

100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país, Carmen Mijangos

Fotointerruptores moleculares basados en dobles enlaces para el control de la actividad catalítica, Ruth Dorel

Aplicaciones del grafeno en sistemas de almacenamiento de energía, Iván Esteve-Adell, Mayte Gil-Agustí, Leire Zubizarreta Sáenz de Zaitegui, Alfredo Quijano-López y Marta García-Pellicer

La presencia de la Química en los billetes bancarios, Óscar Rodríguez Montoro



Anales de Química

Revista de la Real Sociedad Española de Química

Editor General

Miguel Ángel Sierra
Universidad Complutense de Madrid

Comité Editorial

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

José Manuel Costa
Universidad de Oviedo

Óscar Millet
CICbioGUNE, Derio, Bizkaia

Gabriel Pinto
Universidad Politécnica de Madrid

M.^a Carmen Redondo
Colegio Estudio, Madrid

Elena Sáez
Universidad Complutense de Madrid

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

Rolando A. Spanevello
Universidad Nacional de Rosario, Argentina

Joaquín Tamariz
Instituto Politécnico Nacional, México

Alejandro Toro-Labbé
Pontificia Universidad Católica de Chile

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

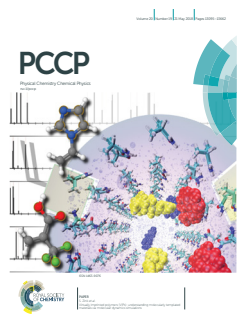
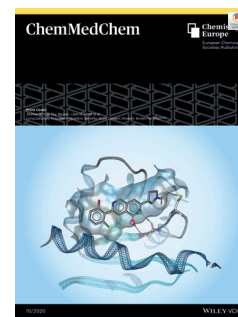
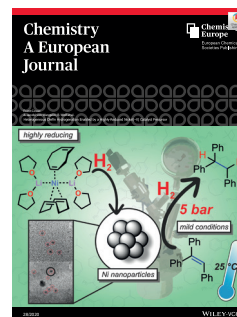
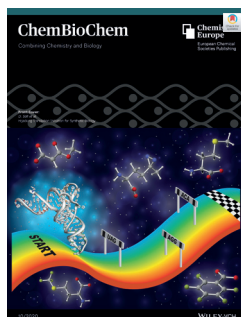
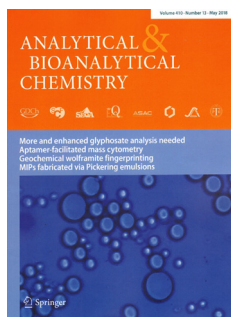
Secretaría Editorial

Patricia Yáñez-Sedeño
Real Sociedad Española de Química
www.rseq.org

Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Complutense Ciudad Universitaria.
28040 Madrid
Tel (+34) 913 944 356



Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química





Composición y producción:

Moisés Fernández
Edinova Taller Editorial

| | |
|--|-----|
| Editorial | 203 |
| <i>Miguel Ángel Sierra</i> | |
| Carta del Presidente | 205 |
| <i>Antonio M. Echavarren</i> | |
| Entrevistas | 206 |
| Ensayo | |
| Ciencia básica y ciencia aplicada | 209 |
| <i>José Elguero</i> | |
| La química vista por sus protagonistas | |
| Los orígenes del Departamento de Química Inorgánica de Zaragoza | 210 |
| <i>Juan Forniés y Antonio Laguna</i> | |
| Investigación Química | |
| 100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país. | |
| Avances en la academia y en la industria | 214 |
| <i>Carmen Mijangos</i> | |
| Fotointerruptores moleculares basados en dobles enlaces para el control de la actividad catalítica | 223 |
| <i>Ruth Dorel</i> | |
| Aplicaciones del grafeno en sistemas de almacenamiento de energía | 233 |
| <i>Iván Esteve-Adell, Mayte Gil-Agostí, Leire Zubizarreta Sáenz de Zaitegui, Alfredo Quijano-López y Marta García-Pellicer</i> | |
| Historia de la Química | |
| La presencia de la Química en los billetes bancarios | 241 |
| <i>Óscar Rodríguez Montoro</i> | |
| La Química en las Finanzas | 253 |
| <i>Óscar Rodríguez Montoro</i> | |
| EuChemS reconoce el primer Historical Landmark en España: las Minas de Almadén | 264 |
| <i>Antonio M. Rodríguez García, Enrique Díez Barra, Luis Mansilla Plaza y María Antonia Herrero Chamorro</i> | |
| Noticias | 270 |
| Obituario | |
| Chris Abell | 283 |
| Paul C. J. Kamer | 285 |
| Reseñas | |
| El alfabeto del universo. La tabla periódica de los elementos por Bernardo Herradón | 287 |
| Artículos reseñables | 289 |
| Radicales (muy) libres | |
| Burbujas | 292 |
| <i>Javier de Mendoza</i> | |
| Índice de autores | 294 |
| Normas de publicación | 296 |

Miguel Ángel Sierra

Han hecho falta muchos miles de muertos y el desmoronamiento de nuestra economía para que en España se empiece a hablar de ciencia. Esperemos que las previsiones de una inversión de tres mil ochocientos millones de euros (un incremento del 60% sobre los longevos presupuestos de Montoro), reflejada en los presupuestos que están a punto de aprobarse, se haga realidad. Este incremento en los fondos dedicados a investigación aliviará el daño que nos ha hecho los salvajes recortes en las inversiones en ciencia de los últimos diez años. Si se mantendrá o no esta inversión en el futuro, una vez que los fondos europeos de recuperación COVID-19 se acaben, es algo que tendremos que ver.

Esta colosal (desde un punto de vista de un investigador español) inversión en ciencia debe reavivar la agonizante llama de la investigación en este país. Esto ya ha pasado. Los que si tuviésemos pelo peinaríamos canas hace años, vimos como una inversión sustancial en investigación nos colocó en los *rankings* científicos mundiales, y, en el caso de la Química, nos situó en el puesto n.º 7 del mundo. Impresionante si tenemos en cuenta que, ni en los momentos más boyantes de la inversión en ciencia, superamos el 1,36% del PIB (2008-2009). En ningún momento nos acercamos al 3% de inversión media de los países desarrollados, entre los que se supone que nos encontramos. Parafraseando y modificando la frase de Churchill “nunca tan pocos hicieron tanto con tan poco”, porque, además el número de investigadores en España está muy por debajo de la media de los países con los que habitualmente nos comparan nuestros políticos.

Bienvenida sea la inversión en ciencia y que se incremente año tras año. La cuestión es si esto va a suponer algún cambio en la investigación en España. Dicho de otra forma ¿Es la inversión –el apoyo económico a infraestructuras, grupos de investigación y carreras investigadoras– la única solución a los problemas que tiene la investigación en España? La respuesta clara y contundente es NO. La inversión en ciencia es crucial para el desarrollo científico del país, pero no es la solución a un problema real que tiene la investigación española: La gobernanza de los centros de investigación públicos y de las universidades. Pocos sistemas son menos adecuados e ineficaces que el sistema de gobernanza español.

Nuestro sistema de investigación está sometido a la irracionalidad de absurdos y siempre cambiantes controles administrativos. Los investigadores trabajando en los centros públicos se ven sometidos a una dictadura férrea



de la administración que les obliga a solicitar permiso para cualquier mínimo gasto. Esto hace que nuestra competitividad a nivel internacional se vea seriamente disminuida. Por otra parte, esta burocracia enloquecida no supone ningún tipo de rendimiento de cuentas real. Lo único que se ha hecho en este sentido durante los últimos años es desviar fondos de proyectos de investigación para pagar auditorías sobre gastos del dinero que te han concedido, con la obligación por parte de las universidades y OPIs de devolver los gastos “no justificables”. Es un absurdo en sí mismo que el control de gastos lo tenga que pagar el propio investigador, pero bueno, para la administración de la ciencia española la presunción de inocencia no existe. Por cierto, ¿alguien sabe cómo se decide qué gastos son elegibles?

¿Puede mejorar la investigación pública española solo con dinero? De nuevo la respuesta es tajante: NO. En un sistema endogámico como el nuestro, en el que las universidades están controladas por sindicatos y estudiantes, que son quienes deciden qué rector va a dirigir la Universidad durante cuatro años, no existe la menor posibilidad de mover el sistema hacia la excelencia. ¿O acaso algún organismo público ha exigido alguna responsabilidad a un Rector sobre su política investigadora o de contratación? La todopoderosa Autonomía Universitaria nos protege a todos de inquisiciones malintencionadas. Lo mismo vale para otros OPIs que por prudencia no voy a mencionar.

