avanzados de Repsol en Cartagena.

residuos sólidos y el vertido de efluentes líquidos”, arranca Zahara Martínez de Pedro, profesora del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Autónoma de Madrid (UAM).

A pesar de todo, también reconoce que es un sector que “ha avanzado enormemente en términos de control ambiental en los últimos años y son muchas las empresas que han incorporado políticas claras para favorecer la implan-



Zahara Martínez de Pedro.

tación de procesos sostenibles”. Este avance también persigue alinearse con los objetivos a nivel europeo, y repercute en todos los sectores de aplicación de la química.

“La industria química en España está en proceso de transformación y está alineada con los objetivos del Pacto Verde Europeo. Para ello, se está trabajando para avanzar hacia la descarbonización y la circularidad, tratando de implementar procesos de captura y uso del CO₂, impulsando el uso de hidrógeno procedente de fuentes renovables, así como las tecnologías de reciclado químico y la electrificación de los procesos”, resume Ana Belén Dongil de Pedro, ingeniera química e investigadora del Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP-CSIC). Si lo vemos en cifras, hay datos positivos, como que en lo relativo al uso de plásticos reciclados en nuevos productos España se posiciona como líder europeo, con un índice de contenido en reciclado del 22,3%, casi el doble que la media europea (12,6%), según datos de Plastics Europe. Además, con una inversión de 2.000 millones de euros, el sector químico lidera la inversión en innovación en el conjunto de la industria española, aglutinando el 24% del total, y encabeza la contratación de personal dedicado a I+D+I, según datos de la Federación Empresarial de

la Industria Química Española (Feique) en su Radiografía del Sector Químico Español 2024.

Para Cristina González, directora de Estrategia, Advocacy y Competitividad de Feique, uno de los grandes logros de esta transición hacia la circularidad está siendo el aumento de la colaboración a lo largo de la cadena de valor: “La colaboración entre diferentes actores y de diferentes sectores nos permite compartir recursos, manteniéndolos en circulación durante más tiempo y avanzar hacia la circularidad”. La experta cree que ningún sector por sí solo tiene la solución exclusiva, pero que “la química juega y jugará un papel clave



Cristina González.

en todas ellas” para alcanzar la circularidad. ¿Cómo conseguirlo?

I+D para una química más verde

Para transicionar hacia lo circular, hay que empezar por el principio: investigar, innovar y comprobar. En España, hay cientos de laboratorios y centros de investigación entregados a ello. “En la actualidad hay una gran dedicación en I+D a temas como la producción sostenible y valorización de residuos”, sostiene Félix García-Ochoa, profesor emérito del Área de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid, asociado al Grupo de investigación FQPIMA (físicoquímica de procesos industriales y medioambientales). Entre las numerosas líneas de investigación, García-Ochoa subraya el desarrollo de procesos y bioprocesos que tienen en cuenta su repercusión ambiental; valorización de residuos lignocelulósicos; tratamientos de aguas residuales de todo tipo y métodos para la captura de dióxido de carbono. “En mi opinión, no todas las líneas son acer-

tadas, pero en I+D casi siempre surgen sorpresas”, concede.

En cuanto a estudios de economía circular en procesos industriales, García-Ochoa señala que se habla de ello más que se hace: “Hay mucho ruido, pero quizás las realizaciones son muchas menos”. El experto sí cree que “el sector químico hace un esfuerzo en definir eso que se ha llamado ‘química verde’, pero persiste el problema general de la I+D en España desde hace décadas, la desconexión entre investigación básica y aplicada y entre grupos del sistema público de I+D y la industria española”, analiza. Según detecta, la industria española no presta la misma atención a la I+D que se desarrolla en institutos y universidades, “pero desarrollarse, se desarrolla”.

Catalizadores y CO₂

Un ejemplo es el grupo de investigación Química Verde y Catálisis (QVC) del ICP-CSIC, que se centra en el desarrollo de catalizadores heterogéneos para reacciones químicas que utilizan materias primas renovables, como residuos de biomasa, para producir combustibles o materiales de alto valor añadido para la industria química.

Dentro de esta línea trabajan en el uso del calentamiento por inducción magnética como alternativa a la calefacción convencional por resistencia, “que se puede aplicar en multitud de procesos químicos y ya se ha demostrado su potencial en reacciones de pirólisis de biomasa o plásticos y en otras transformaciones químicas, como valorización de dióxido de carbono”, detalla Ana Belén Dongil de Pedro, jefa de este grupo de investigación.

Desde el punto de vista de la química verde, el uso de catalizadores heterogéneos y calentamiento magnético aporta varias ventajas, como la mayor eficiencia energética, explica, ya que “la energía se emplea en calentar el catalizador que es donde ocurre la reacción química y no todo el reactor”. Así, “los combustibles y materiales obtenidos serían más sostenibles porque usaríamos una tecnología de bajo consumo energético”, añade.

Otra manera de hacer más sostenible el sector químico es reducir sus emisiones de dióxido de carbono, y una opción es transformar ese CO₂ en otros productos químicos y usarlo como materia prima si no pueden evitar generarlo; por ejemplo, para producir metanol. “La trans-



Ana Belén Dongil de Pedro.

formación de CO_2 en metanol es una tecnología viable y prometedora dentro de la química verde y la economía circular, ya que permite valorizar un residuo -el dióxido de carbono- como materia prima para obtener un producto químico que tiene un gran número de aplicaciones, desde combustibles sintéticos hasta materias primas para plásticos”, detalla Dongil de Pedro.

Actualmente su investigación se encuentra entre la fase avanzada y las primeras etapas industriales, con algunos proyectos piloto, pero “existen numerosos trabajos centrados en mejorar la eficiencia y estabilidad de los catalizadores para transformar el CO_2 y en el acoplamiento con la electrólisis del agua”, dice. Esto tendría a su vez más ventajas, ya que con la electrólisis del agua se conseguiría “usar el excedente de las energías renovables y producir hidrógeno verde necesario para la reacción de transformación de CO_2 ”, otra tendencia en alza dentro de la química circular.

Eliminar contaminantes

La química también puede sumar al verde con el desarrollo de procesos de eliminación de contaminantes en corrientes tanto gaseosas como acuosas. En eso se basa la investigación de Zahara Martínez de Pedro, investigadora en el campo de la Ingeniería Química y Ambiental en la UAM, centrada en el estudio de tratamientos avanzados para la descontaminación de gases y aguas residuales.

“Mis trabajos más recientes se centran en el tratamiento de corrientes acuosas para la eliminación de los denominados contaminantes de preocupación

emergente, compuestos cuyo vertido aún no ha sido regulado por la normativa ambiental, pero cuya toxicidad, ubicuidad y persistencia han despertado una gran preocupación en los últimos años”, explica Martínez de Pedro. En este contexto, está investigando el desarrollo de tecnologías basadas en procesos de adsorción, procesos de oxidación avanzada (POA), hidrogenación catalítica y otros procesos catalíticos de alta eficiencia.

Su objetivo es desarrollar alternativas que puedan ser implantadas en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) para garantizar la eliminación de los contaminantes mediante su retención, transformación a productos inocuos o, incluso, mediante su completa mineralización. “Creo que este tipo de investigación, además de contribuir a la mejora de la eficacia de tratamiento alcanzada en las EDAR, también favorece el desarrollo de modelos más sostenibles dentro del sector químico”, subraya, ya que también permite recuperar aquellos compuestos que presenten un cierto valor añadido, una de las claves de la circularidad.

Uno de los residuos más preocupantes son los microplásticos y nanoplásticos en el agua. Diversos estudios han confirmado su presencia incluso en los lugares más remotos del planeta, especialmente en entornos acuáticos, y su pequeño tamaño los hace especialmente difíciles de eliminar mediante los tratamientos convencionales utilizados en las estaciones depuradoras de aguas residuales. La investigación de Martínez de Pedro se centra en desarrollar soluciones tec-

nológicas específicas para su eliminación, combinando procesos físicos y químicos: “Actualmente trabajamos en el diseño y validación de sistemas de eliminación de micro y nanoplásticos, basados en procesos de adsorción, retención magnética y oxidación avanzada, como el proceso foto-Fenton”. Gracias a este trabajo, ha desarrollado varias patentes y cofundado la empresa de base tecnológica Captoplastic S.L. Su objetivo ahora es “escalar las soluciones desarrolladas a nivel de laboratorio para su integración como etapas adicionales en las EDAR o como tecnologías aplicables a sistemas de tratamiento descentralizados”.

Circularidad en petroquímica

Saltamos de los microplásticos a los plásticos en todas sus dimensiones. Caemos primero en Repsol, multinacional energética y petroquímica española, que asegura llevar años desarrollando soluciones innovadoras para proporcionar a sus clientes una gran variedad de productos con menor huella de carbono. “La compañía está aplicando los principios de la economía circular para fabricar productos de alto valor añadido y con menor huella de carbono a partir de residuos de distinta naturaleza”, indica Jaime Martín Juez, doctor en Ingeniería Química y Ambiental y director ejecutivo de Refino y Química de Repsol. Hay muchos tipos de residuos, recuerda el experto: aceites de cocina usados, residuos sólidos urbanos, residuos forestales, residuos procedentes de la actividad industrial, residuos plásticos... “Por eso, su tratamiento para convertirlos en nue-



Estación depuradora de aguas residuales que incorpora tratamientos avanzados.

vos productos con todas las garantías de calidad es tremendamente complejo. Para resolver el puzzle se necesita un enfoque multitecnológico”, explica Martín. Para desarrollar esas necesidades tecnológicas, en Repsol tienen el Repsol Technology Lab, un área de tecnología e innovación con más de 230 científicos. “Se han evaluado más de 50 tipos de tecnologías y residuos en nuestros laboratorios de economía circular o en nuestras plantas piloto; instalaciones de desarrollo y aprendizaje, que reproducen a pequeña escala los procesos industriales”, dice. Como fruto de esas investigaciones, en Cartagena cuentan, desde 2024, con una planta que produce combustibles renovables a partir de residuos orgánicos. La empresa asegura contar con otras iniciativas para avanzar en la circularidad, según desgrana Martín. Por un lado, incorpora criterios de ecodiseño desde las primeras fases; por ejemplo, reemplazando estructuras multimaterial que hoy en día no se pueden recuperar en su totalidad debido a la dificultad de separar los diferentes materiales, para que, tras su uso, el producto se pueda reciclar mediante los circuitos establecidos. Por otro, aplica tecnologías de reciclado mecánico y químico, soluciones complementarias entre sí, para fabricar materiales que



Jaime Martín Juez.

incorporan hasta un 100% de plástico reciclado mecánicamente o procedente del reciclado químico. Así, en 2023 Repsol puso en marcha en su centro industrial de Puertollano una instalación para reciclar espumas de poliuretano. “Se trata de un componente principal de colchones, sofás y asientos para vehículos, entre otros usos, y es un residuo abultado, debido a su muy baja densidad y alto volumen. Esto ocasiona que sea uno de los materiales que cuenta con la tasa de reciclado más baja, una vez que ha finalizado su vida útil”, detalla Martín. Otro de sus proyectos es la Ecoplanta de Tarragona, con la que quieren

“construir la primera planta europea que transformará residuos urbanos en metanol renovable —un combustible que servirá para impulsar la descarbonización del transporte—, y productos circulares”. En esta instalación, que ha recibido fondos del programa Innovation Fund de la Unión Europea, “se utilizará la tecnología de valorización de residuos más avanzada, la gasificación”, indica Martín. En el horizonte, tienen prevista la puesta en marcha de una ampliación del Complejo Industrial de Sines, en Portugal, para construir dos nuevas fábricas de polímeros 100% reciclables —una de polipropileno (PP) y otra de polietileno lineal (PEL)— con “tecnología innovadora y energéticamente eficiente, que se complementa con una nueva plataforma logística, un electrolizador de hidrógeno, y dos centrales fotovoltaicas”.

Circularidad del plástico

Viajamos ahora hasta AIMPLAS, Instituto Tecnológico del Plástico, donde también trabajan para conseguir la circularidad en los procesos químicos relacionados con este material. “Hay múltiples estrategias en este sentido y todo versa en alargar lo máximo posible el tiempo durante el cual los plásticos permanecen dentro de la economía

Búsqueda sostenible de minerales estratégicos

Un eje estratégico de la industria química moderna son las conocidas como «tierras raras» (que en realidad, ni son tierras, ni son raras), un grupo de 17 elementos químicos esenciales. De estos, 15 son los lantánidos, un bloque de la tabla periódica que va desde el lantano hasta el lutecio, y los otros dos son el escandio y el itrio. La disposición de sus electrones y sus cambios de estado dan lugar a características ópticas y magnéticas imprescindibles para usos tecnológicos. Por eso, su papel es insustituible en la fabricación de componentes electrónicos, smartphones, ordenadores, máquinas médicas de resonancia magnética, satélites de comunicaciones y otras muchas aplicaciones, hoy en día vitales para multitud de sectores. También para el de la transición energética. “Numerosos productos tecnológicos y armamentísticos, como son las baterías de co-



Raimundo Jiménez.

ches eléctricos, la producción de imanes, láseres, catalizadores, drones, sistemas de visión nocturnos, etc. son imprescindibles hoy día. Y en ellos, las tierras raras son componentes fundamentales”, enumera Raimundo Jiménez, catedrático y profesor jubilado de Edafología y Química Agrícola de la Universidad Autónoma de Madrid. Pero su demanda creciente y las tensiones geopolíticas hacen cada vez más difícil garantizar el acceso a estos recursos clave, sobre los que la preocupación se ha agudizado en el último lustro. Y planea otra necesidad: la industria química debe buscar soluciones sostenibles para obtener los minerales críticos con el mayor respeto ambiental posible. Los procesos de extracción están ligados al tipo de yacimiento en el que se encuentran las tierras raras, y de esto depende su impacto en el medioambiente. Elena Crespo, investigadora principal del grupo Geoquímica de Exploración y Ambiental de la Universidad Complutense de Madrid, categoriza en tres los tipos de yacimientos: aquellos en los que los minerales que contienen las tierras raras se encuentran dentro de rocas duras (yacimientos de carbonatitas y/o rocas ígneas alcalinas), yacimientos en los que estos elementos están asociados a arcillas, adsorbidos en su superficie por intercambio iónico (yacimientos de adsorción iónica o lodos de tierras raras), y yacimientos en los que los minerales con tierras raras están acumulados en materiales sueltos no compactados (sedimentos). En los dos últimos casos, “el proceso de extracción es más sencillo y menos costoso, con un menor impacto ambiental global, porque, al tratarse de materiales poco compactados, pueden ser retirados

ches eléctricos, la producción de imanes, láseres, catalizadores, drones, sistemas de visión nocturnos, etc. son imprescindibles hoy día. Y en ellos, las tierras raras son componentes fundamentales”, enumera Raimundo Jiménez, catedrático y profesor jubilado de Edafología y Química Agrícola de la Universidad Autónoma de Madrid. Pero su demanda creciente y las tensiones geopolíticas hacen cada vez más difícil garantizar el acceso a estos recursos clave, sobre los que la preocupación se ha agudizado en el último lustro. Y planea otra necesidad: la industria química debe buscar soluciones sostenibles para obtener los minerales críticos con el mayor respeto ambiental posible. Los procesos de extracción están ligados al tipo de yacimiento en el que se encuentran las tierras raras, y de esto depende su impacto en el medioambiente. Elena Crespo, investigadora principal del grupo Geoquímica de Exploración y Ambiental de la Universidad Complutense de Madrid, categoriza en tres los tipos de yacimientos: aquellos en los que los minerales que contienen las tierras raras se encuentran dentro de rocas duras (yacimientos de carbonatitas y/o rocas ígneas alcalinas), yacimientos en los que estos elementos están asociados a arcillas, adsorbidos en su superficie por intercambio iónico (yacimientos de adsorción iónica o lodos de tierras raras), y yacimientos en los que los minerales con tierras raras están acumulados en materiales sueltos no compactados (sedimentos). En los dos últimos casos, “el proceso de extracción es más sencillo y menos costoso, con un menor impacto ambiental global, porque, al tratarse de materiales poco compactados, pueden ser retirados



Planta de captura de CO2 de Bright Renewables.

sin convertirse en residuos”, explica Belén Monje, investigadora líder en química sostenible en AIMPLAS. Para ello, están los procesos de reciclado mecánico y, cada vez más implementados, los de reciclado químico y los que implican biotecnología. “En estos dos últimos podemos obtener de nuevo las materias primas de partida o intermedias, con las que mediante procesos de repolimerización podríamos obtener de nuevo el mismo polímero inicial u otro diferente, pero con las

mismas propiedades que un polímero virgen”, detalla Monje. En AIMPLAS trabajan en numerosos proyectos relacionados con diferentes tipos de residuos, dice Adrián Morales, investigador líder en reciclado mecánico en AIMPLAS: “Por un lado, proyectos para la gestión de residuos preconsumo, es decir, aquellos que se generan en las propias plantas de transformación o que no se les llega a dar un uso. Por otro, también en la gestión y tratamiento de residuos postconsumo



Belén Monje.

mo procedentes de cualquier sector”. Como adelantaba Monje, a través de diferentes tratamientos, como mecánico o químico, pueden llegar a obtener materias primas recicladas de alto valor, que pueden ser utilizadas en la misma aplicación de la que proceden o en otra distinta. Otra vía es “la reutilización de materiales o productos, donde se valora si es viable utilizar de nuevo un material ya usado tanto en términos técnicos como en términos de seguridad, sin necesidad de aplicarle un proceso de reciclado”, añade Morales.

con palas retroexcavadoras y realizar un proceso de lixiviado ácido o de lavado”, detalla Crespo. Sin embargo, en los yacimientos de carbonatitas y rocas ígneas alcalinas, los más habituales, el impacto ambiental es mayor porque provoca más residuo, explica la investigadora: “Para explotarlos se necesita realizar voladuras que fracturen la roca y permitan su transporte a las plantas de procesado. Esto suele generar bastante material de desecho que acaba en escombreras (la cantidad de minerales con estos elementos en el conjunto de la roca suele ser pequeña) y también residuo producido durante el proceso de beneficiado (el tratamiento en planta para extraer los elementos químicos del mineral)”.