En estos meses se ha puesto también de moda la frase “hay que recuperar a los científicos que están en el extranjero”. Yo cuando oigo esto y miro a mi alrededor me parto de risa. ¿Qué le vamos a ofrecer a un investi-

gador? Un sueldo muy por debajo de la mitad de lo que recibe fuera. Un puesto temporal y precario. Pegarse con los investigadores “de la casa” por un trozo de mesa de laboratorio, perder una mañana para comprarse una impresora o una placa de agitación, no poder contratar con tus fondos de investigación a quien tú quieras, sin que te den el visto bueno las comisiones de contratación y de personal y –el diablo nos libre– la bolsa de trabajo de la institución... Parece lógico que, si alguno de nuestros investigadores vuelve a este país, lo haga a los centros que se han salido del sistema de gobernanza estatal, y que están demostrando un día tras otro qué es lo que falla en el sistema público de investigación en este país, aparte de la escasez de fondos. La química española ha conseguido 6 ERC-Sinergy de los 34 que ha otorgado Europa en la última convocatoria. No está nada mal. Sin embargo, no deja de llamar la atención que todos los galardonados, excepto uno, trabajan en entidades asociadas a la Universidad o Centros de Investigación (ICREA, IKERBASQUE, CIQUS, IMDEA, etc.).

Y además están los científicos del exilio interior. ¿Cómo puede una universidad tener a investigadores que van por su segunda ERC como profesores contratados doctores, cuando tienen grupos de investigación y calidad investigadora a nivel de catedrático? De nuevo la gobernanza. Hay una lista de prelación pactada con los sindicatos que hay que respetar y, oye, no se os olvide que, si éste tiene mejor currículum que yo no es que sea más listo, es que ha tenido más suerte.

Espero que la inyección de dinero venga acompañada de una inyección de razón. Si queremos que la ciencia española avance, lo primero que tenemos que hacer es pedir que cambien los sistemas de gobernanza del sistema científico público. Tenemos en donde fijarnos. Los centros mencionados arriba son, no sé como calificarlos, “diferentes”, “mejor gestionados”, “con evaluaciones periódicas severas de sus investigadores”, “capacidad de contratar a

quienes los comités científicos de los centros consideren oportuno”. Los resultados están a la vista.

Mucho me temo que no va a ser así. Un catedrático ya jubilado tenía en su despacho un cartel enmarcado que rezaba “si me dieran los medios adecuados podría demostrar mi total incompetencia”. La inteligencia y la capacidad investigadora requieren de un ambiente que las cuide y las mime. Un investigador necesita dinero (cuanto más mejor) pero, por encima de todo, necesita un ambiente en el que se le reconozca por sus méritos, se le promueva en función de estos y no se le obligue a perder una parte importante de su tiempo en un papeleo absurdo y estéril. Justo todo lo que no tenemos en el sistema de investigación público. Si no cambia el sistema de gobernanza seguiremos en un infierno burocrático y endogámico, con chorreras de oro en las calderas, pero, al fin y al cabo, un infierno.

Por último, no nos olvidemos que la apuesta del Gobierno para cambiar la economía del país se centra en el desarrollo de empresas tecnológicas y en la descarbonización del modelo energético. Este tema da para varios ensayos y editoriales. Lo dejo en una pregunta: si este modelo requiere de una estructura de investigación científica potente y, en paralelo una industria con un sistema de investigación bien establecido, ¿cómo lo van a hacer? Me temo que, como otras veces, compraremos las células solares a los chinos, las baterías para los coches eléctricos a los coreanos y los chips de ordenador a quien nos los deje más baratos. Eso sí, el ensamblaje se hará –con suerte– en España.

Gracias por leer.

MIGUEL Á. SIERRA
Editor General de *Anales de Química*

Antonio M. Echavarren

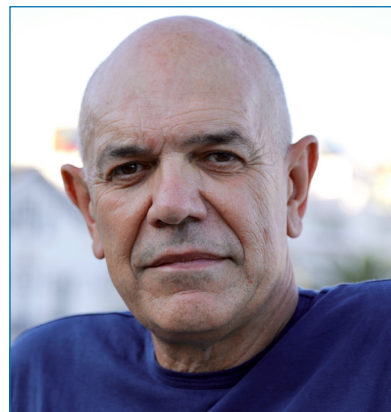
Estimados Socios:

Terminamos 2020, que para casi todos ha sido el año más difícil en lo personal y profesional de nuestra historia reciente. Además de las pérdidas humanas, entre las que se encuentran algunos compañeros nuestros, la pandemia del coronavirus SARS-CoV-2 ha supuesto en la economía nacional un golpe enorme, del que nos costará algún tiempo recuperarnos.

Las universidades y otros centros han permanecido cerrados, mientras que los profesores han realizado un esfuerzo extraordinario para mantener la actividad docente de forma online, dentro de lo posible. Naturalmente, la investigación en química se ha resentido, lo que, por encima de indicadores tales como el número de publicaciones e índices de impacto, han sufrido especialmente nuestros estudiantes de máster, doctorado e investigadores postdoctorales, viendo, primero interrumpido y luego dificultado, el progreso en sus carreras. Además de la incertidumbre causada, la práctica desaparición de la movilidad internacional junto a la reducción del intercambio científico, como consecuencia de la cancelación de simposios y otras reuniones científicas nacionales e internacionales, puede que suponga un motivo de desánimo a la hora de que nuestros jóvenes se planteen continuar con la carrera docente e investigadora. Sin embargo, a los jóvenes que lean están líneas recordarles que, por encima de coyunturas y oportunismos diversos, los retos a los que nos enfrentamos bien formados y que la frontera del conocimiento en química es, más que nunca, apasionante.

La cancelación de simposios y otras reuniones naturalmente nos ha afectado como sociedad científica. Aunque hemos seguido realizando de forma telemática las Juntas de Gobierno, la entrega de Premios, el acto de reconocimiento a los nuevos Fellows de Chemistry Europe e, incluso, la Olimpiada Nacional, casi todas las reuniones de los Grupos de la RSEQ se han cancelado. Para paliar en parte esta falta de comunicación científica hemos lanzado recientemente la iniciativa de las Conferencias RSEQ, en la que han participado investigadores de primera línea como Peter Schreiner, Avelino Corma, Jesús Jiménez Barbero y Luis Liz-Marzán, y que han contado con audiencias de más de 500 asistentes de varios países. Esto ha sido posible gracias a una renovada secretaría técnica desde la que esperamos seguir prestando el mejor servicio a nuestros miembros.

La Sociedad Española de Física y Química contaba con 263 socios en su primer año de vida en 1903 y entonces, como ahora, las cuotas eran el sostén económico de la



Sociedad. Afortunadamente, en 1911 el Ministerio de Instrucción Pública asignó a la Sociedad una dotación anual de 3.000 pesetas, que en 1935 llegó a ser de 13.252 por parte de Instrucción Pública y 9.500 del Ministerio de Estado, alcanzado la Sociedad los 1.400 socios. Desafortunadamente, tras más de 100 años de historia, la situación actual es muy distinta y, a fecha de hoy, ni la RSEQ, ni sus “sociedades hermanas”, las Reales Sociedades de Matemáticas y de Física, cuentan con apoyo alguno del Ministerio de Ciencia e Innovación, lo que contrasta con la financiación otorgada por ese ministerio a Academias y asociaciones de muy diversa índole. Tan solo hemos conseguido, tras muchas gestiones, que el Ministerio de Educación y Formación Profesional cubra parte de los gastos de la organización de las Olimpiadas Nacionales e Internacionales de Química.

A pesar de todas las dificultades, la afiliación a la RSEQ sigue aumentando y ya somos unos 4.670 miembros, 350 más que hace dos años, siendo así la sociedad científica más numerosa de España y la única en química con implantación en todo el territorio nacional. Con el esfuerzo de las Secciones Territoriales y Grupos deberíamos llegar a los 5.000 socios en uno o dos años. Aunque, como recordaba en mi carta de fin de año 2018, las cuotas reducidas han contribuido a este crecimiento, la base de nuestro crecimiento debe basarse en el rigor y visibilidad de nuestras actividades en apoyo de la química.

Quiero agradecer por todo el trabajo realizado en estos tiempos tan complicados al Equipo de Gobierno, a los miembros de la Junta de Gobierno, a las juntas de Grupos y Secciones Territoriales y a las personas de la oficina de la RSEQ. Finalmente, felices fiestas navideñas a todos, aunque resulten las más extrañas de nuestras vidas, y los mejores deseos para que a lo largo de 2021 términos como los de “nueva realidad” suenen a cosas del pasado.

ANTONIO M. ECHAVARREN
Presidente de la Real Sociedad Española de Química

Los nuevos Chemistry Europe Fellows

Ana Carmen Albéniz



Catedrática de Química Inorgánica
IU CINQUIMA (Centro de Innovación
en Química y Materiales Avanzados)
Universidad de Valladolid

 0000-0002-4134-1333

¿Recuerda su primer contacto con lo que ahora se llama Chemistry Europe o alguna de sus partes?

Conocí la existencia del consorcio casi desde el momento de su creación. Entonces yo formaba parte de la Junta de Gobierno del Grupo Especializado de Química Organometálica (GEQO) como secretaria y Pablo Espinet, presidente del GEQO, nos informó de la iniciativa. La creación de lo que ahora es Chemistry Europe me pareció muy novedosa, integradora y con una vocación europeísta indiscutible. Suponía además un acto de generosidad de las sociedades con la integración de sus revistas particulares en una serie de publicaciones conjuntas que supusieran un salto cualitativo en la visibilidad de la química del continente.

Chemistry Europe comenzó hace 25 años con la revista *Chemistry - A European Journal*, y hace diez años con su revista *Chemistry Views*. En 2019 se han publicado más de 9.000 artículos científicos. Según usted ¿qué debería aspirar a hacer en el futuro Chemistry Europe? ¿Por qué? ¿O tiene una experiencia particular con una revista de Chemistry Europe?

Chemistry Europe tienen que aspirar, a través de sus publicaciones, a convertirse en un referente mundial donde se pueda encontrar la mejor investigación en química. Es un hecho constatado que las revistas más reputadas tienen detrás sociedades químicas fuertes. Chemistry Europe tiene el aval de dieciséis sociedades químicas europeas y el potencial para ofrecer un lugar donde encontrar calidad e impacto en un abanico amplio de disciplinas.

¿Tiene alguna experiencia particular con la revista de su sociedad química? ¿Qué significa la revista para usted?

Anales de Química ha adquirido un perfil de contenidos muy necesario por ser complementario con otro tipo de publicaciones científicas. Personalmente es la revista donde encuentro noticias de la RSEQ y disfruto de artículos de opinión y divulgación de mis colegas en un rato relajado. También he usado en varias ocasiones sus contenidos en mi actividad docente. Su número especial de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos me parece excepcional.

¿Qué es lo que más le gusta de la orientación europea y de las redes de su sociedad química? ¿Qué proyectos deberían ser apoyados?

Creo que la química tiene que tener una voz fuerte ante la sociedad en general y ante los poderes políticos y

económicos. Esto es una necesidad que trasciende el ámbito nacional y sólo se consigue con unidad. Por eso, la participación de la RSEQ en entidades europeas como Euechems o Chemistry Europe me parece fundamental. Los congresos e intercambios científicos en estas redes son ya un hecho y creo que sería buena idea potenciar los proyectos más divulgativos para acercar la química a la sociedad.

¿Dónde ve las sociedades científicas nacionales en el mundo de hoy?

Las sociedades nacionales tienen un papel fundamental como referente cercano e identificable al que la sociedad general, medios de comunicación, dirigentes políticos o empresariales pueden dirigirse en cuestiones científicas. Para conseguir ser esa figura de referencia todas, también la nuestra, están haciendo un esfuerzo por diversificar sus actividades para aumentar la visibilidad del trabajo científico y concienciar a la sociedad del impacto que tiene la ciencia en la vida y en el bienestar de los ciudadanos. Además de fomentar la interacción profesional entre sus miembros, la labor de comunicación a la sociedad es más necesaria que nunca.

¿Qué importancia cree que tiene comunicar la química en los idiomas nacionales? Por ejemplo, para que el público en general lo entienda mejor.

El idioma elegido tiene que garantizar la perfecta comunicación entre interlocutores. Por tanto, la labor de divulgación de la química, a cualquier segmento de la sociedad general, ha de hacerse en el idioma nacional. No sólo eso, sino que hay que adaptar la jerga química para que sin perder rigor, el público comprenda claramente el mensaje. El intercambio de información entre investigadores es distinto pues suele trascender el ámbito nacional, incluso en los congresos nacionales con invitados de otros países, y actualmente el inglés garantiza la buena comunicación.

¿Cómo comenzó su interés en la química?

Mi interés por la ciencia fue siempre superior a otras orientaciones. Pero la decisión de estudiar química en concreto se la debo a uno de mis profesores en el bachillerato. Su entusiasmo por la química que enseñaba era contagioso y eso fue lo que finalmente me decidió. No me he equivocado y estoy agradecida.

¿Qué es lo que más le entusiasma de la química hoy día?

Me emociona ver la respuesta que la química está dando a los grandes problemas que nos afectan: Se está avanzando enormemente en el desarrollo de materiales para aplicaciones energéticas, la síntesis química está cambiando con reacciones hasta hace poco imposibles y cada vez más selectivas y sostenibles, y un largo etc.

En su opinión ¿cómo se sitúa la química española respecto a la química europea?

La química española ocupa un lugar destacado. Sin embargo, hay que ser muy cautos pues esta posición se puede poner en peligro muy fácilmente, y la escasez de

recursos y financiación en los últimos años no ayudan a mantenerla. La falta de un plan de financiación estable a largo plazo es un problema y, además, estamos en un

momento crítico de cambio generacional en las plantillas de muchos centros públicos que hay que planificar sensatamente y con visión de futuro.

Pedro J. Pérez



Catedrático de Química Inorgánica
Laboratorio de Catálisis Homogénea;
Centro de Investigación en Química Sostenible
Universidad de Huelva

 0000-0002-6899-4641

¿Recuerda su primer contacto con lo que ahora se llama Chemistry Europe o alguna de sus partes?

Chemistry Europe ha nacido este año a partir de la anterior denominación de ChemPubSoc, que aglutina a la mayoría de las Sociedades Europeas de Química alrededor de la publicación conjunta de revistas científicas. En ese sentido, he estado relacionado con esta corriente desde hace casi diez años, representando a la RSEQ en varias de las revistas de este consorcio.

Chemistry Europe comenzó hace 25 años con la revista *Chemistry - A European Journal*, y hace diez años con su revista *Chemistry Views*. En 2019 se han publicado más de 9.000 artículos científicos. Según usted ¿Qué debería aspirar a hacer en el futuro Chemistry Europe? ¿Por qué? ¿O tiene una experiencia particular con una revista de Chemistry Europe?

Sin duda alguna, Chemistry Europe tiene por delante un camino de superación para alcanzar las cotas que actualmente muestran las revistas de la American Chemical Society o la Royal Society of Chemistry. En ese sentido, debemos adoptar medidas que incrementen la confianza de los investigadores en el grupo de revistas de Chemistry Europe. Lo que es bueno para ésta, es bueno para la RSEQ, y repercutirá positivamente en las actividades de ésta.

¿Tiene alguna experiencia particular con la revista de su sociedad química? ¿Qué significa la revista para usted?

Anales de Química es nuestra vía principal de comunicación entre los socios de la RSEQ y por tanto tiene una importancia crucial. A lo largo de los años he contribuido con algunos artículos de divulgación. Asimismo, es un vehículo de diseminación de información, que también ha estado a mi disposición cuando he tenido que informar de actividades relacionadas con eventos organizados al amparo de la RSEQ.

¿Qué es lo que más le gusta de la orientación europea y de las redes de su sociedad química? ¿Qué proyectos deberían ser apoyados?

La consecución de grandes objetivos requiere de la integración en redes a todos los niveles. Este concepto comenzó a desarrollarse en los años 80 a nivel investigador, generándose las primeras redes entre grupos

de investigación. Desde entonces, esta idea ha ido implementándose y ese fue el origen de la generación de ChemPubSoc: una red de Sociedades Químicas que se unen para generar revistas de interés y alcance superior a las que cada uno publicaba de manera individual.

¿Dónde ve las sociedades científicas nacionales en el mundo de hoy?

Las sociedades nacionales son fundamentales para la promoción doméstica de la química, desde la organización de eventos como las olimpiadas o participación en semanas de la ciencia destinadas a los más jóvenes, generalmente pre-universitarios, hasta los congresos y reuniones científicas al máximo nivel investigador. De manera simultánea, y como he mencionado anteriormente, su papel a nivel internacional debe imbricarse en la colaboración con otras sociedades de otros países para alcanzar objetivos comunes.