Para mejorar esto y avanzar hacia la economía circular de la industria química, Crespo cree que las principales mejoras en la extracción de las tierras raras están relacionadas con un “mayor aprovechamiento de las explotaciones a partir de la obtención de otros minerales interesantes que se puedan comercializar como subproductos”. Así, parte de los residuos pasan a ser recurso y también hay mayor beneficio económico. “Otra mejora tendría que ver con las técnicas de procesado, que cada vez son más eficientes, consiguiendo que se pierdan menos tierras raras presentes en el mineral”, añade.

Pero el enfoque medioambiental no es el mismo en todo el mundo. La inmensa mayoría de yacimientos de tierras raras se explotan en China, que con un 37% de las reservas globales ha llegado a acaparar casi el 90% de la producción, según datos del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés). Allí, en la República

Popular China, el enfoque medioambiental no suscita tanta atención como puede ocurrir en otras regiones, recuerda Crespo.

“Desde hace varias décadas, tanto Europa como Estados Unidos, Canadá y Australia tienen políticas muy restrictivas a nivel ambiental en torno a la búsqueda y explotación de los recursos minerales. Por ejemplo, para la exploración se suelen utilizar lo que se denominan técnicas indirectas, que no necesitan excavar ni perforar el suelo para estudiar el subsuelo, como la magnetometría y la gravimetría



Elena Crespo.

aerotransportada, o la sísmica pasiva, que son técnicas geofísicas muy habituales en la exploración de yacimientos minerales”, explica la investigadora. Además, la ley obliga a la restauración de las zonas afectadas por la explotación minera una vez que cesa la actividad. En el caso de España, Jiménez cree que “tenemos suficientes conocimientos para abordar la extracción



Adrián Morales.



Sandra Ramos.



Mireia Fernández.

En esta gestión de residuos plásticos, la tecnología y la innovación juegan un papel clave. “Con el uso de tecnologías como la automatización, la inteligencia artificial y el análisis de datos se puede mejorar la eficiencia operativa, reducir el consumo energético y minimizar el desperdicio de materiales, lo que implica no solo una reducción en el uso de materias primas, sino también una disminución significativa en el consumo energético y en los residuos generados”, explica Sandra Ramos, investigadora en economía circular en AIMPLAS. En el caso de los residuos plásticos, la innovación ha sido especialmente importante, recalca, a través de tecnologías de reciclaje mucho más avanzadas, sistemas inteligentes de clasificación de residuos, investigación en nuevos materiales y tecnologías de monitoreo y trazabilidad. Además, la innovación también recalca en el ecodiseño, para que los productos se fabriquen directamente con menos materiales o materiales más sosteni-

bles, contribuyendo también a la economía circular. “También se utilizan herramientas digitales para analizar el ciclo de vida de los productos, lo que permite tomar decisiones más sostenibles desde la fase de diseño hasta el final de su vida útil”, añade Ramos. Por último, la tecnología también ha permitido desarrollar “procesos más limpios, como el uso de energías renovables o sistemas de captura de emisiones, que ayudan a reducir la huella de carbono de las industrias” y sumar en el avance hacia la circularidad en la química del plástico.

Como resume Mireia Fernández, investigadora líder en reciclado químico en AIMPLAS, “la investigación, desarrollo e implementación de nuevas tecnologías, como el reciclado químico, ha permitido obtener sustancias químicas de alto valor añadido para la industria a partir de residuos plásticos, contribuyendo así a la reducción del uso de materias primas vírgenes y al cierre del ciclo de los materiales”.

Tecnología e innovación

En todos los proyectos anteriores hay elementos comunes: la tecnología y la innovación. Se deduce de los ejemplos anteriores que ambos factores son pilares fundamentales para avanzar hacia una industria química más circular, sostenible y competitiva.

Cristina González subraya para constatarlo varias cifras: “La industria química española es líder en innovación industrial, destinando anualmente 2.000 millones de euros a I+D+i, lo que representa el 24% de toda la inversión industrial en España y la sitúa como el primer inversor sectorial. Este esfuerzo se traduce en una elevada intensidad innovadora: el 11% del valor añadido bruto del sector se dedica a actividades de I+D+i. Además, la industria química emplea al 22% de los investigadores y personal dedicado a I+D+i de toda la industria manufacturera, reforzando su papel como motor tecnológico del país”.

de tierras raras y yacimientos contrastados, que solo necesitan el permiso correspondiente de la administración”, pero subraya que “eso exigiría un control exhaustivo de las instituciones encargadas”. Crespo matiza que tenemos yacimientos abundantes de los denominados minerales críticos, pero no tanto de tierras raras, aunque sí existe un yacimiento muy investigado en la provincia de Ciudad Real ligado a materiales no compactados (sedimentos). “Esto significa que no supone un impacto medioambiental importante ya que solo se debería movilizar una capa de suelo, lavar el material para separar el mineral que contiene las tierras raras (en este caso, monacita), y volver a depositar ese nivel de arenas”, explica. Sin embargo, el proyecto lleva años encontrando resistencias y movilizaciones en contra por parte de plataformas ecologistas, partidos políticos, entidades locales y expertos.

Ante las necesidades y tensiones, cabe preguntarse si es posible encontrar un equilibrio entre la explotación de materias primas y búsqueda de minerales estratégicos, y la minimización de su impacto ambiental. Jiménez cree que sí, “aunque eso exige un control rígido por parte de las administraciones y organismos competentes, cosa

que no siempre sucede”, considera. “El modo de actuación sería exigiendo a las empresas estudios previos y, sobre todo, un control ambiental férreo por los organismos competentes. No es razonable encontrar numerosos entornos ambientalmente degradados, esparcidos por el territorio español”, añade.

En la búsqueda por la sostenibilidad, Crespo recuerda que cuando se habla de ella hay que pensar en tres ejes: medioambiente, sociedad y economía. “Los recursos minerales son imprescindibles para nuestro día a día, por eso hay que encontrar un equilibrio entre los intereses de los tres aspectos” sostiene. A favor de los dos últimos, la experta recuerda que Europa basa su desarrollo tecnológico y económico en todos esos minerales, sobre los que China, como hemos visto, tiene un control inmenso. “Si se produjera falta de suministro, gran parte de la industria se pararía, con el consecuente problema, que no solo sería económico. Por eso las políticas europeas están volcándose en tener activos yacimientos de estos minerales críticos para poder disminuir la dependencia de terceros países, pero se enfrenta al exceso de celo *medioambientalista* de la sociedad europea”, sostiene la investigadora.

Esto incluye el desarrollo de tecnologías avanzadas de reciclaje químico, digitalización para la gestión de flujos de materiales y soluciones basadas en inteligencia artificial para optimizar procesos productivos y nuevas formulaciones, señala. “Estos avances no solo fomentan la circularidad, sino que también abren la puerta a nuevos modelos de negocio basados en la valorización de residuos y la creación de productos de alto valor añadido a partir de recursos alternativos”, resume la directora de Estrategia, Advocacy y Competitividad de Feique.

Dongil de Pedro coincide en que la tecnología y la innovación juegan un papel fundamental en el desarrollo de una química más verde y circular: “Se pueden diseñar procesos más eficientes, que consuman menos energía y generen menos residuos, empleando materias primas renovables. Dentro de estas innovaciones está el desarrollo de nuevos catalizadores o reactores más inteligentes y flexibles”.

Retos futuros

A pesar de todos estos avances e innovaciones en la química circular, aún hay tareas que acometer para reducir el impacto ambiental de la industria química “no solo en España, sino a nivel global”, subraya Martínez de Pedro. Entre ellos, la investigadora de la UAM destaca la necesidad de lograr una descarbonización real de los procesos industriales, así como reducir la generación de residuos y mejorar su gestión. Para Dongil de Pedro, del CSIC,

está pendiente “redefinir modelos productivos y de negocio para reducir las emisiones y movernos hacia un uso más eficiente de materias primas”. Todo ello requiere de inversión y regulación para impulsar los proyectos, pero quedan retos.

Por un lado, “existen factores que lastiman la competitividad y que dificultan la inversión y la consolidación de modelos circulares a gran escala en el sector químico nacional y europeo”, considera González, de Feique. Entre estos, destaca los altos costes energéticos, la falta de armonización en la normativa sobre el fin de condición de residuo -tanto a nivel nacional y autonómico como europeo- y la ausencia del reconocimiento del balance de masas.

Otro de los grandes desafíos es la demanda de productos circulares. Según González, los consumidores no siempre están dispuestos a asumir la prima verde (*green premium*) asociada a este tipo de productos; es decir, el sobrecoste que a menudo tienen los productos o tecnologías más sostenibles en comparación con sus alternativas convencionales, menos respetuosas con el medio ambiente. Unido a esto, los fabricantes dudan en acometer inversiones en productos circulares si no cuentan con la certeza de un mercado sólido que garantice su rentabilidad, añade.

Como indica González, este obstáculo ya se recoge en el *Pacto por una industria limpia* de la Comisión Europea, publicado en febrero de este año, donde se subraya la necesidad de implementar medidas que estimulen la demanda de productos circulares. “Desde el sector apoyamos totalmente esta propuesta mediante, por ejemplo, compra pública verde, campañas de sensibilización o la creación de mercados para materias primas secundarias”, manifiesta.

También la escalabilidad y la viabilidad económica de muchas soluciones innovadoras siguen siendo un desafío. “Los elevados costes de inversión, la competencia de materias primas vírgenes más



Los materiales críticos son esenciales para los componentes de los aparatos electrónicos.

baratas y la limitada demanda de productos circulares dificultan su implementación a gran escala”, considera González.

Hay muchos retos, pero hemos visto también proyectos e iniciativas para mejorar, porque “es la propia ingeniería química la que tiene la capacidad de plantear soluciones a estos retos, especialmente desde la investigación y el desarrollo tecnológico del sector”, sostiene Martínez de Pedro. En este sentido, la experta también considera clave la formación técnica: “Necesitamos ingenieros con una base sólida, pero también con una visión crítica y responsable, que entiendan que la sostenibilidad es un aspecto fundamental para el futuro del sector”.

Como objetivos a medio plazo, Martín, de Repsol, marca cuatro: reducir drásticamente el vertido mediante una recogida más eficiente y homogénea en todo el territorio; aumentar la capacidad de reciclaje, especialmente químico, para cerrar el ciclo de materiales difíciles de tratar; impulsar el ecodiseño y la reutilización desde la fase de concepción del producto; y fomentar el uso de materias primas alternativas, como bioplásticos o materiales reciclados de alta calidad.

En conclusión, “la industria química en España ha comenzado a dar pasos significativos hacia la circularidad, pero aún debe afrontar importantes desafíos para alinearse con los objetivos europeos”, sostiene González. El desarrollo de infraestructuras para la valorización de residuos, un mayor acceso a tecnologías innovadoras y materias primas alternativas, la creación de un marco regulatorio estable y armonizado, que favorezca la adopción de estas innovaciones, y la promoción de la colaboración entre empresas y de incentivos económicos que favorezcan los productos circulares, serán esenciales para consolidar una transición efectiva hacia una química y una economía circular y sostenible.

Mientras se resuelven los retos para conseguir minerales estratégicos con el mínimo impacto medioambiental, los expertos recuerdan la importancia de buscar soluciones porque, como concluye Jiménez, “sus usos hoy día son importantísimos y preveo que en el futuro lo serán aún más”.



Mina a cielo abierto en China para la extracción de tierras raras.

materia

¡Despejada la incertidumbre! La ciencia cuántica cumple 100 años

“Si crees que entiendes la mecánica cuántica, es que no la entiendes en absoluto”, dijo Richard Feynman de forma elocuente. La teoría y sus corolarios, como la dualidad onda-partícula, se respeta, pero también asusta por su complejidad. Las biografías de muchos de los científicos que se citan a continuación nos conducen a personas atrapadas por el encanto de la mecánica cuántica, en algunos casos hasta la obsesión. La mecánica cuántica se ha abierto camino y actualmente está presente en nuestro día a día, y en más situaciones de las que imaginamos. Por este motivo, se proclamó 2025 como Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas. El pequeño relato que sigue, sobre los orígenes de la mecánica cuántica, es un homenaje a la labor de todos aquellos que la imaginaron y desarrollaron.

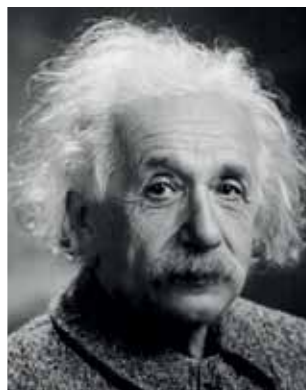
El 17 de junio de 2024, Naciones Unidas proclamaron 2025 el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas (IYQ). Se eligió este año porque se considera que fue en 1925 cuando Werner Heisenberg (1901-1976) estableció las bases de la mecánica cuántica. Pero atribuir el inicio de esta disciplina a una persona y un momento concreto sería un error y para conocer sus orígenes hay que remontarse a finales del siglo XIX e inicios del XX. Empecemos esta excitante singladura. Max Planck (1858-1947), alumno del Max Gymnasium de Múnich, al igual que Heisenberg, para tratar de explicar la radiación del cuerpo negro, propuso el 14 de diciembre de 1900 en la Sociedad Alemana de Física la hipótesis de que la radiación no es emitida ni absorbida en forma continua, sino en pequeñas cantidades denominadas cuantos de energía. Albert Einstein (1879-1955) interpretó (Einstein A., *Annalen der Physik*, 17, 1905) los resultados experimentales del efecto fotoeléctrico y, a partir de la hipótesis de Planck, introdujo una de las ideas más revolucionarias del siglo XX, la dualidad onda-partícula: la radiación electromagnética, la luz, tiene un comportamiento dual.

Más aún. A principios del siglo XX la física atómica era una disciplina establecida, pero todavía con muchas incógnitas. En 1911 quedaron atrás los modelos atómicos de Demócrito (460 a.C.-370 a.C.) y John Dalton (1766-1844), cuando Ernest Rutherford (1871-1937) estableció el modelo atómico en el cual los electrones giran alrededor de un núcleo central que contiene a los protones. Fue el punto de partida del modelo atómico precuántico, el modelo de Bohr en 1913. Para evitar el colapso de una partícula negativa girando alrededor de partículas positivas, Niels Bohr (1885-1962) introdujo la existencia de unas órbitas en las cuales no se producía ni ganancia ni pérdida energética. Estas órbitas venían determinadas por un número, el número cuántico principal. Este modelo parecía el principio del fin ya que permitía explicar el espectro atómico del hidrógeno (los espectros atómicos constituían la prueba de fuego que toda teoría atómica debía explicar). La carrera acababa de empezar. Arnold Sommerfeld (1868-1951) introdujo un segundo número cuántico que incorporaba las órbitas elípticas al modelo de Bohr y también consideró

Max Planck.

Albert Einstein.

Ernest Rutherford.

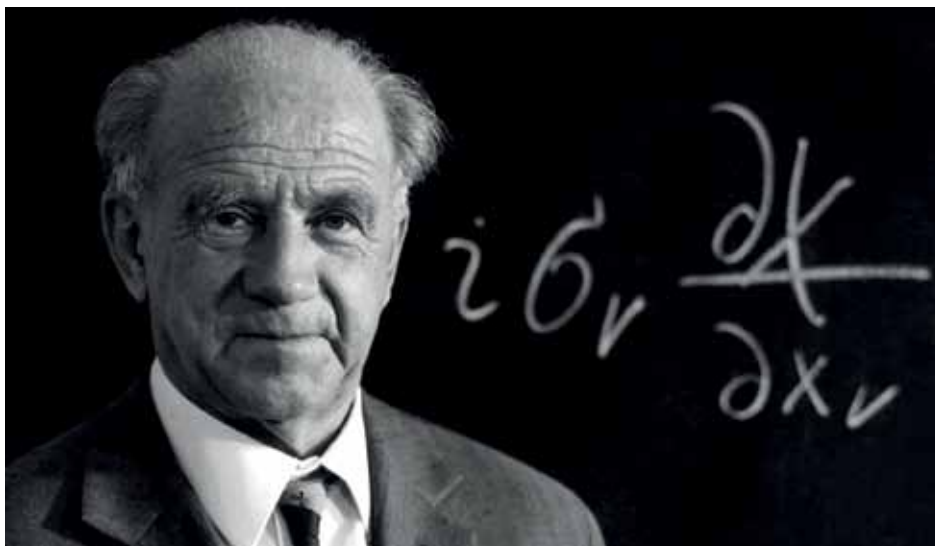


Texto: Juan Frau, catedrático de Química Física de la Universidad de las Islas Baleares y presidente de la Asociación de Químicos de las Islas Baleares

los efectos relativistas. Pero a veces el azar es importante. Heisenberg, que estaba estudiando en la Universidad de Múnich, fue aceptado en el seminario de Sommerfeld. Había trabajado sobre el modelo atómico y, fundamentalmente, en cómo se desdoblaban las líneas espectrales en presencia de un campo magnético.

Los congresos científicos constituyen una herramienta fundamental en el desarrollo de la ciencia, ya que, más allá de conocer los avances de los grupos de investigación, constituyen un punto de encuentro. Seguramente, hay uno que fue fundamental para el devenir de la mecánica cuántica. Lo organizó en Gotinga, en junio de 1922, Max Born (1882-1970) y asistieron Bohr y Sommerfeld con algunos de sus alumnos, entre ellos Heisenberg. Este, aun estudiante, formuló algunas observaciones al trabajo de Bohr, quien enseguida advirtió su potencial. Se dice que posteriormente fueron a dar un paseo por los alrededores para continuar con la discusión científica. Fue el inicio de una amistad y un momento clave en el desarrollo de la mecánica cuántica.

El inicio de esta teoría se puede establecer en 1925, pero el caldo de cultivo estuvo en sus tres años precedentes. La Universidad de Gotinga y el Instituto de Física Teórica de Copenhague (posteriormente Instituto Niels Bohr) tenían una auténtica pléyade de científicos estrella muy jóvenes (algunos de ellos se citan a continuación) y además eran dos ciudades relativamente cercanas (600 km). Muchos de estos científicos eran conscientes de que era necesario cambiar radicalmente las ideas establecidas. Algunos hechos contribuyeron a confirmar la necesidad de un nuevo modelo, como por ejemplo el principio de exclusión formulado por Wolfgang Pauli (1900-1958) en 1924, según el cual



Werner Heisenberg.

no podían existir dos electrones en el mismo estado cuántico. Este año fue crucial, con el desarrollo de muchos formulismos que poco a poco iban forjando el modelo cuántico.

Llegamos a 1925. Resulta curioso que el punto de partida no sea un único trabajo, sino diversos trabajos publicados en un corto espacio de tiempo. En la primera publicación (Heisenberg W., *Zeitschrift für Physik*, 33, 879-893, 1925) Heisenberg utilizó magnitudes ópticas que podía determinar experimentalmente, como la amplitud y la frecuencia, en lugar de la posición y el momento de los electrones, ya que, por muy observables que sean, no lo son en el mundo microscópico. Born y Pascual Jordan (1902-1980) (Born M. y Jordan P., *Zeitschrift für Physik*, 34, 858-888, 1925) introdujeron las matrices en el modelo de Heisenberg. Finalmente, en noviembre de 1925, Born, Heisenberg y Jordan culminaron el trabajo que contenía “los postulados básicos de la teoría cuántica, considerando la existencia de estados estacionarios de energía en los átomos y saltos cuánticos

entre estados, acompañados de emisión o absorción de luz”. Se publicó en 1926 (*Sobre la mecánica cuántica II*) (Born M., Heisenberg W. y Jordan P., *Zeitschrift für Physik*, 35, 557-615, 1926) y constituye la primera exposición completa de los fundamentos de la mecánica cuántica, la mecánica cuántica matricial.

Llegados a este punto cabe preguntarse: ¿existe la química cuántica? La respuesta a esta pregunta es que sí, pero quizás debido a una nueva formulación de la llamada mecánica cuántica.

Dos puntos fueron claves: la correspondencia entre la mecánica clásica y la óptica geométrica y la hipótesis de Einstein de los cuantos de energía de la radiación electromagnética. A finales de 1923, Louis-Victor de Broglie (1892-1987) publicó tres notas en *Comptes Rendus* que resumió en 1924 (*De Broglie, L., Philosophical Magazine*, 47, 446-458, 1924) y posteriormente desarrolló en su tesis doctoral en 1924. Su hipótesis quedará para la historia: toda partícula con masa, y por lo tanto el electrón, posee una naturaleza dual. O sea, todo electrón tiene una onda asociada.

Niels Bohr.

Arnold Sommerfeld.

Maurice de Broglie.

John Pople.



Su revolucionaria idea, que contó con algunas desaprobaciones en la defensa de la tesis, recibió el espaldarazo definitivo cuando Davisson y Germer en 1925 demostraron de forma accidental la difracción de los electrones, que certificaron en 1927, de forma independiente, George P. Thomson y Clinton J. Davisson y Lester H. Germer.

Así, en 1926, Erwin Schrödinger (1887-1961) publicó una nueva formulación de la mecánica cuántica, conocida como la mecánica cuántica ondulatoria, en cuatro trabajos con el mismo título *Quantisierung als Eigenwertproblem* (Schrödinger E., *Annalen der Physik*, 79, 361-376; 79, 489-527; 80, 437-490; 81, 109-139, 1926). En la primera publicación Schrödinger indica "...en un átomo de hidrógeno las reglas habituales de la cuantificación pueden ser reemplazadas por otra condición en la que ya no hay que introducir números enteros. Estos números enteros aparecen de la misma manera natural como el número entero de nodos de una cuerda vibrante". La teoría representaba como un modelo analítico donde destaca la continuidad y cuyo pilar es la función de onda, y al aplicarla al átomo de hidrógeno se reproducían los niveles energéticos del modelo de Bohr.

Dos modelos revolucionarios con planteamientos diferentes surgidos en el mismo año y de la mano de una pléyade de brillantes, excepcionalmente brillantes, científicos. No hubo ni vencedores ni vencidos. Son conocidos los encuentros de finales de 1926 en Copenhague entre Bohr, Heisenberg y Schrödinger. Bohr amante de las discusiones intensas, Schrödinger, cuyo carácter era más retraído, y Heisenberg, excepcionalmente brillante, humilde y "de expresión encantadora", como lo definió Born. Uno de los puntos de desencuentro era que, según Heisenberg, la mecánica ondula-

toria parecía indicar que las ondas de materia realmente existen.

A pesar de la aparente diferencia entre ambos modelos, Schrödinger demostró que podía escribir su ecuación en función de unos operadores que actúan sobre la función de onda; o sea: era posible llegar a la mecánica matricial a partir de la mecánica ondulatoria. Muchos autores continuaron la tarea de unificar las dos mecánicas. Aquí surgen las figuras de Paul Dirac (1902-1984)



**AÑO INTERNACIONAL DE LA
Ciencia y Tecnología
Cuántica**

John von Neumann (1903-1957). En 1930, Dirac introduce por primera vez el concepto de estados y observables (*The Principles of Quantum Mechanics*, Clarendon Press, 1930) y la rigurosidad matemática la aportó von Neumann (*Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, Springer, 1932). Además, Dirac dedujo la existencia del espín, una propiedad estrictamente microscópica y que no tiene equivalencia en el mundo macroscópico, que había postulado Pauli y que Schrödinger no había podido incorporar a su modelo.

La unificación de ambos modelos dio lugar a los postulados que actualmente conocemos. Estos son los ingredientes de la química cuántica que se imparte en los grados de Química de todas las universidades, con los que se cocina la teoría atómica.

Los científicos son humanos y la carrera no terminó aquí. Unificadas las teorías continuaron las discusiones, y ahora el objeto de discusión se centraba en las interpretaciones de la mecánica cuántica. Famosas son las conferencias Solvay, especialmente la de 1927. Quizás dos de las interpretaciones que más ampollas y comentarios suscitaron fueron el principio de incertidumbre, mejor llamado la desigualdad de Heisenberg, formulado curiosamente en 1927, y la superposición cuántica. La interpretación de Copenhague indicaba que en un sistema cuántico hasta que no se mide una magnitud su valor no está determinado. Por tanto, mientras no se mida una propiedad, el sistema cuántico no tiene ninguna propiedad, solo una serie de probabilidades asociadas. Por otra parte, de acuerdo a la superposición cuántica un sistema se encuentra en todos sus estados posibles de manera simultánea hasta que se haga la medición. Esta interpretación no era del agrado de Schrödinger ni de Einstein, quien publicó *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik* (Schrödinger E., *Die Naturwissenschaften*, 23, 807-812, 1935) en el que abordada la archiconocida paradoja del gato de Schrödinger. El estudio de la materia no termina en los átomos. Walter Heitler (1902-1984) y Linus Pauling (1901-1994) fueron de los primeros en aplicar la mecánica ondulatoria para explicar el enlace químico. La resolución de la ecuación de Schrödinger únicamente tiene solución analítica para el átomo de hidrógeno. Al extenderla a sistemas con más de un electrón aparece el problema de los términos de interacción electrón-electrón. Por otra parte, en el estudio de moléculas surge un nuevo aspecto que debe considerarse: cómo tratar el movimiento con más de un núcleo.

Erwin Schrodinger.

Paul Dirac.

Robert Oppenheimer.

Douglas Hartree.





Participantes en la 5ª Conferencia Solvay, celebrada en Bruselas en octubre de 1927.

Una nueva figura, conocida por sus investigaciones sobre la fisión nuclear que desembocaron en la producción de la bomba atómica, fue Robert Oppenheimer (1904-1967). Durante su estancia en Gotinga, entre 1926 y 1927, trabajó con Born y conoció a Heisenberg. De esta época data el principio de Born-Oppenheimer que da respuesta al segundo problema al considerar que el movimiento de los núcleos es despreciable frente al movimiento electrónico, reduciendo de forma significativa el número de términos en la ecuación diferencial.

La solución del primer problema reside en el método del campo autoconsistente de Hartree-Fock que permite transformar una ecuación diferencial de “n” electrones en “n” ecuaciones diferenciales de un electrón. A partir de los orbitales atómicos hidrogenoides se podía resolver la ecuación de Schrödinger y obtener unos orbitales atómicos para el átomo en cuestión. De la misma forma, en el caso de moléculas se partía de orbitales moleculares obtenidos como una combinación lineal de orbitales atómicos. Douglas R. Hartree (1897-1958) fue un matemático cuya relación con la química fue debida a una visita que Bohr realizó a la Universidad de Cambridge, a raíz de la cual inició el doctorado con él. Esta fue prácticamente su única contribución al mundo de la química, pero ¡qué contribución! Además, contó con

la ayuda de su padre, ingeniero jubilado, que realizó la mayoría de los cálculos numéricos. Sin embargo, dicho método no consideraba el espín electrónico y fue Vladimir Fock (1898-1974) quien lo complementó introduciendo la antisimetría de la función de onda con respecto al intercambio de electrones.

Nos encontramos en el periodo entre las dos grandes guerras europeas, con los formulismos desarrollados, pero sin ordenadores, al menos como los conocemos actualmente. El problema estaba en resolver el complejo procedimiento iterativo del método de Hartree-Fock. Para agilizar la resolución se propuso que la función inicial se podía definir como un conjunto de funciones de base. El método desarrollado por Clemens C. J. Roothaan (1918-2019), físico y químico, y el matemático George G. Hall (1925-2018) de forma independiente en 1951, se conoce como las ecuaciones de Roothaan-Hall.

A partir de aquí dos grandes científicos deben mencionarse. Ganadores del Premio Nobel de Química en 1998 por el desarrollo de métodos computacionales de química cuántica. Son John Pople (1925-2004), químico y matemático, y Walter Khon (1923-2016), físico. Muchos de los autores citados han sido galardonados con un premio Nobel. Podemos imaginar la competencia, pero aun así es importante destacar lo que podríamos llamar la humanidad de la

mecánica cuántica. En 1933 se concedió el premio Nobel de Física a Schrödinger y a Dirac, mientras que un año antes se había concedido a Heisenberg, quien escribió una carta a Born en la que indicaba: “... El hecho de que solo yo reciba el premio Nobel por el trabajo hecho en Gotinga en colaboración –usted, Jordan y yo– me deprime y no sé qué escribirle...”.

Esta breve reseña sirve para ilustrar cómo un conjunto de científicos pusieron sobre la mesa sus ideas y colaboraron para obtener uno de los logros más importantes de la ciencia. El desarrollo científico se basa en la colaboración entre muchos autores. Los modelos se van construyendo con el tiempo y en la historia no aparecen todos. Unos pocos son los elegidos, pero estos han sabido cómo dar forma al inmenso puzzle que significa la investigación y que nunca se puede dar por completo.

La ciencia y tecnología cuántica es pasado, es presente y también es futuro.

Bibliografía

- J.J. Icaza. La construcción de la Mecánica Cuántica. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, Bilbao, 1991.
- Mundo Cuántico. Muy Interesante, 2025
- Física Cuántica: El principio de Incertidumbre. National Geographic, 2025
- M.A. Sabadell. Mundo Cuántico. Editorial Píñolia, 2022.
- Oppenheimer: La historia real de un genio atormentado. National Geographic, 2024.





Lo que los récords deportivos deben a la química

Más rápido, más alto, más fuerte. El célebre lema olímpico no es sólo un ideal, sino un objetivo que nunca acaba de consumarse. Cada récord que ayer parecía imposible se supera en plazos cada vez más cortos. Todo empieza con las aptitudes de los atletas, sus capacidades naturales, su genética, pero, como es bien sabido, detrás de cada récord deportivo hay esfuerzo, entrenamiento, ambición, alimentación, motivación... y también química. Desde las fibras sintéticas que componen las zapatillas de los velocistas y los bañadores de los nadadores hasta las resinas que transformaron las pértigas, la fibra de carbono de las bicicletas, el grafito de las raquetas y las espumas que protegen al alpinista en la cima del mundo. La química ha revolucionado cada rincón del deporte. Hacemos aquí un incompleto recorrido (dado el breve espacio disponible), por materiales y logros sorprendentes, demostrando cómo la ciencia y la tecnología contribuyen al rendimiento, la precisión y la salud de los atletas.

Texto: Elvira del Pozo, periodista de ciencia y medio ambiente.

“**L**a primera vez que salí a correr con ellas, sentí que saltaba el triple ¡Volaba! Y gané la carrera”. Tiempo después, la española Elena Viejo, subía emocionada al podio: con 18 años conseguía el bronce en los campeonatos europeos de Triatlón. Hoy nos atiende por teléfono desde la Universidad Cristiana de Texas (EE. UU.), en la que consiguió una beca para compaginar los estudios en ingeniería mecánica con sus entrenamientos.