¿Qué importancia cree que tiene comunicar la química en los idiomas nacionales? Por ejemplo, para que el público en general lo entienda mejor.

La exclusión idiomática sólo conlleva a la pobreza intelectual a todos los niveles. El uso del español a niveles divulgativos es fundamental para generar interés, particularmente en los más jóvenes o, como indica, para llegar a la sociedad. Por ello considero que la publicación de *Anales de Química* en español está fuera de toda discusión. Alternativamente, tampoco debe discutirse la existencia de un idioma único a nivel de investigación original: el inglés. Podrá gustar más o menos, pero es una certeza que no se puede cambiar. La ciencia se enriquece de la suma del trabajo de todos, y si no podemos entender lo que dicen los demás, el avance se ve seriamente afectado.

¿Cómo comenzó su interés en la química?

En mi último año en la escuela (1977) estudié la química por primera vez, y me atrapó. Y, como suele suceder, siempre hay un maestro que es “culpable” de ello. Vaya aquí mi agradecimiento a Don Jesús Llanes, en Isla Cristina (Huelva). Y no se olvide incluir el “Don”, que era como llamábamos a nuestros maestros como muestra de nuestro respeto a la vez que de admiración por su saber.

¿Qué es lo que más le entusiasma de la química hoy día?

De la Química, como de la Ciencia en general, la principal virtud es su viveza: todos los días ocurre algo, todos los días se conoce algo nuevo, todos los días es un paso adelante hacia el infinito final del conocimiento absoluto.

En su opinión ¿cómo se sitúa la química española respecto a la química europea?

Los datos disponibles indican que nuestro nivel en términos relativos es comparable a la media europea, tanto en número de publicaciones como en la calidad de las mismas. No obstante, una segunda lectura señala que existen bastantes diferencias entre un número minoritario de “islas químicas”, con una gran relevancia en

tales parámetros, y un mayor número de centros donde se hace una investigación digna a pesar de numerosas carencias en personal en formación e infraestructura. Una mejora sustancial de la financiación que permita un

mayor desarrollo de la investigación, a todos los niveles, permitirá aumentar significativamente el peso de nuestra química a nivel internacional.

Tomás Torres



Catedrático de Química de la UAM
Director del Instituto de Investigación
Avanzada en Ciencias Químicas
(AdChem)

 0000-0001-9335-6935

¿Recuerda su primer contacto con lo que ahora se llama Chemistry Europe o alguna de sus partes?

Perfectamente. En 1996 estábamos preparando un manuscrito, con unos resultados sobre ftalocianinas asimétricas de gran interés, para la revista *Journal of Organic Chemistry*, cuando la primera firmante Ángela Sastre-Santos, por entonces doctoranda, vino a mi despacho a decirme que había salido una revista nueva, *Chemistry - A European Journal*, que le gustaba mucho y que podíamos enviar allí nuestro artículo. No le hice caso y lo enviamos al *JOC*, una revista entonces de gran reputación, donde fue publicado. Mi primer artículo en *Chemistry - A European Journal* fue en 1999.

Chemistry Europe comenzó hace 25 años con la revista *Chemistry - A European Journal*, y hace diez años con su revista *Chemistry Views*. En 2019 se han publicado más de 9.000 artículos científicos. Según usted ¿Qué debería aspirar a hacer en el futuro Chemistry Europe? ¿Por qué? ¿O tiene una experiencia particular con una revista de Chemistry Europe?

Suscribo completamente a este respecto lo que dijo recientemente Jan-Willem Toering de la Royal Netherlands Chemical Society, que viene a ser, trabajar juntos para redefinir nuestra identidad, modernizar nuestra marca y continuar reflejando en ella nuestros valores fundamentales. Si bien en los últimos 25 años se ha hecho mucho en esta dirección, en mi opinión aún persiste cierta heterogeneidad en las actuaciones, que puede ser mejorada. Esto es más o menos lo mismo que sucede en la integración Europea de los distintos países, y se debe principalmente a la diversidad inicial en la creación de Chemistry Europe.

Mi experiencia más reciente viene dada por mi incorporación como Co-Chair del Consejo Editorial de la revista *ChemPlusChem*. Cada revista depende de sus editores para su éxito, y nuestro papel no se limita a las tareas editoriales, sino que también incluye una gran responsabilidad por las necesidades e intereses de los autores y lectores.

¿Tiene alguna experiencia particular con la revista de su sociedad química? ¿Qué significa la revista para usted?

Para mí es un placer recibir periódicamente los Anales de la Real Sociedad Española de Química, desde que la clásica *Anales de Química* se integró en el consorcio de revistas europeas. Consigo ponerme al día con poco esfuerzo del “latido químico” del país. La lectura de artículos y reseñas es amena y agradable.

¿Qué es lo que más le gusta de la orientación europea y de las redes de su sociedad química? ¿Qué proyectos deberían ser apoyados?

Los enfoques europeístas de la RSEQ han sido constantes en los últimos 20 años, a través de sus presidentes, lo que ha sido secundado por el excelente desarrollo de sus Grupos Especializados. Los proyectos multidisciplinares y transversales requieren de un apoyo incondicional de la RSEQ, coordinada con sus secciones territoriales.

¿Dónde ve las sociedades científicas nacionales en el mundo de hoy?

Las veo como una referencia interna, un lugar de encuentro de todos los que hemos hecho de la Química la base de nuestro quehacer diario, y por tanto tenemos intereses comunes.

¿Qué importancia cree que tiene comunicar la química en los idiomas nacionales? Por ejemplo, para que el público en general lo entienda mejor.

Es evidente que es muy importante llegar al lector en su propio idioma, sobre todo cuando se tratan temas locales, incluso cotidianos. Anales de la Real Sociedad Española de Química, que trata en gran parte de temas divulgativos debe editarse en Español, y por qué no, en cualquier otro idioma del Estado si es necesario.

¿Cómo comenzó su interés en la química?

A los 14 años, cuando mi prima Isabel me regaló un “Cheminova”. Es curioso como un simple acto puede marcar un camino, a la postre definitivo.

¿Qué es lo que más le entusiasma de la química en día?

Lo que más me entusiasma de la Química es como sus distintas partes se hacen multidisciplinares y se diluyen unas con otras. Como va surgiendo la Química Total, que a la postre resulta en la Ciencia Total, cuando los bordes de la Química se funden con la Física, la Biología... Ya de una manera más concreta, la Nanoquímica o la Nanociencia me apasiona.

En su opinión ¿cómo se sitúa, en su opinión, la química española respecto a la química europea?

La química española tiene una excelente salud, y solo difiere de la europea en su financiación. Es necesario invertir en investigación, y hacerlo de manera inteligente. No vale solo con aumentar los presupuestos en este sentido, sino que hay que hacerlo bien.

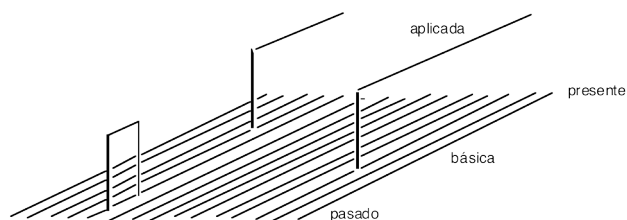
Ciencia básica y ciencia aplicada

José Elguero Bertolini

En estos tiempos de zozobra he recibido de mi buen amigo e insigne facultativo, el profesor Pedro García Barreno, una serie de pequeñas “meditaciones” en torno al COVID-19. En una de las últimas, incluye el siguiente comentario:

En septiembre de 1992, George Brown, Congresista, demócrata, por California escribió un artículo en Los Angeles Times cuyo título era “It’s down to the last blank check. We’ve paid for 45 years of discovery; let’s start requiring its application to the critical problems in the civilian sector”.¹

Creo que hay un malentendido entre los científicos y la administración (autonómica, nacional, europea, empresarial...). Se puede representar así:



Innumerables líneas de investigación básica avanzan del pasado al presente con la intención de continuar hacia el futuro. Cuando los proveedores de fondos preguntan a los investigadores por sus efectos económicos (generación de empleo, disminución de las regalías, me-

gorías para los ciudadanos...), estos contestan con ejemplos del pasado. Es muy conocido que investigación básica *per se* dio un salto vertical a la aplicada, algunas veces con éxito, otras no, de cuyos resultados toda la humanidad se ha beneficiado.

Si ¿pero hoy? ¿lo que están haciendo hoy, para que servirá? Ah, es que los trabajos de ciencia básica tardan a veces años en dar frutos. Hasta aquí, todo bien sabido por los lectores de *Anales de Química*.