Viejo se refiere a sus zapatillas, que incorporan una placa de fibra de carbono en la suela que actúa como una catapulta, mejorando el impulso y reduciendo el número de zancadas. Es tan eficaz que puede aumentar entre un dos y un cuatro por ciento la eficiencia energética del corredor, lo que en un maratón de élite se traduce en reducir varios minutos el recorrido. Suficientes para que el keniano Eliud Kipchoge consiguiera el récord mundial en esta disciplina al recorrer los 42,195 km en 1 hora, 59 minutos y 40 segundos, en 2019, bajando por primera vez de las

dos horas. Sus Nike Vaporfly Next no solo incorporaban ese material en la planta, sino que tenían un diseño más aerodinámico y estaban fabricadas con espuma de polietileno expandido (PEBA), lo que las hacía muy ligeras.

En esa ocasión, la World Athletics -organización que gobierna el atletismo a nivel mundial- no homologó la marca de Kipchoge y limitó el grosor de la placa de carbono a 40 milímetros. Justificó su decisión en el reconocimiento de que su uso cambiaba las reglas del juego y que podía poner en riesgo la equidad competitiva. Bajo esta nueva premisa se crearon las Asics Metaspeed Sky, las Hoka Rocket X y se adaptaron las Alphafly, que acompañaron en sus victorias a triatletas como Kristian Blummenfelt (oro en Tokio en 2020) y Gustav Iden (campeón mundial de Ironman en 2022).

La levedad es vital también en la prueba de bicicleta. La que Elena Viejo utiliza está hecha de fibra de carbono. Un material que, aunque ahora es el estándar en la competición de élite, en la década



Rafa Nadal con una de sus raquetas Babolat de alta tecnología

de los 80 del siglo pasado supuso tal revolución tecnológica que la Unión Ciclista Internacional se vio obligada a crear dos categorías de récord: una con bicicletas tradicionales y otra bajo el nombre de “Mejor Esfuerzo Humano”. En esta última incluyó al corredor italiano Francesco Moser, que en 1984 batió el récord de la hora —que ostentaba Eddy Merckx desde 1972— al recorrer más de 51 kilómetros en 60 minutos. Lo logró no sólo con entrenamiento y táctica, sino con un bastidor con ese ingrediente y también para-aramida, una fibra sintética muy resistente, que la hacía significativamente más ligera y rígida que los modelos tradicionales de acero o aluminio. Además, estrenó ruedas lenticulares -sin radios- y casco aerodinámico, todo fabricado con compuestos sintéticos avanzados.

El triatlón arranca siempre con un chapuzón porque nadar es la disciplina que mejor permite espaciar a los competidores desde el inicio. Minimiza así el riesgo de aglomeraciones y evita incidentes como los que, en ocasiones, se producen en la Vuelta a España y el Giro de Italia. En los 1,5 kilómetros que tienen que recorrer los triatletas en mar (o lago) abierto, la seguridad es prioridad. Por eso tienen prohibido utilizar los ajustadísimos bañadores de poliuretano, como el famoso LZR Racer de Speedo. Gracias a su capacidad para comprimir el cuerpo, reducir la resistencia al agua y mejorar la flotabilidad se batieron decenas de récords mundiales de natación desde finales de la década de 2000. Y contribuyeron a que Michael Phelps consiguiera ser el deportista con más medallas de oro en los Juegos Olímpicos de Pekín, en 2008.



Eluid Kipchoge

Viejo utiliza algo menos extremo, como neoprenos ultraligeros de última generación —con burbujas de nitrógeno, revestimientos hidrófobos y tejidos elásticos como el elastano y la poliamida— que permiten mantener la temperatura corporal y optimizar la hidrodinámica sin sacrificar libertad de movimientos. Unas prestaciones que, en deportes más extremos como la espeleología y el alpinismo, salvan vidas. Por eso es uno de los imprescindibles en la mochila de la montañera y exploradora francesa Laurence de la Ferrière, que fue la primera mujer en coronar sin oxígeno el Monte Everest y en alcanzar el Polo Sur en solitario, ambos en la década de los 90.

Precisión en cada golpe

En deportes como el tenis, el golf, el salto con pértiga y el tiro con arco, la química también marca la diferencia. La sustitución de la madera por materia-

les como kevlar, fibra de carbono o cerámica ha mejorado la precisión y potencia de las raquetas, por ejemplo. Las pelotas, ya sean de tenis, golf y ping-pong, han incorporado materiales como el polietileno, que permiten soportar altas velocidades y mantener trayectorias más estables. Hasta las bolas

de billar han evolucionado del marfil a resinas sintéticas más precisas, redondas y económicas.

El esférico del deporte estrella no es ajeno a toda esta revolución tecnológica. El balón de fútbol es hoy un prodigio de ingeniería química. De cuero - y pesado en días de lluvia por absorber la humedad-, se ha pasado al poliuretano con microcápsulas de gas que mantiene su peso y elasticidad incluso bajo aguacero. Ahora, garantizan precisión, simetría y aerodinámica.

El equipamiento de los futbolistas también ha evolucionado. Por un lado, las camisetas de fibras sintéticas mejoran la transpiración y el confort. Además, las botas de ahora absorben impactos y protegen al pie, gracias al uso de goma EVA espumada - polímero termoplástico, generalmente de etileno-vinilacetato- y caucho butilo -elastómero sintético, generalmente un copolímero de isobutileno e isopreno-.

La cara B de toda esta tecnología puntera es el precio. “Unas zapatillas de alta tecnología normalitas pueden costar 300 euros y la bici a partir de unos 3.000 euros; y además, cada poco, tienes que comprarlo todo de nuevo porque los materiales se desgastan mucho por el esfuerzo”, apunta Elena Viejo. Es tan inasumible que al principio, cuando competía con asociaciones deportivas pequeñas, un vecino le prestaba la bicicleta. No fue hasta entrenar primero en la Blume - el Centro de Alto Rendimiento de Madrid- y ahora en la UTC cuando ha tenido acceso a estos prodigios de la química. Y menos mal, porque “estoy donde estoy gracias a mis zapatillas y a mi bici”, concluye la triatleta.



Elena Viejo.



la magia de la química en casa

Es un lugar común señalar el impacto que la química tiene en nuestra vida diaria. Cuanto nos rodea ha sido modelado por esta ciencia, cuya influencia alcanza a todos los sectores de la economía, desde los más tradicionales, como la agricultura, a los más recientes, como las tecnologías de vanguardia; y, entre medias, la alimentación, la medicina, la ropa, el medio ambiente, las comunicaciones, el deporte, la higiene, la cosmética, el transporte... y los materiales con los que hemos construido nuestro entorno. Lo que quizás no sea tan obvio es que, además, es una ciencia fascinante, asombrosa y divertida. Puede que su aprendizaje no lo parezca, y de ahí que muchas posibles vocaciones se frustren antes de aparecer. Por eso, para que los estudiantes de secundaria descubran que detrás de la formulación y el estudio teórico se esconde un mundo sorprendente ha nacido *¡Cómo mola la química!*, un compendio de experimentos sencillos para hacer en casa o en el colegio.

Texto: Pura C. Roy, periodista de ciencia

El pedagogo estadounidense Edgar Dale aseguraba que aprendemos un 10% de lo que leemos, un 20% de lo que oímos, un 40% de lo que vemos y un 80% de lo hacemos. Aunque sus cifras son discutibles, los expertos coinciden en que la experiencia directa es la mejor forma de conocimiento y de aprendizaje. Con esa idea, Esther Gómez Mejía, David Vicente Zurdo y Belén Serrano San Román, tres profesores e investigadores químicos, han escrito el



libro *¡Cómo mola la química! Descubre la química a través de experimentos*, editado por el Colegio Oficial de Químicos de Madrid y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid.

“Después de llevar un tiempo gestando la idea, nuestro decano, Íñigo Pérez Barroja, nos dijo que desde la Asociación de Químicos se quería llevar a cabo este proyecto ya que permitía divulgar la ciencia a nivel casero”, explica Esther Gómez.

Este libro describe diecisiete experimentos pensados para poder hacerlos en casa, en el colegio o en el instituto. La idea es acercar la química a la gente, porque no suele ser consciente de que estamos rodeados de ella. “Queríamos también fomentar la curiosidad de los padres, para que, junto a sus hijos, pudieran hacer los experimentos en casa, ya que la mayoría de ellos utilizan reactivos muy comunes, como sal, azúcar o agua; y aparatos, como el microondas. La experimentación suele ser entretenida y emocionante para los estudiantes. Los experimentos pueden aumentar la curiosidad por la ciencia y fomentar el interés por las ciencias experimentales”, comenta David Vicente.

Cada uno de los experimentos recogidos tiene una pequeña introducción que recoge el fundamento teórico del experimento, seguido de los materiales a utilizar, los objetivos que se persiguen y la forma de llevarlo a cabo.

Las experiencias en los laboratorios, aunque sean a pequeña escala, ayudan a los estudiantes a corregir conceptos erróneos o malentendidos sobre ciertos fenómenos científicos. Al ver los resultados reales de un experimento, pueden comprender mejor los principios que están detrás de los fenómenos naturales. A quién no le gusta saber cómo explota un volcán, cómo funciona un cohete, cómo inflar un globo sin soplar o cómo fabricar una “masa viscosa”, ese juguete tan popular, que químicamente es un polímero producido a partir de una reacción de polimerización entre la cola blanca y el borato de sodio.

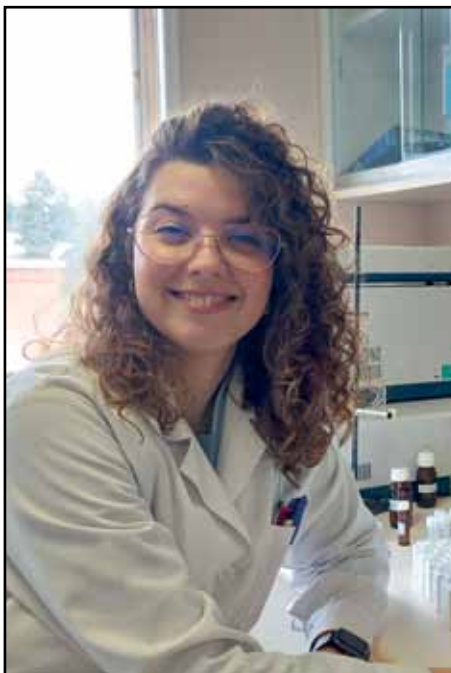
El libro está dirigido a un amplio rango de edad, que va de los 6 hasta los 15 o 16 años, para ser útil en los colegios e institutos. Por ello hay algunos experimentos muy sencillos para enfocarlos a

los estudiantes de primaria y otros más complicados, para los más mayores, que requieren siempre de supervisión para realizarlos y evitar riesgos en la manipulación de las sustancias.

David Vicente Zurdo y Esther Gómez llevan ya un par de años yendo a diferentes centros escolares a hacer experimentos con los alumnos. “Esto nos ha permitido hacer una compilación de los experimentos que recogemos en el libro junto con las ideas que teníamos. Complementamos estas visitas con charlas sobre nuestra labor científica en la universidad. Nuestra intención, con ambas actividades, es fomentar futuras vocaciones científicas. Es necesario provocar la curiosidad y las preguntas del porqué de las cosas”.

¿A qué estudiante no le gustan los experimentos? Con ellos asimilan los conceptos teóricos de manera mucho más amena y descubren cómo se aplica la ciencia en la vida real. “Hay que despertar su curiosidad ya que esto les motiva más a estudiar lo que aprenden con los libros y se planteen para que sirva la química con menos talante negativo, ya que están viendo los resultados de ella. Nosotros tenemos la ventaja de que al no ser profesores del instituto, se produce una mayor atención, expresan sus inquietudes y se muestran muy agradecidos”.

Proporciona una experiencia práctica, fomenta habilidades científicas y promueve un enfoque activo y práctico para el aprendizaje. Los laboratorios son lugares donde los estudiantes pueden descubrir, explorar y aplicar sus conocimientos, lo que enriquece significativamente su educación científica. Además hay que destacar el trabajo en equipo, ya que los estudiantes a menu-



Esther Gómez.

do colaboran para planificar y realizar experimentos. Esto les enseña a comunicarse y compartir ideas con sus compañeros.

Otra de las opiniones más compartidas es que la mejor manera para que los alumnos aprendan ciencia es realizando demostraciones experimentales en el aula que estén relacionadas con su mundo cotidiano. Al estudiar la química, se aprende sobre las propiedades de los elementos químicos, las reacciones químicas y cómo se relacionan entre sí para formar compuestos.

Para Esther Gómez hay un experimento que le gusta mucho realizar que es el de la lombarda, cuya finalidad es conocer el concepto de pH y sustancias ácidas y básicas y estimar el pH de ciertas sustancias comunes. “El hecho de ver los cambios de color en sustancias, que



David Vicente

depende del pH de la disolución, como es el caso del agua de lombarda, gusta mucho a los niños”.

El favorito de David Vicente Zurdo es enseñar a los más pequeños qué es la cromatografía con rotuladores. “En nuestro experimento, la tinta de los rotuladores es la mezcla y sus componentes son los pigmentos. Así, cuando se separan los componentes se obtienen los colores primarios (rojo, amarillo y azul) en aquellas tintas de colores compuestos. Les asombra ver como una tinta azul se descompone en otros colores”.

“El libro seguramente se pondrá pronto a la venta, pero queremos hacer una revisión sobre todo de los posibles pequeños riesgos que puedan conllevar ciertos experimentos. Las precauciones que hay que tener a la hora de realizarlos para que si los hacen con los padres estos no estén relajados, sino pendientes. Así, con sustancias como el yodo hay que tener las ventanas abiertas, porque el yodo sublima enseguida, pasa de sólido a gaseoso y no es aconsejable utilizarlo en un ambiente cerrado”.

Comentan los autores que “el esfuerzo realizado para hacer el libro ha sido intentar no ser demasiado técnicos. Le hemos dado muchas vueltas para simplificarlo. Hemos hecho los diecisiete experimentos y hemos calculado el presupuesto de cada uno. El libro también tiene ilustraciones para visualizar los experimentos y hacerlo más atractivo”. Esta iniciativa ilustra perfectamente la necesidad social de la alfabetización científica.



Experimento ácido-base con lombarda.



El reto energético para la competitividad del sector químico

La industria química española continúa siendo uno de los sectores industriales más consolidados y estratégicos, no solo por su volumen de negocio y su contribución al PIB español (ya que supone, entre la aportación directa y la indirecta, el 4,7% del total), sino también por su papel esencial en la cadena de valor de todos los sectores productivos. Desde una perspectiva estructural, se sitúa como el segundo mayor sector industrial en España -tras alimentación y bebidas- y como el segundo mayor exportador por volumen de negocio. En 2024, el sector demostró nuevamente su solidez alcanzando una cifra de negocios de 85.483 millones de euros (un 3,6% respecto a 2023). Nuestras previsiones apuntan a que en 2025 se podrán superar los 89.000 millones (+4,2%), impulsado por un incremento de la producción del 3,2% y del 1,5% en precios. Pero su competitividad depende de conseguir una energía asequible.

Texto: Juan Antonio Labat, director general de Feique

El dinamismo mostrado por el sector químico durante 2024 también se ha traducido en una evolución positiva del empleo. El número de personas asalariadas directas ha crecido un 4% hasta los 240.000 puestos de trabajo, generando en total más de 816.000 empleos si se incluyen los indirectos e inducidos. Se trata, además, de empleo de calidad, con un 94% de contratos indefinidos y condiciones salariales notablemente por encima de la media nacional, con una media de 42.000 € anuales. La presencia femenina, por otro lado, se incrementa de forma sostenida, alcanzando ya el 46,8% del total de personas empleadas.

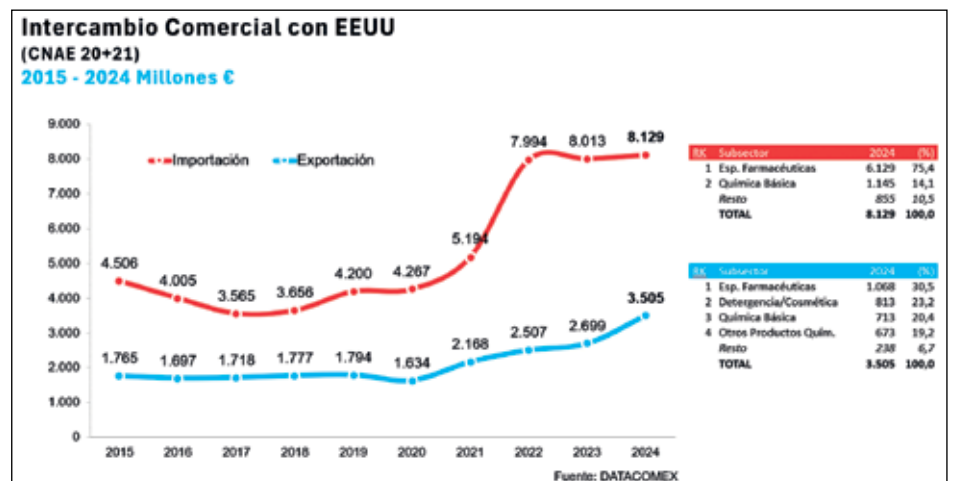
Además, el sector mantiene una destacada orientación exportadora: casi el 70% de su cifra de negocios se genera fuera de nuestras fronteras y en 2024 llegó a los 59.166 millones de euros, manteniéndose estable con apenas un 0,3% más que en el año anterior. Este crecimiento limitado es un reflejo del estancamiento económico de los principales mercados de destino: Francia, Alemania e Italia.

Para 2025, las previsiones apuntan a un incremento del 3%, situando las expor-

taciones en 61.000 millones de euros por las expectativas de crecimiento de la demanda mundial. Sin embargo, las tensiones comerciales globales condicionarán cualquier previsión. Por ello, ante la nueva política arancelaria de EE. UU. urge una negociación eficaz que permita reducir su impacto.

El sector respalda una negociación general, pero, si ésta no prospera, será imprescindible activar una negociación sectorial específica para los productos químicos. De no alcanzarse acuerdos satisfactorios antes del verano, las previsiones de crecimiento para 2025 podrían quedar neutralizadas, afectando gravemente al tejido industrial. Además, preocupa el efecto indirecto de las producciones de terceros países, que al ser excluidas del mercado estadounidense busquen colocarse en Europa, erosionando aún más la competitividad de nuestras empresas.

En cualquier caso, desde el sector químico instamos a la UE y al Gobierno español a que, más allá de los programas de apoyo anunciados para paliar los efectos adversos, se aceleren medidas para impulsar la competitividad, sobre





Datos clave del sector químico español (2024).

todo en relación a los costes energéticos, que constituyen el verdadero talón de Aquiles de las industrias básicas de todo la UE.

A pesar de su resiliencia, la industria química no puede ocultar las profundas dificultades que enfrenta una parte esencial del sector: la química básica, la cual no solo representa un tercio de la producción química nacional, sino que es responsable de la primera transformación de las materias primas, y por tanto pilar de múltiples cadenas de suministro industriales.

Este subsector atraviesa desde 2021 una situación crítica, arrastrado por unos costes energéticos desproporcionadamente altos en comparación con los de otras grandes regiones industriales, como Estados Unidos o China. Esta pér-

dida de competitividad ha provocado un descenso sostenido en la producción y una pérdida de cuota de mercado de la industria química básica.

De hecho, el crecimiento global del sector químico en 2024 se ha sostenido sobre la química de consumo y especialidades, junto a la farmaquímica. Si la química básica continúa perdiendo competitividad, lo que está en juego no será únicamente la viabilidad de determinadas instalaciones industriales, sino el equilibrio y la fortaleza del conjunto del sector químico español.

La cuestión energética es el eje central y, ante esta situación, la respuesta de la UE debe ser clara, decidida y urgente, tal y como señalan el informe Draghi y los análisis realizados por la Comisión Europea en sus recientes y sucesivas

comunicaciones: *Clean Industrial Deal* y *Affordable Energy Action Plan*.

Mientras el precio del gas y la electricidad en Europa se mantiene muy por encima del de sus principales competidores, nuestras empresas pierden competitividad a pasos acelerados. En concreto, las compañías químicas españolas electrointensivas pagan actualmente precios eléctricos que duplican o triplican los de Estados Unidos, lo cual supone una barrera importante a la hora de atraer inversiones o acometer procesos de descarbonización.

Por ello, resulta urgente que el Ejecutivo asuma la aplicación inmediata de las recomendaciones formuladas por la Comisión Europea para reducir la factura eléctrica de los sectores electrointensivos. Esto permitiría acceder a precios finales cercanos a los 40 €/MWh, lo que mejoraría sustancialmente la competitividad internacional de la industria, estimularía nuevas inversiones y evitaría deslocalizaciones de actividades clave. A esto se suma que la industria química necesitará invertir 65.000 millones de euros hasta 2050 en tecnologías limpias para alcanzar la neutralidad climática y abatir 13,5 millones de toneladas de CO₂. Para cubrir este gap, es fundamental la creación de un Fondo Nacional para la Descarbonización y la Competitividad Industrial, independientemente del señalado en el *Clean Industrial Deal*, que esté dotado con 2.500 millones € y que facilite un modelo de financiación CAPEX y OPEX mediante contratos por diferencias de carbono.





Mayte Villalba, decana de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM

“Los químicos nunca han tenido problemas para colocarse, hay muchas salidas profesionales”

Mayte Villalba Díaz (Madrid, 1959) es catedrática e investigadora en el Departamento de Bioquímica y Biología Molecular de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Su trabajo de investigación se centra actualmente en el grupo EsFunProt, que estudia la estructura-función de proteínas. Habla con entusiasmo y alegría sobre su disciplina que, dice, siempre quiso estudiar. Tras doctorarse en 1987 en la UCM, realizó varias estancias en el extranjero. Primero, una de dos años en el Memorial Sloan Kettering Cancer Center, uno de los centros de referencia de investigación oncológica del mundo; y después en la Universidad Rockefeller, en Nueva York, y en la Universidad Brandeis, en Massachusetts. Su actual línea de investigación se centra en la alergia. Fue vicedecana de Investigación y Relaciones Internacionales de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM, y desde julio de 2022 es su decana. Como tal, reclama una financiación que cubra el déficit presupuestario actual de la universidad.

Texto: Eugenia Angulo, química y periodista de ciencia.

Pregunta. ¿Cree que la sociedad es ahora más receptiva a la química?

Respuesta. La gente tiene una percepción de la química como algo negativo y creo que no se conocen realmente todos los aspectos de nuestra vida y de nuestro organismo en los que participa. Dicen que la piscina no tiene químicos, pero claro que los tiene, el más importante es el agua. Pero es verdad que siempre salen muchos aspectos negativos de la química y queremos que eso cambie. En ese sentido, por ejemplo, tenemos un curso propio de formación permanente de enología, en el que se relaciona la química con el vino; hemos hecho exposiciones, por ejemplo, de toxinas, y la próxima que queremos hacer es de venenos, y de química y cosmética, que también es algo que interesa. Tenemos muchas ideas, pero requieren de mucho tiempo y financiación.

P. ¿Cuentan con ayuda en estas actividades?

R. Sí. Pequeña, pero tenemos ayuda. Por ejemplo, del Colegio de Químicos con quien hemos hecho unas jornadas de orientación profesional, de la Real Sociedad de Química, la Sociedad Española de Bioquímica... Y también de empresas, como Saint-Gobain, o federaciones, como Feique. Son ayudas pequeñas, pero que nos permiten hacer este tipo de cosas, como una maqueta de un laboratorio que está expuesta en la Facultad. Pero nuestro presupuesto ahora lo tenemos recortado al máximo para actividades que no tienen nada que ver con la docencia ni con la investigación.

P. La ciencia que se hace en España está reconocida. ¿Es la innovación o la transferencia de conocimiento la dificultad principal de la universidad española?

R. Puede ser un problema porque tampoco hay un gran nicho industrial, pero el sector químico es de lo mejor que hay en este país. Según las memorias de investigación de nuestra universidad de los últimos años, la Facultad de Ciencias Químicas tiene una mayor financiación de proyectos, no solamente nacionales o internacionales competitivos, sino también colaboraciones con empresas. Yo trabajo en la alergia y mucha de nuestra financiación viene de empresas farmacéuticas para investigaciones específicas, menos básicas y más aplicadas. El problema de la universidad respecto a la investigación es que tenemos mucha docencia.

P. ¿Pero podría haber más transferencia?

R. Pues sí. Creo que incluso en los propios modelos docentes se trata por todos los medios de incorporar esa parte profesional. No se debe perder la autonomía universitaria, la capacidad de investigar por el simple hecho de ampliar nuestro conocimiento, pero sí que es verdad que hay una parte importante que puede ser más aplicada y que con doctorados industriales y docencia dual con empresas se puede formar a gente con un itinerario más dirigido hacia salidas profesionales. Lo que tratamos es que todos los estudiantes puedan tener claro la salida por la que quieren optar y no solo por hacer investigación.

P. En Reino Unido, Estados Unidos o Alemania es muy común que los investigadores universitarios monten sus propias empresas, spin-off...

R. En Inglaterra hay mucha industria tecnológica, y en Francia también. El problema es que necesitas que las salidas profesionales tengan también posibilidades. Aquí hay una convocatoria de preincubadoras para facilitar



una salida a quienes quieran poner en marcha una prueba de concepto. Pasa lo de siempre: la financiación y el apoyo es muy pequeño; no digo que sea nulo, pero sí que es muy pequeño. También tenemos el Parque Científico de Madrid, entre la Universidad Autónoma, la Complutense, el CSIC, el Ciemat y el Ayuntamiento de Madrid. Ahí hay pequeñas *startups* y *spin-offs* que están empezando a montarse. El problema es luego las salidas. Muchas veces estas empresas son absorbidas por otras porque no tienen capacidad para extender su producción. La parte profesional tiene que ir en paralelo a la creación de empresas por parte del tejido empresarial de todo el país.

P. Trabajó en Estados Unidos, ¿cómo vio allí la investigación?

R. Hice el *postdoc* en el Rockefeller University Hospital y en el hospital Memorial Sloan Kettering Cancer de Manhattan y realmente te das cuenta del

valor que le dan a la gente que trabaja en investigación. Sencillamente, notas que te consideran una parte importante del país. Eso no se ve aquí de forma tan clara. En una universidad como la Rockefeller tienes varios premios Nobel que te saludan todos los días. Sientes que estás realmente en la élite de la investigación.

P. ¿Por qué estudió química?

R. Siempre he querido estudiar química, quería hacer investigación desde el colegio. Tuve una profesora magnífica de química que alimentó mi vocación. Y la estudié, tres años de química y luego la especialidad en bioquímica.

P. ¿Cuál es la situación actual de la Complutense en comparación con otras?

R. La Complutense es una universidad muy antigua y grande, con infraestructuras de los años 40, que requieren de mucha financiación para que estén en condiciones; sobre todo, para inversiones y mantenimiento. Muchos labora-

torios y vitrinas de extracción de gases son todavía de madera. Pero se hace buena investigación, además de dar docencia. Se debate sobre universidades privadas y públicas, pero de lo que creo hay que hablar es de universidades de calidad, que probablemente esté más en las universidades públicas, pero hay universidades privadas de gran calidad y que incluso hacen investigación, aunque ese no es el propósito principal de la privada. Pero para tener universidades de calidad tienen que estar bien financiadas.

P. ¿Les falta material?

R. No, materiales para la docencia no, porque toda la financiación que nos da la universidad a la facultad la dedicamos a la docencia. Y es muy cara y tenemos que costearla con nuestro presupuesto, que este año se ha recortado un 35%. Con eso solo podemos financiar la docencia. Y todo lo demás no lo hacemos. Tenemos grandes problemas de infraestructuras y necesitamos esa financiación. Hay otras universidades públicas más modernas que tendrán otros problemas, pero este no.

P. ¿Y problemas de gestión?

R. Es verdad que probablemente haya problemas de gestión porque, insisto, tenemos el problema de ser muy grandes y de tener mucha gente. Somos casi 5.000 profesores y tenemos más de 3.000 personas de personal administrativo. Y eso es difícil de gestionar.

P. ¿Cómo se organizan con esta reducción del 35%?

R. Hemos tratado de recortar a los departamentos lo menos posible, no un 35%, sino menos, y hemos quitado casi todos los extras que podemos, como eventos científicos y actividades de divulgación. A veces invitamos a comer a los invitados de nuestro bolsillo.

P. ¿Pasan mucho tiempo buscando financiación?

R. Mucho, por supuesto. Creo que antes teníamos más apoyo económico y además ahora las investigaciones son más caras.

P. ¿Cómo ve a los estudiantes actuales?

R. Desde luego no se parecen a los de antes, para lo bueno y para lo malo. Los buenos son mejores incluso que los que había antes, vienen muy preparados. Pero creo que tienen menor vocación de sacrificio y de dedicación que la que teníamos en nuestra época. Estudiábamos sin pensar en los créditos que nos daban ni en las horas que teníamos que estar en el laboratorio. Esto puede que

sea hasta contraproducente y puede que ahora tengan mucho más organizado su sistema de trabajo, pero creo que la vocación es menor. Y para estas carreras hay que tener mucha, hay que echarle muchas horas, y según van pasando los años, todavía más. Y cuando haces una tesis, todavía más horas.

P. ¿Cuáles son sus objetivos laborales?

R. Hay mucha gente que quiere dedicarse a la industria o a la docencia, pero depende de las especialidades. Ingeniería química tiene muchas salidas y los químicos también se colocan muy bien. La parte de bioquímica está más enfocada a la investigación porque el grado que se ha diseñado en esta facultad está muy dirigido a eso y tiene muchísimos laboratorios, muchísima clase práctica, para después trabajar en un laboratorio de investigación, de análisis clínicos, de hospital. Los químicos nunca han tenido muchos problemas para colocarse, hay muchas salidas profesionales.

P. ¿La relación que tienen con los profesores es buena?

Los profesores estamos muy encorsetados por una burocracia tremenda: los estudiantes nos tienen que valorar en docencia. Eso está bien, pero es voluntaria y solo nos falta casi pedirles de rodillas que nos evalúen. Para nosotros es importante porque sin esa valoración no podemos acreditarlos. En fin, hay mucha burocracia que impide que te dediques a lo que realmente te tienes que dedicar que es a la docencia y a la investigación. Y con la investigación me pasa lo mismo. El tipo de burocracia que hay que seguir para gestionar un proyecto no se parece nada a lo que había antes y ahora lleva tanto tiempo que, muchas veces, si tienes un proyecto grande necesitas un gestor que te apoye y que te ayude, sino, no lo puedes hacer solo.

P. Esta es una queja recurrente de los investigadores.

R. Eso y buscar financiación, porque llega un momento en que lo único que haces en tu vida es pedir proyectos para que te den alguno y te financien la investigación.

P. ¿Esto tiene alguna solución?

R. Supongo que los problemas son parecidos, pero los países que he visitado me han parecido más flexibles. Creo firmemente que aquellos investigadores que tienen su grupo de investigación, que forman a gente, que tienen publicaciones de manera regular, habría que financiarlos con una financiación basal fija. Luego a los que son muy buenos y



tienen unos proyectos maravillosos se les puede dar mucha más financiación. Pero creo que la financiación basal debería existir porque lo que está pasando en este país, y en la universidad está pasando muchísimo, es que la gente se está desmoralizando. Insisto, creo que

« No creo que vaya a haber una fuga de cerebros brutal de EE.UU. a Europa »

hay grupos muy potentes que hay que financiarlos, pero tampoco puede ser que los que son normales se queden sin financiación, ni que los que son muy potentes tengan que devolver el dinero porque no se lo han gastado, que también ocurre.

P. ¿Qué debería hacer España, y Europa, para aprovechar la situación de muchos científicos de Estados Unidos que, al parecer, se están yendo o quieren irse?

R. No creo que vaya a haber una fuga de cerebros brutal hacia Europa, porque las universidades se van a poner las pilas, como ha hecho ya Harvard. En Estados Unidos las universidades y los científicos tienen mucha fuerza, mucha credibilidad, y es muy difícil quitársela. Es verdad que ahora hay un problema político muy grave, pero creo que la universidad va a luchar para mantener esa credibilidad. Aunque allí cuentan con muchos fondos estatales y esto se les ha venido encima como una bomba, pienso que es una cosa circunstancial y que, de alguna manera, no puede prolongarse mucho tiempo.