El malentendido se debe a que los científicos no explican claramente que la inmensa mayoría de la ciencia básica que hacemos hoy, hicimos ayer y haremos mañana **no tuvo, tiene ni tendrá ninguna aplicación práctica**.

Cuando se financia la investigación básica se hace una apuesta muy arriesgada, muy poco probable, que consiste en que el dinero que invertimos dará fruto algún día.

Si tenemos que cercenar algunas líneas de investigación básica ¿que criterios debemos seguir? Cito otra parte del artículo de George Brown:

Society needs to negotiate a new contract with the scientific community. [...] A new contract will measure the value of research and innovation not by number of publications or citations or patents, but by progress toward these specific goals. A new contract will focus not just on research at the frontiers of knowledge, but on the utilization of existing knowledge.

Basta con leer los proyectos de investigación o las introducciones a las publicaciones más prestigiosas para saber que muy pocas veces se dice que esos resultados probablemente solo servirán para el muy noble propósito de aumentar el conocimiento.

Los directores de revistas científicas, los presidentes de sociedades científicas, deberían ser conscientes de ello ayudando así a que el contrato investigadores-sociedad se establezca sobre bases honestas.



Instituto de Química Médica (CSIC)
C-e: iqmb17@iqm.csic.es

J. Elguero Bertolini

Recibido: 19/10/2020. Aceptado: 20/10/2020.

¹ El documento completo es accesible en la red.

Los orígenes del Departamento de Química Inorgánica de Zaragoza

Juan Forniés y Antonio Laguna

El Departamento de Química Inorgánica actual se puede considerar heredero de la denominada Escuela Química de Zaragoza, cuyo origen se remonta a la labor y entusiasmo de don Bruno Solano Torres, que fue inicialmente profesor interino de Química General del curso preparatorio de Medicina, plaza que ocupó a partir de 1882 como Catedrático Numerario de Química en la Facultad de Medicina,^[1] y que tuvo un protagonismo decisivo en la creación de la Facultad de Ciencias, de la que fue Decano desde 1887 hasta su fallecimiento en 1899. Hasta ese momento, la Química había sido solo un complemento para los estudios de Medicina o Farmacia, en Universidades como las de Granada, Sevilla, Santiago de Compostela, Valencia, Valladolid o Zaragoza. Solamente en Madrid o Barcelona se podía cursar la carrera de Físico-Químicas. En realidad, el desarrollo de la Química en España a finales del siglo XIX era prácticamente inexistente, a pesar de los avances que se iban produciendo en el resto de Europa. En España, se limitó únicamente a la puesta al día o traducciones de trabajos realizados en el extranjero, así como a algunos trabajos relacionados con técnicas mineras o industriales, como, por ejemplo, la fermentación alcohólica, la influencia de los fosfatos en la vegetación o análisis de aguas. Es a comienzos del siglo XX cuando el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes decide dar un impulso al desarrollo científico con la creación de tres instituciones que serán básicas para el progreso de la química en nuestro País. En 1903 se crea la Sociedad Española de Física y Química (que

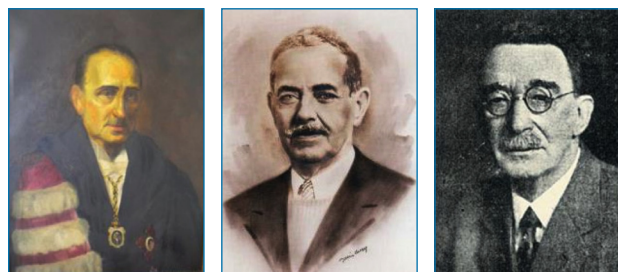


Figura 1. Antonio de Gregorio Rocasolano, Gonzalo Calamita y Paulino Savirón

posteriormente, en 1928, pasará a denominarse Real Sociedad Española de Física y Química) y que se encargará del fomento y difusión de los trabajos de investigación científica nacional a través de su publicación en la revista Anales de la Sociedad Española de Física y Química. La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), fundada en 1907, será la encargada de potenciar el perfeccionamiento de profesores a través de la concesión de pensiones o becas para estancias en países extranjeros. En esta época los lugares preferidos son Francia y Alemania y, en menor extensión, Suiza, Bélgica, Italia o Estados Unidos. A partir de ese momento se empieza a establecer la necesidad de realizar una estancia en el extranjero si se desea iniciar una carrera como docente o investigador en alguna de las universidades españolas. A través de la Junta se crean los primeros centros de investigación, como los Laboratorios de Química General, en la Residencia de Estudiantes, o el Instituto Nacional de Física y Química (1932, Rockefeller Foundation). El primer presidente de la Junta fue el Prof. Santiago Ramón y Cajal y posteriormente (1939) la JAE pasará a denominarse Consejo Superior de Investigaciones Científicas. En 1908 se crea la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, cuya misión será la organización de congresos, conferencias o concursos. El primero de estos congresos que tendrán una periodicidad bianual, tuvo lugar en Zaragoza y fue organizado por los profesores de la Universidad de Zaragoza Antonio de Gregorio Rocasolano (Química General), Gonzalo Calamita (Química Orgánica) y Paulino Savirón (Química Inorgánica) (Figura 1).

La Química Inorgánica ha sido siempre una asignatura fundamental en los estudios de Químicas. En los primeros años, en la Universidad de Zaragoza se cursaban



J. Forniés

A. Laguna

Profesores Colaboradores Extraordinarios, Departamento de Química Inorgánica - ISQCH (Instituto de Síntesis Química y Catálisis Homogénea) Universidad de Zaragoza - CSIC (50009 Zaragoza)

C-e: juan.fornies@unizar.es
alaguna@unizar.es

Recibido: 03/11/2020. Aceptado: 19/11/2020.

15 asignaturas, de las que solo 5 eran de química (Química General, Química Inorgánica y sus prácticas y Química Orgánica y sus prácticas) y el resto eran de física y una fuerte carga de matemáticas. El Análisis Químico y sus prácticas se reservaban para los estudios de doctorado. Posteriormente se introducirían dos nuevas asignaturas en la licenciatura que son Mecánica Química y Análisis Químico y en el doctorado, Análisis Químico Especial, Cristalografía y Química Biológica. En 1922, el ministro de Instrucción Pública, J. Salvatella, establece un Nuevo Plan para la Sección de Químicas, en cuatro años, en el que se reduce la carga de matemáticas para que sirva solo de fundamento a los conocimientos físico-químicos y hay diez asignaturas de Química (Química General, Química Inorgánica I y II, Química Analítica I y II, Química Orgánica I y II, Química Técnica, Química Teórica y Electroquímica). Posteriormente, con Enrique Moles, los estudios de Licenciatura pasan a ser de cinco años y es necesario concluirlos con una Tesis de Licenciatura.

Don Bruno Solano Torres (Figura 2, Calatorao, 1840 – Santander, 1899) fue profesor de Química y amigo de Don Santiago Ramón y Cajal y a partir de 1882 ocupó la cátedra de Química en la recién creada Facultad de Ciencias de Zaragoza, de la que fue también Decano. Su actividad científica estuvo dirigida a la resolución de problemas relacionados con la actividad económica regional. Realizó estudios vitivinícolas en laboratorios de París y Copenhague que luego aplicaría para intentar mejorar la riqueza de los vinos de Aragón, así como para crear un laboratorio enológico práctico. En esa época su laboratorio era el único laboratorio de química de Zaragoza, de manera que tuvo que actuar como perito en distintos procesos judiciales y también se le encargó el análisis de las aguas del Canal Imperial tras la epidemia de cólera que padeció la ciudad de Zaragoza en 1885. Entre sus discípulos se encuentran Antonio de Gregorio Ricasolano (que posteriormente sería catedrático de Química General) y Gonzalo Calamita Alvarez (Química Orgánica). La importancia de Bruno Solano en la creación de la Facultad de Ciencias y en el establecimiento de los estudios universitarios de Química ya ha sido señalada antes,^[1] sin embargo, falleció en Santander en 1899 sin recursos económicos y sus compañeros y antiguos alumnos de la universidad aportaron, quince años después de su fallecimiento, el dinero necesario para su funeral y traslado de sus restos a Zaragoza. Desde entonces se estableció la costumbre que duraría unos años, de realizar una suscripción entre los profesores de la Universidad de Zaragoza para ayudar a la viuda de los compañeros fallecidos. Hoy día, tiene una calle de Zaragoza dedicada a su memoria, pero sólo recientemente (2020) el nicho, en el cementerio de Torrero donde descansan sus restos, dispone de una lápida digna.