P. ¿Ha hablado con sus colegas de allí?

R. Pues cada vez tengo menos contactos allí, porque casi todos los colegas con los que coincidí deben estar ya jubilados o casi. Pero creo que ciertamente lo están pasando mal. Es una situación compleja, pero como digo, las universidades estadounidenses son muy fuertes y sitios como el MIT tienen que levantarse en contra de esta situación, porque esto no puede aguantar mucho tiempo.

noticias

NOTICIAS

Elecciones 2025 y toma de posesión de la Junta de Gobierno de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid

El día 20 de marzo de 2025 tuvo lugar la toma de posesión de la nueva Junta de Gobierno de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid quedando constituida de la siguiente manera (todos electos salvo los indicados):

Presidente

Íñigo Pérez-Baroja Verde

Vicepresidente 1º

Donato Herrera Muñoz

Vicepresidente 2º

Valentín González García

Secretaria

Rosario García Jiménez

Tesorera

María Dueñas Pérez

Vicesecretario

Ángel Prieto Maeso

Vicetesorera

Ana María Bahamonde Santos

Vocales

María del Mar Alarcón Hernández

Lourdes Campanero Campanero

María del Carmen Clemente Jul (electo y nato)

Ricardo López Martínez

David Vicente Zurdo

Emilio Gómez Castro

Antonio Gutiérrez Maroto (electo y nato)

Esther Lindoso García

Baldomero Javier Perdigón Melón

Mario Francisco Redondo Ciércoles

Manuel Serrano Serrano

Luis Martín Carrera de Figueras (nato)

Juan Díez Martín (nato)

Sara Fernández Martín (nato)

Esther Gómez Mejía (nato)

Beatriz Lorenzo Rodríguez (nato)

Daniel Martín Fernández (nato)

David Cáceres Monllor (nato)

M^a del Carmen Sánchez Hipólito (nato)

También se renovaron los siguientes asambleístas de la ANQUE:

María del Mar Alarcón Hernández

María del Carmen Clemente Jul

Ángel Prieto Maeso

Emilio Gómez Castro

Valentín González García

Antonio Gutiérrez Maroto

Donato Herrera Muñoz (nato)

Carlos Negro Álvarez

Íñigo Pérez-Baroja Verde (nato)

Mario Francisco Redondo Ciércoles

Premios Suschem a jóvenes investigadores químicos 2024 y convocatoria 2025

La Plataforma Tecnológica y de Innovación de Química Sostenible SusChem España entregó el pasado 11 de julio sus Premios SusChem a Jóvenes Investigadores Químicos 2024, en su 16ª edición. En la categoría Futura fue premiada Lourdes Patricia Sanmiguel, graduada en Química por la Universidad de Santiago de Compostela. En la categoría Investiga, se otorgó ex aequo, a Jordi Soler, doctor en Química por la Universidad de Girona, y Jon Ander Onrubia, doctor en Ingeniería Química por la Universidad del País Vasco. Y en la categoría Innova, el galardón fue para Ester López Fernández, doctora en Ingeniería Química y Ambiental por la Universidad de Castilla-La Mancha.

Además, SusChem-España, ha convocado la XVII Edición de sus Premios cuyo objetivo es reconocer e impulsar la actividad científica y divulgativa de los jóvenes investigadores que desarrollan su labor en las diferentes áreas de la química y disciplinas afines.

Día de la mujer y la niña en la ciencia

El Ilustre Colegio Oficial y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid apoyó la celebración del Día Internacional de la Mujer y la Niña en la Ciencia, el pasado 11 de febrero, con dos conferencias impartidas por dos estudiantes de la Asociación, Sandra Rodríguez y Paloma de Oro, en el IES Churruiguera de Leganés y en el Colegio Azorín de Madrid, respectivamente, compartiendo sus experiencias y su pasión por la química. Paloma de Oro, además, realizó la ilustración que publicamos en nuestras redes sociales.

Antonio Gutiérrez Maroto, medalla de oro de la ANQUE

La Asociación Nacional de Químicos e Ingenieros Químicos de España (ANQUE), otorgó su Medalla de Oro de 2024, a Antonio Gutiérrez Maroto. Doctor en Geoquímica, destaca su trayectoria en la enseñanza y la difusión de la química en general y la geoquímica en particular, resaltando sus numerosos artículos y comunicaciones en congresos nacionales e internacionales.



En 1984 entró a formar parte de nuestras Instituciones y

a lo largo de estos años ha desempeñado los cargos de vocal, secretario y vicesecretario en la Junta Directiva del Colegio y secretario y presidente de la Sección Técnica de Geoquímica de la Asociación. En la actualidad es asambleísta electo y nato de ANQUE.

Entre sus reconocimientos figuran el de Colegiado Distinguido del Colegio de Químicos de Madrid, en 1992, y la Insignia de Oro y Brillante de la Asociación de Químicos de Madrid, en 1996.

Jornada con los cuerpos de bomberos

El pasado día 11 de diciembre 2024, el vicedecano del Colegio, Donato Herrera Muñoz, y el vocal de la Asociación Javier Domínguez Cuenca, participaron en las Jornadas Técnicas de Intervención de Bomberos Especialistas en la Escuela Nacional de Protección Civil, donde acudieron bomberos de toda España.

En estos encuentros participan expertos en riesgos tecnológicos, procedentes de distintos cuerpos y servicios de intervención. Constituyen una valiosa contribución, ya que permiten compartir, poner en común y divulgar la información relativa a la actuación en los incidentes y accidentes en los que estén presentes los riesgos tecnológicos. Para el Colegio y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid fue una oportunidad para estrechar lazos con los cuerpos de bomberos de toda España.

Conferencias

El Colegio y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid celebraron las siguientes conferencias:

Centrales nucleares

■ 4 de noviembre de 2024

Organizada por la Sección de Jubilados

Ponente:

Luis Felipe Alburquerque

Presentador: Juan Díez Martín

Las dos caras de la química

■ 13 de noviembre de 2024

Organizada por la Junta Directiva del Colegio de Químicos

Ponente:

Daniel Torregrosa

Actualización normativa cosmética 2023-24

■ 14 de noviembre de 2024

Organizada por la Sociedad Española de Químicos Cosméticos - SEQC

Ponente:

Leticia Iñigo Ibáñez. Manager del Departamento de Toxicología Mixer & Pack, S.L.

Inteligencia Artificial

■ 11 de febrero de 2025

Organizada por la Sección de Jubilados de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid.

Ponente:

María Isabel Gómez del Río

Presentador:

Juan Díez Martín

¿Somos todos mozarabes? El Toledo Invisible

■ 27 de marzo de 2025

Organizada por la Sección de Jubilados de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid.

Ponente:

Jesús de Andrés Artero

Presentadora:

Matilde Fernández Ibáñez

Visión de la creación en las tres religiones monoteístas

■ 10 de junio

Organizada por la Sección de Jubilados de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid

Ponente:

Juan Díez Martín

Presentador: Jesús de Andrés Artero.

Celebradas en otras sedes

Conferencia la Leyenda de Santiago y los caminos de la Mancha

■ 15 de noviembre de 2024

Organizada por nuestros compañeros de La Asociación Regional de Químicos y Profesionales de la Industria de Castilla-La Mancha, ARQUICMA, y celebrada en el Museo Cristina García Rodero, en Puertollano.

Ponentes:

Enrique Lillo Alarcón, Comendador de la Orden en Castilla la Mancha.

El Colegio de Químicos ingresa en la Confederación Empresarial de Madrid

El pasado mes de julio de 2024 el Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Madrid se incorporó a la Confederación Empresarial de Madrid (CEIM), lobby empresarial de referencia de la Comunidad de Madrid, que lleva más de 45 años representando y defendiendo los intereses de sus miembros. Su voz colectiva amplifica los mensajes que importan a todo el tejido empresarial, creando un entorno socioeconómico favorable para la actividad empresarial.

CEIM tiene representación en más de cien organismos e instituciones, lo que le otorga la capacidad y legitimidad para influir en desarrollos legislativos, normativos y políticas de actuación, tanto sectoriales como territoriales, implementadas por diversas administraciones. La incorporación de nuestro Colegio le permitirá defender las necesidades del sector en dichos organismos e instituciones.

Intervenciones en centros de enseñanza

Siguiendo con el objetivo de divulgar, extender y fomentar la profesión química en todos los niveles educativos de la enseñanza el Colegio ha impartido conferencias y talleres de experimentos

a estudiantes de 3º y 4º de ESO y 1º y 2º de bachillerato en los siguientes centros:

■ Colegio Escuela Infantil Conde de Elda
Ponente: José Manuel González Estévez
Abril 2025

■ Colegio de Huérfanos de la Armada
Ponente: Esther Gómez Mejía
11-3-2025

■ Colegio Beata Filipina
Ponentes: Donato Herrera Muñoz y Raquel Herrera Reyes
28-03-2025

■ IES Europa de Móstoles
Ponente: Íñigo Pérez-Baroja Verde
13-03-2025

■ IES Dámaso Alonso
Ponente: José Manuel González Estévez
10-04-2025

■ IES Cortes de Cádiz
Ponente: Donato Herrera Muñoz
23 y 24-04-2025

■ Colegio Beata Filipina
Ponentes: Esther Gómez Mejía, Sandra Rodríguez Blázquez y Cristina García Belchí
10-04-2025

■ Instituto Cardenal Cisneros
Ponente: José Manuel González Estévez
Mayo de 2025.

Certamen de Proyectos Educativos de Química de la UCM

La Facultad de Ciencias Químicas de la UCM celebró el 30 de mayo la terce-

ra edición del Certamen de Proyectos Educativos de Química, en la que los finalistas del concurso presentaron sus proyectos. Participaron ocho centros de la Comunidad de Madrid, en las categorías de 4º de ESO y 1º de Bachillerato. El acto, presidido por la decana María Teresa Villalba, combinó presentaciones orales y pósteres científicos. La sostenibilidad fue el hilo conductor de los proyectos presentados. Destacaron iniciativas como la elaboración de bioplásticos por parte del IES San Cristóbal de los Ángeles, la purificación de agua mediante ferrofluidos del Colegio GSD Las Suertes y el uso de fotocatalizadores híbridos del Colegio Gondomar, capaces de degradar contaminantes atmosféricos. Además, se presentaron trabajos sobre cuántica, fluorescencia y control de aditivos en bebidas.

Un comité evaluador eligió, entre los cuatro finalistas de cada categoría, el proyecto ganador y el mejor póster. En representación de nuestras instituciones, integró dicho comité Emilio Gómez Castro, vocal de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid. El certamen está avalado por el Colegio de Químicos de Madrid y entidades como Anaya, RSEQ, RSEF, SEBBM, Feique y el Foro Química y Sociedad.

Juana Bellanato, Premio a la Excelencia Química del Consejo General

Nuestra compañera Juana Bellanato Fontecha, ha sido reconocida con el Premio a la Excelencia Química 2024 por su destacada trayectoria científica y su compromiso



con la investigación en espectroscopía infrarroja y Raman-Láser. La ceremonia de entrega, organizada por el Consejo General de Colegios Oficiales de Químicos de España, tuvo lugar en el centro Metrodora FP-Cámara de Comercio de Madrid el día 30 de mayo y reunió a relevantes figuras del ámbito académico, institucional y empresarial de la química.

Juana Bellanato, nacida en Madrid en 1925 y doctora en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid, fue una de las primeras mujeres en incorporarse al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC). Su carrera científica ha estado marcada por el rigor y la excelencia, con más de 175 publicaciones científicas que han dejado huella en campos tan diversos como la medicina, la farmacia y la industria. Además, presidió el Comité Español de Espectroscopía y lideró la Unidad de Espectroscopía Molecular del Instituto de Óptica.

También se entregó el Premio a la Igualdad en la Profesión Química 2024 a María Esperanza Morillo León, por su compromiso con la igualdad de género y su amplia trayectoria en la industria química. Licenciada en Química por la Universidad de Sevilla, ha desempeñado cargos técnicos y directivos en Freeport-McMoRan (EE.UU.), CEPSA Química y Atlantic Copper, donde actualmente forma parte del Comité de Dirección, y ha sido pionera en abrir camino para las mujeres en un sector tradicionalmente masculinizado.

En la apertura del acto, Ricardo Díaz Martín, decano-presidente del Consejo General, afirmó que “estos premios reflejan algo más que dos brillantísimas trayectorias profesionales: son una afirmación del papel esencial de la química en nuestra sociedad”. El

decano del Colegio de Químicos de Madrid, Íñigo Pérez-Baroja Verde, destacó su trayectoria como “ejemplo de excelencia científica, compromiso ético y vocación humanística”. La consejera de Economía y Empleo de la Comunidad de Madrid, Rocío Albert López, destacó la relevancia de la labor del Consejo General para dar visibilidad a una profesión fundamental para la sociedad; y Eva Ortega Paíno, secretaria general de Investigación del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades, subrayó la importancia de la igualdad como piedra angular para el progreso de la ciencia y la innovación.

Foro de empleo de la Universidad Complutense de Madrid

Los días 11, 12 y 13 de marzo de este año se celebró el Foro de Empleo de la Universidad Complutense de Madrid en los campus de Moncloa y de Somosaguas de dicha universidad. Al evento asistió, en representación del Colegio Oficial de Químicos de Madrid y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid, su decano-presidente, Íñigo Pérez Baroja Verde, quien destacó la importancia de estar cerca de los futuros profesionales.

Durante el evento, el Colegio y la Asociación instalaron un punto de información para orientar a estudiantes de química e ingeniería química sobre salidas profesionales, colegiación y oportunidades de desarrollo.

Esta acción se enmarca dentro del firme compromiso del Colegio y la Asociación en apoyo a las nuevas generaciones de químicos, uno de los pilares de su labor institucional. La participación en este tipo de foros refuerza la conexión con el ámbito universitario y promueve una visión cercana y accesible de la profesión.

Concurso Química con Excelencia

El 9 de mayo de 2025 se celebró en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid la primera edición del Concurso de Química con Excelencia, dirigido a estudiantes de 3º y 4º de ESO con interés por la química y la investigación. La jornada reunió a jóvenes de distintos centros educativos de la Comunidad de Madrid, que pusieron a prueba sus conocimientos, resolviendo pruebas teóricas y experimentales con brillantez.

El concurso fue organizado por la Sección Técnica de Enseñanza de la Asociación y contó con la colaboración de la Consejería de Educación, Ciencia y Universidades de la Comunidad de Madrid y de la Junta Municipal del Distrito de Salamanca del Ayuntamiento de la capital.

En la categoría de 3º de ESO obtuvo el primer premio Natalia Martínez Paredes, del Colegio Joyfe, y el segundo Jun Jie Ke, del Colegio Villa de Griñón. Y en la categoría de 4º de ESO, el primer premio fue para Esteban Jiménez Fiaño, del Colegio Villa de Griñón, y el segundo para Saray Sequeiros Justiniano, del IES María de Molina. En ambas categorías se concedieron también un accésit y dos menciones



La Entrega de premios tuvo lugar el día 6 de junio en el Salón de Actos del Centro Cultural Emilia Pardo Bazán. Durante el acto, la jovencísima Silvana Ebrero Paniagua impartió la conferencia La química es la culpable. El Colegio agradece su implicación a los participantes y prepara la segunda edición.

Presencia en la asamblea general de Feique

El pasado 24 de octubre tuvo lugar la asamblea general de la Federación Empresarial de la Industria Química Española (Feique). A ella acudió nuestro decano-presidente, Íñigo Pérez-Baroja Verde, en representación del Ilustre Colegio Oficial de Químicos de Madrid y de la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid.



Salud y tecnología a su lado: Telemedicina en Nueva Mutua Sanitaria

En Nueva Mutua Sanitaria entendemos que la salud va mucho más allá de una consulta médica. Por eso apostamos por la telemedicina como una forma de estar más cerca de usted, esté donde esté, cuando más lo necesite.

Gracias a la tecnología, hoy es posible acceder a una atención médica ágil, cercana y segura, sin esperas ni desplazamientos. Nuestra medicina digital pone en el centro su bienestar, ofreciéndole soluciones reales y humanas para el día a día.

Nuestros servicios de telemedicina están pensados para acompañarle en todo momento, facilitándole el acceso a la salud con confianza y tranquilidad mediante varias opciones:

■ **Videoconsulta:** Consulte con especialistas en medicina general, pediatría, dermatología, ginecología y muchas otras áreas desde cualquier lugar, de forma cómoda y sin esperas.



■ **Chat Médico:** ¿Tiene una duda rápida? Hable al instante con profesionales sanitarios desde su móvil y reciba orientación de forma inmediata.

■ **Consulta Telefónica:** Si lo prefiere, un médico le llamará directamente para resolver sus inquietudes sin necesidad de desplazarse.

■ **Apoyo Psicológico Online:** Porque el bienestar emocional también importa, acceda a orientación profesional de manera confidencial y accesible.

■ **Receta Electrónica:** Reciba su receta médica directamente en el móvil y retírela en cualquier farmacia.

Su bienestar, nuestra razón de ser.

La telemedicina se ha convertido en un gran aliado, especialmente en épocas como las vacaciones, donde contar con atención médica rápida y eficaz marca la diferencia. Por ello, en Nueva Mutua Sanitaria unimos salud y tecnología para estar más cerca de usted. Es nuestro compromiso con su bienestar en la era digital.

<https://nuevamutuasantaria.es/servicios-telemedicina/>

SALUDPROFESIONAL



Colegio Oficial
de Químicos
de Madrid



Asociación de
Químicos e
Ingenieros Químicos
de Madrid

EL SEGURO DE SALUD PARA COLEGIOS PROFESIONALES

NUEVAMUTUASANITARIA

ASISTENCIA SANITARIA
SIN COPAGOS

desde
44 €/mes

REEMBOLSO 150.0000

desde
72 €/mes

PARA FAMILIAS JÓVENES

Asegure la salud de
su familia con una
prima exclusiva



Gestión de citas

APP y telemedicina

Gestor personal para el Colegio

40.000 especialistas en cuadro médico



☎ 91 290 90 90 | 696 809 806 | borjagonzalez@nuevamutuasantaria.es

*Consultar condiciones de contratación en <https://nuevamutuasantaria.es/condiciones-contratacion-colegios>

Festividad de San Alberto 2024

En noviembre de 2024 se celebró, como cada año, la festividad de San Alberto, patrón de los químicos. Entre los actos organizados destacan:

■ El 9 de noviembre se celebró la habitual comida de confraternidad, en la que se entregaron las siguientes distinciones: Por parte del Colegio fue nombrada Colegiada Distinguida nuestra compañera Sara Fernández Martín, en reconocimiento a sus méritos profesionales y a la labor realizada en favor de la Institución. También se nombró Colegiado Honorario a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid, galardón que recogió la decana, María Teresa Villalba Díaz.

Por su parte, la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid otorgó su máximo galardón, la Insignia de Oro y Brillante, a Javier Domínguez Cuenca, por sus méritos profesionales y por la entrega y dedicación en favor de la Institución a lo largo de los años. También se concedió el nombramiento de Miembro de Honor al Colegio San Miguel Arcángel, de los Salesianos, del Paseo de Extremadura, en agradecimiento al apoyo incondicional a nuestras Instituciones para las celebraciones de San Alberto durante más de 20 años. Lo recogió el padre Luis Alberto Guijarro, en nombre del director de dicho centro.

■ El 13 de noviembre se celebró la conferencia *Las dos caras de la química*, impartida por Daniel Torregrosa y organi-

zada por la Junta Directiva del Colegio de Químicos.

■ El 14 de noviembre tuvo lugar la conferencia *Actualización de la Normativa Cosmética 2023-24*, impartida por Leticia Iñigo Ibáñez, manager del Departamento de Toxicología Mixer & Pack, S.L. y organizada por cortesía de nuestros compañeros de la Sociedad Española de Químicos Cosméticos.

■ El 15 de noviembre tuvo lugar conferencia *La leyenda de Santiago y los caminos de La Mancha*, organizada por la delegación de Puertollano/ARQUICMA, e impartida por Enrique Lillo Alarcón, comendador de la Orden en Castilla la Mancha.

■ Continuando con la tradición, en Honor a nuestro Santo Patrón, el día 16 de noviembre tuvo lugar la eucaristía por nuestros compañeros fallecidos, celebrada en la Parroquia San Juan Bosco, Colegio Salesiano, seguida de un aperitivo en los salones de la mencionada parroquia.

San Alberto 2025. Como en años anteriores anunciamos desde estas líneas de Enlace 49 que se está trabajando ya en la organización de la celebración de San Alberto 2025, que tendrá lugar en el mes de noviembre y de la que informaremos extensamente en nuestro próximo número.



Fotografías:

1. Sara Fernández e Iñigo Pérez-Baroja.
2. Iñigo Pérez-Baroja, Javier Domínguez y Donato Herrera.
3. Carlos Negro, María Teresa Villalba Díaz e Iñigo Pérez-Baroja.
4. Iñigo Pérez-Baroja, L. Alberto Guijarro y Antonio Gutiérrez

XIV Congreso Ibérico de Geoquímica

El Colegio Oficial de Químicos de Madrid, como parte del Comité Organizador, anuncia la convocatoria del XIV Congreso Ibérico de Geoquímica, que tendrá lugar del 8 al 12 de septiembre de 2025 en la isla de Sao Miguel (Azores, Portugal) e invita a participar a todos los interesados, bajo el lema "Geoquímica nuevos desafíos, nuevas soluciones".

Los elementos químicos viajan y se combinan; es decir, migran por la corteza terrestre. La geoquímica moderna estudia las leyes que rigen estos las combinaciones de los elementos y de los minerales verificados a diferentes variables y en las diferentes zonas de la corteza terrestre. Su desafío actual es

la búsqueda y localización de minerales estratégicos.

Homenaje a Isabel Mijares

El pasado 28 de febrero se celebró en el Real Casino de Madrid un acto de homenaje a Isabel Mijares García Pelayo, Medalla de Oro y Colegiada Distinguida de nuestras instituciones, al cumplirse un año de su fallecimiento. Fue orga-



nizado por el Colegio de Químicos y la Asociación de Químicos e Ingenieros Químicos de Madrid y coordinado por nuestro decano, Iñigo Pérez-Baroja Verde. Queremos agradecer su asistencia a los familiares de Isabel, a todos los colegiados y asociados que decidieron acercarse al acto y especialmente a las personalidades que acudieron al evento como representantes de instituciones, como Anque, el Foro Química y Sociedad y la Real Sociedad de Químicos de España. También agradecemos su colaboración a los socios del Casino de Madrid, a los miembros de la Asociación de Periodistas y Escritores del Vino, a Mujeres AVENIR y a todos los amigos de Isabel que no quisieron perderse la cita para honrar la memoria de una mujer que ha marcado el devenir científico y enológico en España.

iones

Textos: **Juán Quinto**



Los mares verdes. Foto Taro Matsuo

Cuando los mares eran verdes

Siempre imaginamos las aguas marinas de color azul, pero, según una investigación llevada a cabo por científicos de la Universidad de Nagoya, en Japón, hubo un tiempo en que los océanos eran de color verde. Todo empezó hace 3.500 millones de años, cuando aparecieron en la Tierra las cianobacterias, los primeros organismos fotosintéticos, que provocaron lo que se conoce como la Gran Contaminación de Oxígeno. Al descomponer el agua y el CO_2 , igual que hacen las plantas actualmente, emitían grandes cantidades de oxígeno, que se fue acumulando en la atmósfera y provocó la oxidación de los compuestos de hierro que estaban disueltos en el agua marina. Dado que el óxido de hierro no es soluble se formaron partículas que modificaron la refracción de la luz en el agua. Estas partículas, además, absorbían preferentemente la luz roja y azul lo que provocó que el color dominante del océano fuera el verde. Taro Matsuo, responsable del trabajo, ha localizado, además, zonas que actualmente son ri-

cas en óxido de hierro, como la isla Iwo, en el archipiélago japonés de Satsunan, y que muestran claramente dicho color verdoso. El estudio ha sido publicado en la revista *Nature Ecology & Evolution*.

Bacterias para eliminar fármacos del agua

Las aguas residuales, incluso las tratadas en las depuradoras, llevan disueltos restos de todo tipo de fármacos, incluidos antibióticos, analgésicos y antidepresivos, excretados por las personas que ingieren estos medicamentos. Este tipo de contaminación es un problema porque son sustancias difíciles de eliminar y su acumulación en las aguas fluviales no deja de crecer. Para atajar el problema, científicos de la Universidad Pablo de Olavide de Madrid están

investigando la utilización de bacterias capaces de eliminar estas sustancias, aprovechando la capacidad que tienen estos microorganismos para adaptarse a condiciones naturales extremas. Para ello, *entrenan* a las bacterias cultivándolas en ambientes acuáticos que contienen altas cantidades de un fármaco concreto como única fuente de carbono y energía. Esta situación provoca la muerte de muchas de ellas, pero también la adaptación de algunas, que desarrollan la capacidad de metabolizar la sustancia y que son seleccionadas para formar comunidades amplias y resistentes al fármaco. Según han comprobado, a lo largo del tiempo en que evolucionan, que pueden ser semanas e incluso meses, se producen modificaciones genéticas y el intercambio de genes entre los microorganismos, optimizando su capacidad para metabolizar y eliminar las sustancias contaminantes en las que se especializan. La idea es incorporar estas comunidades bacterianas en biofiltros que se utilicen en las depuradoras.



EFEMÉRIDES HACE 100 AÑOS...

Pauli propone el principio de exclusión


Para explicar la estructura del átomo Wolfgang Pauli propuso en 1925 la existencia de un cuarto número cuántico de los electrones, identificado más tarde como el espín (propiedad física de las partículas elementales que había propuesto ese mismo año Ralph Kronig), cuyo valor podía ser $\frac{1}{2}$ o $-\frac{1}{2}$. Además, aseguró que dos electrones con ese número cuántico idéntico no podían estar en el mismo orbital de un átomo, que es lo que se conoce como principio de exclusión y que le valdría el Premio Nobel de Física de 1945. El principio de exclusión se aplica a todos los fermiones (entre los que se encuentran los quarks, que forman los protones y los neutrones) ya que tienen espín semientero, pero no a los bosones, partículas que tienen espín entero. Con el principio de exclusión se explicaba la estructura de la corteza electrónica del átomo y con ello la organización de la tabla periódica tal como la conocemos. Además, muchas propiedades mecánicas, eléctricas, magnéticas, ópticas y químicas de los sólidos son consecuencia directa del principio de exclusión de Pauli.

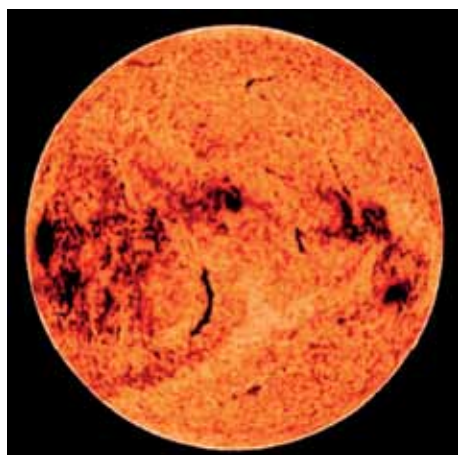


EN RED

El pronóstico del tiempo... solar

Diversas series y películas han difundido la alarma sobre el posible efecto catastrófico que una tormenta solar de grandes proporciones podría provocar en nuestra vida cotidiana, afectando a nuestros sistemas de comunicaciones, los satélites artificia-

entre etapas en que es muy elevada y otras en que es mínima. Y sus efectos se perciben con frecuencia afectando a las comunicaciones con satélite, aunque de manera discreta. Uno de sus efectos menos problemáticos, son las auroras, y cuando la actividad es máxima pueden contemplarse en latitudes muy bajas, como ocurrió en 2024 en que se pudieron ver hasta en Canarias. Numerosos centros de investigación siguen de manera permanente la evolución de esa actividad para tomar medidas protectoras cuando se acerca una tormenta solar. Y en la web [spaceweatherlive](https://www.spaceweatherlive.com/es.html) se puede seguir esta actividad y estar al tanto de la situación y de la previsión meteorológica de nuestra estrella. 



les o las redes eléctricas. No es ciencia ficción, aunque la probabilidad de que esos efectos catastróficos se produzcan es muy reducida. La actividad solar varía, siguiendo un ciclo de 11 años,



<https://www.spaceweatherlive.com/es.html>

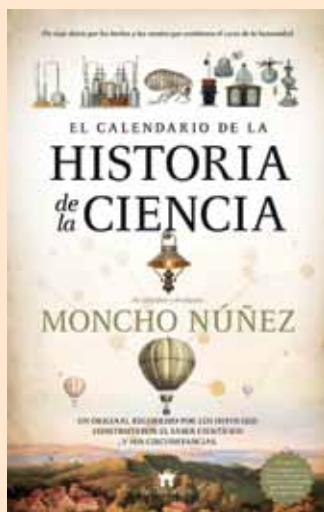
LIBRO

El calendario de la Historia de la Ciencia
Moncho Núñez

Ed. Guadalmazán
Madrid, 2024

557 páginas. 29 euros.

Este libro recoge de manera peculiar cientos de momentos clave en la historia de la ciencia y la tecnología y su impacto inmediato o diferido en la sociedad. Elude algunos de los eventos más relevantes, por sobradamente conocidos, pero introduce otros que superficialmente podrían parecer banales, como la llegada de los pimientos a Europa, procedentes de América, que, como la de otros vegetales, tuvo un impacto enorme en la alimentación. Y es que cada entrada no se limita a ilustrar los aspectos científicos, sino que se explaya con sus consecuencias económicas y sociales. El libro está articulado como un calendario, de manera que cada día de cada mes recoge, a veces de forma un tanto forzada, unos cuantos eventos (al menos tres) que se produjeron ese día en cualquier año. Es una invitación a realizar una lectura cotidiana, como en los antiguos almanaques. El autor es un reconocido divulgador científico, pionero en la introducción en España de los museos de ciencia interactivos. 



EXPOSICIÓN




Museo de Química Primo Levi

Piazzale Aldo Moro, 5.

00185 Roma (Italia)

+39 0649913167

Abierto de lunes a jueves
de 9 a 13 horas.

Entre la enorme oferta cultural de la ciudad eterna se encuentra un espacio positivo dedicado a la química, que lleva el nombre del químico y escritor Primo Levi. Situado entre las instalaciones de la Universidad Sapienza de Roma, está abierto al público desde 1992 y muestra instrumentos científicos, material didáctico, colecciones de sustancias químicas y documentos que recorren desde finales del siglo XIX hasta la actualidad, incluyendo los pertenecientes a Stanislao Cannizzaro, fundador del Real Instituto Químico, y sus alumnos. Entre los equipos presentes, por su especial importancia e interés histórico, destacan los instrumentos para el análisis elemental de moléculas: ebulloscopios, crioscopios, termómetros, colorímetros, espectroscopios, cuarenta mesas didácticas del siglo XIX de von Schröder y el equipo para el estudio de la radiactividad del agua de Gian Alberto Blanc, así como instrumentos más modernos, que constituyen una valiosa evidencia del análisis instrumental y su desarrollo. Dispone también de una zona dedicada a experimentos interactivos. El Museo organiza periódicamente seminarios sobre historia de la química, exposiciones temáticas y dispone de herramientas multimedia. 



Las huellas de los mozárabes

Se denomina mozárabe a la población hispánica que vivió en la España musulmana hasta fines del siglo XI conservando su religión y su organización eclesiástica y judicial. Se incluye la población hispánica que emigró a los reinos cristianos del norte, llevando consigo elementos culturales musulmanes y a la comunidad mozárabe toledana, que pudo por especial privilegio conservar la vieja liturgia visigótica frente a la romana. Conviene diferenciar los mozárabes de los mudéjares (musulmanes que conservaron su religión en tierras cristianas) y de los moriscos (musulmanes convertidos voluntariamente o por la fuerza a la religión católica). Se considera mozárabe el periodo que abarca desde el año 711 al 1085, cuando Alfonso VI conquistó Toledo, pero su influencia se prolonga en el tiempo y en el espacio. Su huella cultural dejó una impronta profunda y duradera. Hoy, la calidad de persona mozárabe permanece viva gracias a que se mantienen vivos los archivos de las parroquias de rito hispano-visigótico-mozárabe, en Toledo.

Texto: Jesús de Andrés Artero, licenciado en Química Industrial (UCM). Feligrés de la parroquia mozárabe de Santa Eulalia, Toledo

El arte mozárabe hoy puede admirarse en todo su esplendor en libros, arquitectura y pintura.