Don Antonio de Gregorio Ricasolano (Figura 1. Zaragoza 1873-1941) obtuvo la licenciatura en Ciencias Físico-Químicas en la Universidad de Zaragoza en 1892 y el doctorado en Madrid en 1897 (en aquella época, únicamente la Universidad Central podía expedir el título



Figura 2. Bruno Solano e inauguración de la Facultad de Medicina y Ciencias a la que asiste Bruno Solano (primera fila, centro, 18/10/1883)

de Doctor). En 1902 consiguió la Cátedra de Química General de Barcelona, pero le fue posible permutarla al año siguiente por la de Zaragoza. Gracias a una pensión concedida por la JAE pudo completar su formación con Emile Duclaux en París en 1913, realizando estudios de microbiología y fermentación. En 1918 crea el Laboratorio de Investigaciones Biomédicas (situado en los bajos del edificio de la Facultad de Medicina y Ciencias) en el que se formarían investigadores de la talla de Juan Martín Sauras, Santiago Fernández-Benedí, Antonio Rius Miró, José María Alvareda Herrera, además de las primeras doctoras españolas, entre las que se encuentra María Antonia Zorraquino que posteriormente sería la esposa de Juan Martín Sauras. En 1929 fue Rector de la Universidad de Zaragoza. Después del golpe de estado de 1936 desempeñó un papel importante en la configuración de la universidad española y fue designado presidente de la Comisión para la Depuración del Personal Universitario que tuvo la primera sede en Zaragoza. Fue nombrado Vicepresidente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas tras su creación en 1939. Ricasolano (Química General), Savirón (Química Inorgánica), y Calamita (Química Orgánica) fueron los únicos catedráticos de

Química, hasta que en 1940 se incorpora Mariano Tomeo Lacrué en la Cátedra de Química Técnica y un año más tarde, Julián Bernal Nieves en Química Analítica. Las investigaciones de Gregorio Rocasolano se centraron principalmente en el estudio físico químico de coloides, incluyendo sus potenciales aplicaciones como catalizadores y el movimiento browniano, Bioquímica Agrícola y fijación de nitrógeno y Bioquímica Médica.

Don Paulino Savirón y Caravantes (Figura 1. Zaragoza 1865-1947) se licenció en la rama de Ciencias Físico-Químicas y se doctoró en la Universidad Central de Madrid con la dirección del catedrático de análisis químico Magín Bonet y Bonfill. Volvió a su ciudad natal en 1895, tras conseguir la primera cátedra de Química Inorgánica de la recién creada Facultad de Ciencias y estuvo también encargado de la cátedra de Química Analítica durante 26 años, hasta la llegada de Julián Bernal. Fue Decano de la Facultad de Ciencias (a partir de 1903) y Rector de la Universidad de Zaragoza (a partir de 1933). Tras su jubilación en 1935, la Universidad le nombró Rector Honorario y, más tarde, Doctor Honoris Causa en Química Industrial. Su interés científico se centró en la química e industria del cemento (fue impulsor de la creación de la Sociedad Aragonesa Portland Artificial, en Quinto de Ebro, Zaragoza) y en el análisis de aguas, lignitos y minerales. Promovió las visitas científicas a las industrias de la región. Entre sus discípulos más destacados se encuentra Luis Bermejo y Vida que sería catedrático de Química en Santiago y Valencia y luego de Química Orgánica en Madrid, donde dirigiría la tesis doctoral de Mariano Tomeo Lacrué y Vicente Gomez Aranda, futuros catedráticos, de Química Técnica y Química Orgánica, respectivamente, de la Universidad de Zaragoza. Paulino Savirón fue gran aficionado a la música clásica, tocaba el órgano e impulsó la creación en Zaragoza de la Sociedad Filarmónica.

Don Juan Martín Sauras (Figura 3. Andorra 1896 – Zaragoza 1969) se licenció en Ciencias Químicas en la Universidad de Zaragoza en 1917 y se doctoró en Madrid en 1923, aunque el trabajo experimental lo realizó en Zaragoza, bajo la dirección de Antonio de Gregorio Rocasolano. Trabajó como ayudante de clases prácticas en el laboratorio de Investigaciones Biomédicas de la Facultad de Ciencias. Completó su formación científica en Alemania con los profesores Zsigmondy y Bechhold trabajando en el campo de la coloidesquímica. Consiguió la cátedra de Química Inorgánica de la Universidad de Santiago de Compostela en 1930 y posteriormente (1936) se trasladó a la cátedra del mismo nombre en la Universidad de Zaragoza. Tras la sublevación militar de ese año estuvo inhabilitado (por haber figurado en una lista socialista en las elecciones de 1931) hasta 1949. A partir de esa fecha tiene una fecunda actividad científica y académica, destacando sus trabajos sobre adsorción de los iones calcio y manganeso por las proteínas del suero sanguíneo y los estudios sobre preparación de tiosulfatos, tetrationsatos, argentotiosulfatos y aurotiosulfatos. Entre sus discípulos destacan José Miguel Gamboa Loyarte (Universidad de La Laguna, CSIC) y Rafael Usón Lacal. Martín Sauras



Figura 3. Juan Martín Sauras y Rafael Usón Lacal

fue, además, Administrador General de la Universidad de Zaragoza (1949-1960) y Decano de la Facultad de Ciencias (1964-1967). Gran aficionado al fútbol contribuyó a la creación del Real Zaragoza.

Don Rafael Usón Lacal (Figura 3. Zaragoza 1926-2016) se licenció en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza en 1947 y se doctoró en la Universidad Central de Madrid en 1950, aunque el trabajo experimental lo había realizado en Zaragoza, bajo la dirección de Juan Martín Sauras. Realizó una estancia postdoctoral en Munich con el Prof. Egon Wiberg. Regresó a Zaragoza como Profesor Ayudante y luego como Colaborador Científico e Investigador en el CSIC. En 1960 consiguió la cátedra de Química Inorgánica en la Universidad de Oviedo y en 1967 se trasladó a la cátedra del mismo nombre en la Universidad de Zaragoza. Fue Decano de la Facultad de Ciencias, Secretario General y Vicerrector de la Universidad de Zaragoza. Su actividad científica ha sido muy destacada, siendo un firme defensor de que la investigación debería ocupar una parte muy importante en la tarea de un profesor universitario. Destacan sus contribuciones en la química del carbón y combustibles, química de disolventes no acuosos, química de coordinación de metales, como titanio y manganeso, pero sobre todo en la química organometálica de los elementos de transición. Es autor de más de 340 publicaciones científicas y ha dirigido 45 tesis doctorales. Algunos de sus discípulos han ocupado posiciones destacadas en universidades españolas o del CSIC, como es el caso, entre otros muchos, de Victor Riera (Autónoma de Barcelona, Zaragoza, Valladolid, Oviedo), Pascual Royo (Extremadura, Murcia, Alcalá de Henares), Pascual Lahuerta (Valencia), José Vicente (Murcia), Juan Forníes (La Laguna, Zaragoza), José Gimeno (Oviedo), Antonio Laguna (Zaragoza), Miguel Angel Ciriano (ISQCH), Mariano Laguna (ISQCH), Pablo Espinet (Valladolid), Rafael Navarro (Zaragoza), María Teresa Chicote (Murcia), María Pilar García (Zaragoza), Elena Lalinde (La Rioja), Eduardo J. Fernández (La Rioja), Blanca Rosa Manzano (Ciudad Real),

Daniel Carmona (ISQCH), Miguel Angel Esteruelas (ISQCH), M. Concepción Gimeno (ISQCH), Ana Isabel Elduque (Zaragoza), Jesús Pérez (Zaragoza), José María Casas (Zaragoza), Irene Ara (Zaragoza).

Durante un breve período de tiempo (1970-1976) estuvo vinculado al Departamento como Catedrático de Química Inorgánica Estructural don Fermín Gómez Beltrán (Zaragoza 1927 – Oviedo 2011) que, con anterioridad, había sido Colaborador e Investigador en el Instituto de Carboquímica (antes del Combustible, CSIC) y Profesor Agregado de Química Física (Zaragoza) y que, posteriormente, se trasladaría a la Universidad de Oviedo como Catedrático de Química Física. Su Tesis Doctoral fue dirigida por Vicente Gómez Aranda. Fue Director General de Universidad del Principado de Asturias. Su interés investigador durante su etapa en Zaragoza fue el

estudio de los compuestos de coordinación con diferentes técnicas físicas y entre sus discípulos se encuentran Luis Oro (Madrid, Cantabria, Zaragoza), Armando Roy (Zaragoza), Antonio Valero (Zaragoza), Lorenzo Pueyo (Oviedo), Fernando Palacio (ICMA) o Angel Salas (Centro de Cálculo), entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- ^[1] En un reciente artículo de Fernando Bartolomé se describe pormenorizadamente el enorme esfuerzo realizado por Bruno Solano, para la creación de la Facultad de Ciencias y el establecimiento de los estudios de Químicas en la Universidad de Zaragoza. (F. Bartolomé, *Conciencias*, 2020, mayo, 72-83: “Bruno Solano y los inicios de la Facultad de Ciencias de Zaragoza”).






XXXVIII REUNIÓN BIENAL
RSEQ
 GRANADA 2021
 28 DE JUNIO / 2 DE JULIO

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE QUÍMICA

www.bienal2021.com

100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país

Avances en la academia y en la industria

Carmen Mijangos

Resumen: Este trabajo pretende recordar el origen de la ciencia de los polímeros en el mundo, hace 100 años, gracias a Hermann Staudinger, y la aparición de la misma en España, en 1947. Igualmente, pretende aportar una serie de datos y dar una visión panorámica sobre el origen y la situación de la ciencia de los polímeros en nuestro país y su repercusión en el ámbito internacional. Esta breve contribución es una más de los muchos artículos, actos y congresos internacionales que se están llevando a cabo a lo largo del año 2020 para conmemorar el primer centenario de la aparición de la Ciencia de Polímeros.

Palabras clave: macromoléculas, polímeros, origen, evolución, retos.

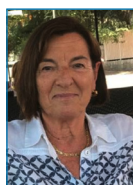
Abstract: This work aims to remember the origin of polymer science in the world, 100 years ago, thanks to Hermann Staudinger, and its emergence in Spain, in 1947. Likewise, it aims to provide a series of data and give a panoramic view on the origin of polymer science in our country and its repercussion in the international arena. This brief contribution is one of the many contributions in the form of articles, events and international conferences that will take place throughout the year 2020 to commemorate the first century of the Polymer Science.

Keywords: macromolecules, polymers, origin, evolution, challenges.

INTRODUCCIÓN. INICIO DE LA CIENCIA DE POLÍMEROS, 1920

Existe un claro consenso en la comunidad científica en considerar el año 1920 como el nacimiento de la Ciencia de Polímeros. Esta fecha corresponde a la aparición de la primera y revolucionaria publicación de Hermann Staudinger sobre química macromolecular.^[1] Para conmemorar dicho nacimiento, a lo largo del año 2020 se han programado una serie de publicaciones promovidas entre otros por la prestigiosa revista *Progress in Polymer Science-Elsevier*,^[2,3] actos y congresos dedicados a la celebración del primer centenario,^[4-7] aunque muchos de ellos han sido cancelados o pospuestos por los efectos de la COVID19. El presente artículo promovido por la Revista *Anales de Química* de la RSEQ debe de enmarcarse como una contribución más.

En el año 1920, Hermann Staudinger inició una serie de publicaciones, no sin cierta polémica, en las que se acuñó el término macromolécula y sentó las bases de la polimerización (Über Polymerisation) que se consideran como el punto de partida de la ciencia de los polímeros.^[1,8] La existencia de la cadena macromolecular unida por enlaces covalentes fue puesta en duda por los químicos orgánicos y H. Staudinger tuvo que luchar para convencer a sus colegas de que el concepto era real. Los primeros trabajos publicados se refieren al caucho, formado por largas cadenas de unidades de isopropeno. Más tarde propuso las fórmulas estructurales del poliestireno y del polioximetileno, tal como las conocemos actualmente, como cadenas moleculares gigantes formadas por la asociación de ciertos grupos atómicos llamados “unidades estructurales” mediante enlaces covalentes. Este concepto solo se convirtió en el “fundamento” de la química macromolecular a partir de 1928 cuando, al estudiar la celulosa, Kurt Meyer y Hermann Francis Mark observaron la estructura cristalina de los polímeros mediante técnicas de difracción de rayos X. En 1935, Staudinger comenzó la investigación sobre las disoluciones de polímeros, con lo que pudo aportar nuevos hallazgos sobre la relación que vincula la viscosidad y el peso molecular y, a partir de ahí, se puede decir que comienza la ciencia de los polímeros. No fue hasta el año 1953 cuando se le reconocen sus méritos y se le concede el premio Nobel en Química *por sus descubrimientos en el campo de la*



C. Mijangos Ugarte

Vicepresidenta del Grupo de Polímeros (GEP-RSQ)
Profesora de Investigación *ad Honorem*
Directora del ICTP-CSIC 1996-2001
Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, CSIC
Juan de la Cierva, 3. Madrid
C-e: cmijangos@ictp.csic.es

Recibido: 08/10/2020. Aceptado: 19/11/2020.

química macromolecular. En esa época se descubrieron los principales mecanismos y métodos de polimerización y se inicia el estudio de la estructura y comportamiento de los polímeros en disolución y el de las transiciones térmicas, el comportamiento viscoelástico, etc.

En Europa, se crearon los primeros laboratorios de investigación de polímeros: Institut für Makromolekulare Chemie de Friburgo, Alemania (1940), fundado por el propio Staudinger; Institute of Macromolecular Chemistry de Praga, República Checa (a principios de los años 1940), en el que se inventaron las lentes de contacto y el Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) creó el Centre d'Étude de Physique Macromoléculaire en Estrasburgo, Francia, en 1947 (hoy en día Institute de Macromolecules Charles Sadron). En América, el primer laboratorio de investigación fue el Polymer Research Institute establecido en 1941 por Herman Mark en el Instituto Politécnico de Brooklyn (hoy en día Instituto Politécnico de la Universidad de Nueva York) aunque fue en los laboratorios industriales donde se desarrolló buena parte de la investigación en polímeros.

A nivel científico, desde la aceptación del término macromolécula hasta el desarrollo de sus aplicaciones, los avances científicos en el campo de los polímeros fueron muy rápidos y las contribuciones científicas tan relevantes que han sido merecedoras, hasta la fecha, de otros 4 premios Nobel, en Química y Física, a: Karl Ziegler y Giulio Natta en 1963, por su contribución al estudio de catalizadores para la polimerización estereoselectiva de polialquenos terminales (Catalizadores Ziegler-Natta); Paul Flory en 1974, por sus logros teóricos y experimentales fundamentales en la química física de las macromoléculas; Pierre-Gilles de Gennes en 1991, por el descubrimiento y desarrollo de métodos avanzados para estudiar los fenómenos simples de los materiales, en particular, cristales líquidos y polímeros; Alan Heeger, Alan Mac Diarmid and Hideki Shirakawa, en 2000, por su contribución al conocimiento y desarrollo de la ciencia de los polímeros inorgánicos conductores. Otros premios Nobel también están muy relacionados con polímeros.^[9]

Desde sus comienzos, la actividad investigadora en polímeros/macromoléculas, a nivel mundial, ha sido extraordinaria y enseguida dio lugar a la edición de revistas especializadas. La aparición de la primera revista, *Macromolecular Chemistry and Physics*, data de 1943, con Hermann Staudinger como editor. Le siguió *Journal of Polymer Science* lanzada en 1946 por P. M. Doty, Herman Mark, y C. C. Price. En el año 1952 aparece la primera publicación de la IUPAC, elaborada por la Subcomisión de Nomenclatura de la entonces Comisión de Macromoléculas. La primera revista de polímeros de habla hispana, *Revista de Plásticos Modernos*, data de 1950 (FOCITEC-CSIC).

Uno de los principales indicadores de la importancia que han adquirido es el alto número y la calidad de las revistas especializadas en polímeros: más de 150 revistas especializadas. Es importante resaltar la revista *Progress in Polymer Science* con IF: 25, 8 (aunque existe la revista *Progress in Material Science* (IF: 30), no existen revistas específicas para el resto de materiales, cerámicos o metales).

Las primeras sociedades de polímeros surgen en los años cuarenta del siglo pasado. The Society of Plastics Engineers (SPE) se creó en 1942. En el año 1967 se crea la división de polímeros dentro de la IUPAC. La European Polymer Federation (EPF) fue creada en 1986 por las sociedades nacionales de polímeros. La Federación de Sociedades Asiáticas de Polímeros no se crea hasta 2007.