Libros

Entre estos destacan los beatos y el misal mozárabe de Silos, que es el primer libro escrito en papel, no en pergamino, de Europa. Utiliza escritura visigótica y es de la segunda mitad del siglo XI. Se conserva en el Monasterio de Santo Domingo de Silos (Burgos).

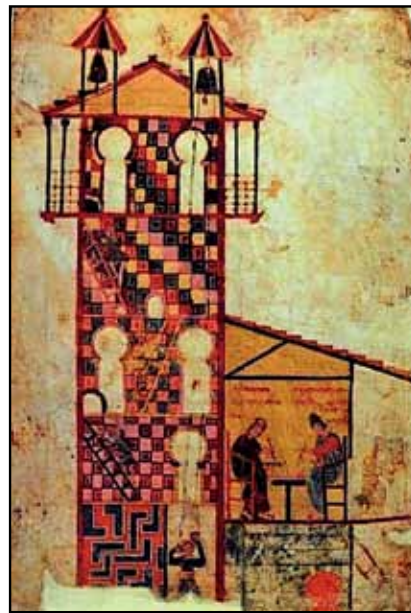
Los beatos son códices manuscritos entre los siglos VIII y XIII, con comentarios al Libro del Apocalipsis de san Juan. Realizados en *scriptorium* de arquitectura mozárabe, están iluminados con imágenes muy expresivas, que ayudan a comprender su contenido: Muestran y definen la fe católica en territorios dominados o amenazados por las doctrinas musulmanas y arrianas. El nombre procede del monje San Beato, que entre 776 y 784 escribió el primero en el monasterio de San Martín de Turieno, hoy Santo Toribio de Liébana (Cantabria). Inspirados en él, se escribieron más de veinte beatos. La UNESCO incluye once de ellos en el Registro de la Memoria del Mundo. Entre ellos se encuentran el *Beato de Tábara* y el *Beato Emilianense*.

El *Beato de Tábara*, perteneciente al monasterio de Tábara (Zamora) fue realizado entre 968 y 970 y se encuentra en el

Archivo Histórico Nacional. Su programa iconográfico es conocido al completo gracias al *Beato del Real Monasterio de Las Huelgas* (Burgos), copiado hacia 1220 y actualmente en la Pierpont Morgan Library de Nueva York; y por la versión del *Beato de la Hohn Rynads Library* de la Universidad de Manchester. Su miniatura excepcional de la torre del monasterio

[*alta et lapidea*], es la imagen más antigua de un *scriptorium* conocida, producida por la cultura del occidente medieval y única en todo el arte europeo. Inspiró la obra del italiano Umberto Eco el nombre de la rosa.

El *Beato Emilianense* data de la primera mitad del siglo X y es el más antiguo que se conserva. Procede de la antigua librería del Monasterio de San Millán de la Cogolla (La Rioja), está redactado en latín, con escritura



Beato de Tábara.

visigótica redonda y tiene miniaturas a color. Escrito en soporte pergamino, se conserva en la Biblioteca Nacional de España.

Arquitectura

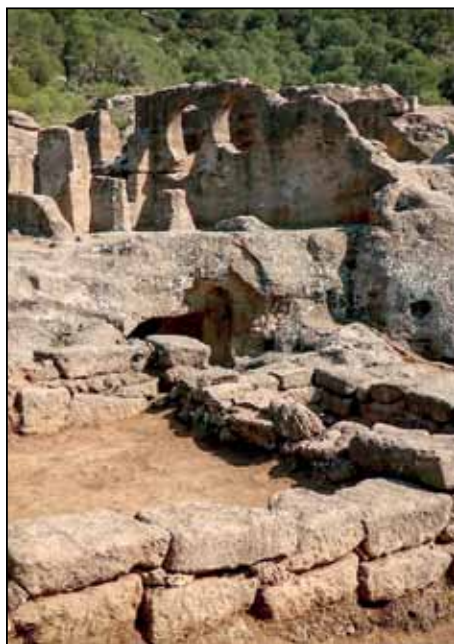
La arquitectura mozárabe es fundamentalmente religiosa. Camón Aznar distinguió entre arquitectura de la repoblación y la propiamente mozárabe de Al-Andalus. La de la mitad norte peninsular fue obra de los cristianos nacidos en ella o huidos de la dominación musulmana del sur, donde las pocas iglesias construidas fueron casi todas

destruidas. Destacan las iglesias de Bobastro y de San Baudelio de Berlanga. La iglesia de Bobastro (Málaga) fue construida en 898 por Omar Ibn Haf-sún, que se rebeló contra el Emirato y se convirtió al cristianismo. La iglesia fue arrasada a su muerte, en 917. Sus arcos y muros no son de fábrica, sino que fueron excavados en roca arenisca. Tiene tres naves con crucero y tres capillas absidales; la central de herradura y cuadradas las laterales.

La iglesia de San Baudelio de Berlanga, situada en Casillas de Berlanga (Soria), se levantó entre el siglo X y el XI. Es un laboratorio arquitectónico, con dos cubos, nave única y ábside; su bóveda cupuliforme es de lajas de piedra, con linterna, y cubre por entero la nave única (o cel-la). Se apoya sobre ocho arcos radian-tes, que arrancan de una columna central y van a parar al medio de los cua-tro muros y a los ángulos que éstos forman. Las pinturas de la zona baja se atribuyen al Maestro de San Baudelio, son las originales y están consideradas como genuinamente mozárabes. Los pigmentos utilizados fueron el ocre amarillo; el marrón pardo; el rojo, obtenido de un óxido de hierro, que mezclado con blanco daba el rosa de los vestidos; el blanco, de carbonato de calcio; el siena tostado; el verde tierra; el sulfato de calcio; el negro azulado de carbón; y el azul verdoso, hecho con azurita malaquita.

Pintura

Los colores se originan, generalmente, por transiciones electrónicas: muchos de los colorantes son de naturaleza



Restos de la iglesia de Bobastro

orgánica, aunque con frecuencia se aplican junto con productos inorgánicos. En general, el problema del color está mejor estudiado en la química orgánica que en la inorgánica. No es fácil encontrar referencias claras a pigmentos de la época mozárabe, pero sí antes y después.

San Isidoro (560-636), señala, en su *Etymología*, en referencia a los colores: “El almagre, rojo. El rubro, rojo parecido a la sangre. El minio, descubierto por los griegos en el suelo de Éfeso, abundante en Hispania. El cinabrio, dicen que es la sangre de los dragones cuando combaten. Rejalgar, de color del cinabrio y olor del azufre. Arsénico, que los latinos lo llaman *auripigmentum*, oropimente, por su color de oro. El índigo, se encuentra en las cañas, en forma de espuma mezclada con limo, es de un color azul intenso...”.

Para el albayalde, da una receta que resumidamente dice: “En un recipiente lleno de vinagre de la mayor acidez coloca sarmientos amineos dentro de la misma vasija, y encima unas delgadísimas planchas de plomo: cierra el recipiente y lácralo de forma que no tenga respiradero alguno. Al cabo de treinta días abre la vasija, y de la destilación de las planchas obtienes el albayalde natural. Una vez recogido y dejado secar, se tritura, añádasele nuevamente vinagre, se corta en pastillas y se deja secar otra vez al sol. Una observación: si encima de los sarmientos colocas láminas de cobre, éstas producen herrumbre...”.

El cardenal Lorenzana (1722-1804), en *Secreto de Pintar a fuego las vidrieras*, manuscrito en papel que posiblemente versaba sobre la restauración de las de la catedral de Toledo, parece recoger recetas heredadas. Dibuja un esquema de “el ornillo en que se han de cocer los vidrios” y añade: “Ahora vamos a tratar de el modo de azer cada color. De la pasta blanca cogerás del Río Tajo unos Guijarros mui claros. Les Moleras mui bien en vn Almirez de Yerro... De el Color que sirve para hazer Sombras generalmente... De la Sombra negra...; De la Sombra colorada para pintar carnes...; De el Color Dorado Pagizo i Encarnado...; Color Encarnado...; De el Color Azul...; De el Color Verde...; De el Color Blanco...; De



Iglesia de San Baudelio de Berlanga.

el Color Blanco Diafano...; De el Color de Violeta o Morado...; De el Color Negro...”. Habla del plomo, del estaño, de la plata, de la agua fuerte, del cobre. En el camino de la alquimia a la química, puede que San Isidoro y Lorenzana, marquen huellas mozárabes. Las técnicas modernas tienen la palabra.

BIBLIOGRAFÍA

- Burriel Martí, Fernando; Lucena Conde, Felipe; y Arribas Jimeno, Siro. *Química Analítica Cuantitativa. (Teoría y semimicrométodos)*. Paraninfo. (Madrid. 1965).
- Gadea, Sira. *Las pinturas de San Baudelio de Casillas de Berlanga, en Soria. Viajar con el Arte*. (Julio, 15, 2013).
- <https://viajarconelarte.blogspot.com/2013/07/las-pinturas-de-san-baudelio-de.html>
- Isidoro de Sevilla. *Etymologiae*. Biblioteca Nacional de España.
- <https://www.bne.es/es/obras/etymologiae>.
- Lorenzana, Franco Anto de. *Secreto de pintar a fuego las vidrieras*. Manuscrito. Biblioteca Capitular. Catedral de Toledo. (19 de julio del año 1765).
- Miall-D.W.A. Sharp. *Diccionario de Química*. Versión española: M.G. de Amezúa, R. Arche, D. Armesto, G. Calleja, R. Pérez A-Ossorio, I. Polo, C. Seoane, J.L. Soto. Ed. Alhambra S.A, Edición original: Miall'S New Dictionary of Chemistry.
- Real Academia Española. *Diccionario de la Lengua Española*.
- Sánchez Mariana, Manuel. *Los códices del monasterio de Silos*, pag 232. Conferencia pronunciada en la Institución Fernán González (Academia Burgense de Historia y Bellas Artes), (13 de marzo de 1987).
- https://riubu.ubu.es/bitstream/handle/10259.4/2069/0211-8998_n203_p219-236.pdf;jsessionid=3501D286327A563E29C710C37C316225?sequence=1
- Universidad de Navarra. *De la alquimia a la química*. Biblioteca | Campus Universitario. Pamplona. Navarra (España).
- <https://www.unav.es/biblioteca/fondoantiguo/hufaexp26/02.html> ,



29th IUPAC International Symposium on Photochemistry

12 al 15 de julio de 2025
Kuala Lumpur Convention Centre -
Kuala Lumpur (Malasia)
iupac.org/event/iupac-world-chemistry-congress-2025/

3er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Química

8 al 10 de septiembre de 2025
Lisboa, Portugal.
<https://ecce-ecab2025.eu/>

15th European Congress of Chemical Engineering (ECCE)

8 al 10 de septiembre de 2025
Lisboa, Portugal.
<https://ecce-ecab2025.eu/>

8th European Congress of Applied Biotechnology (ECAB)

8 al 10 de septiembre de 2025
Lisboa, Portugal.
<https://ecce-ecab2025.eu/>

30th International Congress for Battery Recycling ICBR 2025

10 al 12 de septiembre de 2025 Valencia.
<https://events.icm.ch/event/ICBR2025/icbr-2025>

Inchem Tokyo 2025. Chemical Plant Engineering Show - Advanced Materials Show - EcoManufacture - Biomass Conversion

17 al 19 de septiembre de 2025
Tokyo (Japón).
www.jma.or.jp/INCHEM/en

ChemEShow 2025

Feria Industria Química y de Proceso
23 al 25 de septiembre de 2025
Houston, Texas (Estados Unidos).
cheme-show.com/

PREP 2025

International Symposium on Preparative and Process Chromatography

29 de septiembre al 2 de octubre de 2025
Philadelphia (Estados Unidos).
www.prepsymposium.org/



Pollutec 2025

Salon international des équipements, des technologies et des services de l'environnement
07 al 10 de octubre de 2025
Eurexpo Lyon - Lyon (Francia)
www.pollutec.com

K International Plastics + Rubber 2025 La feria mundial de referencia para la industria del plástico y caucho

08 al 15 de octubre de 2025
Messe Düsseldorf - Düsseldorf (Alemania)
www.k-online.de

AchemAsia 2025

14/10/2025 a 16/10/2025
Shangai (China)
www.achemasia.de/en/

Iberquimia Coruña 2025

16 de octubre de 2025
A Coruña
<https://iberquimia.industriaquimica.es/iberquimia-coruna-2025>

Iberquimia Barcelona 2025

6 de noviembre de 2025
Barcelona (España)
<https://iberquimia.industriaquimica.es/iberquimia-barcelona-2025>

Electrostatics 2025

Conferencia Internacional de Electrostática.

09 al 12 de noviembre de 2025
Bolonia (Italia)
www.aidic.it/electrostatics2025/

Genera 2025. Feria Internacional de Energía y Medio Ambiente.

18/ al 20 de noviembre de 2025
IFEMA - Madrid.
www.genera.ifema.es

Encuentro Sectorial del Hidrógeno (PMH2) 2025

18 de noviembre 2025
Madrid.
<https://pmh2.com/>

Iberquimia 2025

27 de noviembre de 2025
Madrid (España)
<https://iberquimia.industriaquimica.es/iberquimia-madrid-2025>

16º Congreso Mediterráneo de Ingeniería Química (MeCCE)

2 al 4 de junio de 2026
Barcelona
<https://www.mecce.org/>



Expoquimia

2 al 5 de junio de 2026
Barcelona.
<https://www.expoquimia.com/el-salon/>

Equiplast

2 al 5 de junio de 2026
Barcelona.
<https://www.equiplast.com/en/>

Eurosurf

2 al 5 de junio de 2026
Barcelona.
<https://www.eurosurf.com/>



¡CÓMO MOLA LA QUÍMICA!

Descubre la
química a
través de
experimentos



Colegio Oficial
Químicos
de Madrid

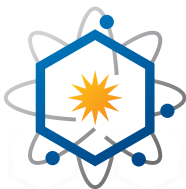


Asociación
Químicos e
Ingenieros Químicos
de Madrid

www.quimicosmadrid.org



Colegio Oficial de
Químicos
de Madrid



Asociación de
Químicos
de Madrid

Agrupan a todos los titulados universitarios superiores dedicados a la ciencia y tecnología químicas.

Consulta más información en
www.quimicosmadrid.org

Lagasca 27, 1.º E, 28001 Madrid



TE OFRECE

servicios, infraestructuras, actos sociales, etc.

SERVICIOS

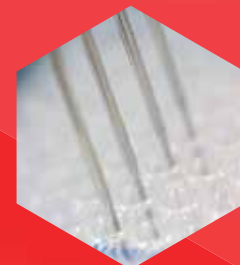
- Agencia de colocación.
- Conferencias y seminarios.
- Formación continua.
- Revista *Enlace*.
- Programa Químicos Emprendedores.
- Correo electrónico corporativo.
- Asesoría fiscal.
- Asesoría laboral.
- Elaboración de informes.
- Premios profesionales.
- Descuentos preferentes.
- Hermandad de Químicos (Grupo hna).
- Visados.
- Compulsado y certificados.
- Certificaciones.
- Secciones técnicas.
- Ventajas fiscales.
- Apoyo y representación social.
- Representación en Anque y Consejo General.

INFRAESTRUCTURAS

- Domicilio social.
- Sala de reuniones.
- Sala de conferencias.

ACTOS SOCIALES Y COMUNICACIÓN

- Acto anual de san Alberto.
- Premios, menciones especiales.



ES

el colectivo que profesionalmente mejor

- Te **apoya** y **promociona**.
- Te **facilita** los contactos y medios requeridos.
- **Respet**a tu libertad profesional (*).
- Te **ofrece** servicios adecuados para el ejercicio profesional.
- **Defiende** tus derechos.
- Te **ayuda** a tu integración profesional.
- Cuota deducible en la declaración de la renta.

(*). Aunque la colegiación es una exigencia legal obligatoria para ejercer la profesión (Art. 3.2, de la Ley 2/1974, de 13 de febrero, de Colegios Profesionales) en todos los campos de actividad (enseñanza, industria, autónomos, etc.).



TE APORTA

de los profesionales en la química como tú

- Su **confianza** y solidaria responsabilidad.
- **Potenciar** las relaciones interprofesionales en todos los campos.
- **Contribuir** a la mejora de la percepción social de la Química.