Los primeros Congresos de polímeros datan de mediados del siglo pasado y fueron promovidos por las sociedades de polímeros. El primer Congreso de la IUPAC/MACRO tuvo lugar en el año 1957 (Praga) y, desde entonces, anualmente, se promueven docenas de Congresos de polímeros en el mundo. Cabe destacar que el XIII International Symposium on Macromolecules (IUPAC) tuvo lugar en Madrid en 1974, organizado por el Instituto de Plásticos y Caucho (ICTP) y contó con la asistencia, entre otros, del Premio Nobel Paul Flory y de más de 700 participantes. El 13th EPF Congress se celebró por primera vez en España (Granada) en el año 2011, promovido por el GEP-RSQ, reuniendo a más de 1.300 investigadores.

Los programas de enseñanza e investigación en química de polímeros se crearon en la década de 1940 en distintas universidades europeas.

Tecnología

La importancia de los polímeros sintéticos en la industria (el término polímero fue acuñado por J. J. Berzelius en 1833) comienza mucho antes que el establecimiento científico de las bases de la ciencia de polímeros. El primer plástico completamente sintético, la baquelita, fue sintetizado por el químico belga, nacionalizado estadounidense, H. Leo Baekeland en 1909, a partir del fenol y el formaldehído. El policloruro de vinilo (PVC) se produjo a partir de 1912 (fecha de la patente de los alemanes Klattte y Zacharias) y el polimetacrilato de metilo (PMMA) a partir de 1928. En esa época empieza, sobre todo en Alemania, la producción masiva del poliestireno (PS). En Estados Unidos, el papel más destacado lo tuvo Wallace E. Carothers (Du Pont de Nemours), cuyas investigaciones condujeron a la producción industrial del Nylon (poliamidas) en 1938. El polietileno, inventado en Inglaterra, empezó a producirse comercialmente en 1939, las resinas epoxi en 1943 y los policarbonatos en 1956. En los años setenta surgen los polímeros de alto módulo, como las fibras de Kevlar, muy conocidas en la industria aeroespacial. El Teflón (politetrafluoretileno), sintetizado por primera vez por Roy Plunkett, y el neopreno (caucho sintético), etc., son solo otros ejemplos de los polímeros más conocidos a nivel social. A partir de aquí se puede decir que comienza el gran desarrollo tecnológico de los polímeros si bien el primer desarrollo de los mismos se produjo en la Segunda Guerra Mundial.

Para profundizar en el tema, se invita a los lectores a leer algunas publicaciones específicas, *Polymer pioneers, a popular history of science and technology of large molecules*, solo por citar una.^[10]

EVOLUCIÓN DE LOS POLÍMEROS EN EL MUNDO

No cabe duda de que los polímeros, a lo largo de este siglo de historia, han sufrido una importante evolución en todos los conceptos, desde la propia síntesis y comprensión de su comportamiento, hasta alcanzar altas cotas de conocimiento y desarrollo tecnológico que han cambiado profundamente la vida de la sociedad. Hoy en día, la ciencia de polímeros es un área de gran crecimiento donde surgen no solo nuevos descubrimientos en la síntesis, mecanismos de polimerización, estructura polimérica, etc sino también desarrollos claves en áreas emergentes entre las que se pueden citar el almacenamiento y conversión de energía, nuevas terapias o la economía circular. Hoy en día los polímeros se han hecho indispensables en nuestra sociedad en campos tan diversos como la salud, el transporte, la construcción, el deporte, el textil, la agricultura, electricidad y electrónica, la energía, la impresión 3D y la nanotecnología (si hay un material que cumpla con las exigencias de la nanotecnología son los polímeros, por su fácil procesabilidad y la variedad de funciones químicas disponibles).

Todos estos desarrollos han permitido a los polímeros ocupar un puesto importante dentro los materiales y hacen que el mundo sin plásticos parezca inimaginable. Los siguientes datos avalan el crecimiento de los polímeros:^[11]

| Fabricación mundial |
|---|
| 1.5 MTn en 1950 (MTn: millones de toneladas) |
| 250 MTn en 2010 |
| 380 M Tn en 2015 |
| Período 1950-2015: 8.500 MTn (incluye 7% de aditivos) |
| En los últimos 13 años: 3.900 MTn |
| Previsión crecimiento: 8.4%/año |

Hoy día, la variedad de polímeros existentes en el mercado es muy alta (varios miles), aunque su número es difícil de precisar. Su consumo es de alrededor de 100 kg/habitante/año. A nivel industrial, en Estados Unidos, la industria del Plástico ocupa el cuarto lugar de la industria manufacturera y emplea a más de 1,1 millones de personas. En Europa hay 60.000 empresas relacionadas con polímeros, la mayoría pymes (incluye maquinaria especializada) y 1,5 millones de trabajadores. A nivel mundial, el que haya un mercado tan importante se pone de manifiesto por el gran número de ferias específicas, como la Feria "K" de Dusseldorf (Alemania), dedicada a los plásticos y caucho, de carácter trienal. En el año 2016 contó con 232.000 visitantes profesionales (ese mismo año, en el Mobile World Congress en Barcelona, el número de visitantes fue de 101.000).

Muchos consideran que el siglo xx es el siglo de los polímeros y que, muy posiblemente, en el libro de la Historia de la humanidad se hablará de la era de los Plásticos, lo mismo que se habla de la edad de la Piedra, edad del Hierro y edad del Bronce.

INICIO DE LA CIENCIA DE POLÍMEROS EN ESPAÑA, 1947

En España la ciencia de los polímeros comenzó bastantes años más tarde. Aunque no hay un referente claro de cuándo y dónde surgen los primeros laboratorios de polímeros, existe una serie de documentos que acreditan que el inicio se remonta al año 1947, cuando se creó el primer departamento dedicado al estudio de los plásticos, dentro del Instituto de Química Orgánica Alonso Barba del CSIC, en Madrid.^[12-14] Este hecho ha sido posteriormente confirmado en documentos de otros autores.^[15,16] Los pioneros fueron: Juan Luis Infesta, creador y director de la Sección de Plásticos hasta 1966 (actualmente Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, ICTP) y Presidente de RSFQ (1958-62); José Fontán, posterior director del Departamento (1966-87); José González; Marco A. Achón; Gonzalo Martín-Guzmán y Luis Royo. Los temas de investigación que se acometieron estuvieron en consonancia con la situación de aislamiento del país y con la carencia y necesidad de materiales de todo tipo tratando de conducir al aprovechamiento y potenciación al límite de las materias primas nacionales.^[12] Además de una intensa actividad científica y tecnológica estos investigadores desarrollaron también un amplio programa formativo y divulgativo. El curso de alta especialización en Plásticos y Caucho se empezó a impartir en el año 1959 siendo reconocido por el Ministerio de Educación (en la actualidad se sigue impartiendo con el nombre de Máster Universitario de Alta Especialización en Plásticos y Caucho, CSIC-UIIMP). La revista de *Plásticos Modernos* empezó a editarse en 1950 y, al mismo tiempo, se comienza a poner a punto y a elaborar las Normas sobre Plásticos y Caucho. La Figura 1, que recoge la visita del premio Nobel a la Sección de Plásticos en 1955, testimonia el apoyo a los primeros investigadores de polímeros en España.



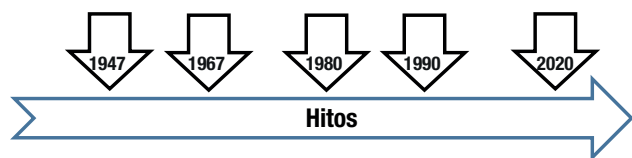
Figura 1. Visita del premio Nobel Hermann Staudinger a la Sección de Plásticos (CSIC) en 1955^[13]

Poco tiempo después otra serie de investigadores, entre los que se encuentra Antonio Roig Muntaner, por citar solo al primero, en 1953 se incorporan al Instituto de Química-Física Rocasolano del CSIC, para posteriormente integrarse en departamentos de Química-Física o de Ingeniería de otras Universidades (UCM; UPC y IEM-CSIC). En esos años surge la necesidad de caracterizar y entender los polímeros/macromoléculas y se crean los primeros laboratorios de investigación sobre la Química Física de las macromoléculas de la Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Barcelona y los departamentos de Química-Física del Instituto Rocasolano (CSIC) y de la Universidad del País Vasco.

Si hubiera que citar un solo investigador pionero sería el profesor Martín Guzmán (GMG) quien después de una fructífera estancia en Universidad de Birmingham (Reino Unido), desarrolló una labor formativa e investigadora relevante en el Departamento de Plásticos y Caucho del CSIC (actualmente ICTP-CSIC) hasta el año 1967. A partir de entonces comienza su movilidad hacia distintos puntos de la geografía nacional, dando lugar a la expansión de la ciencia de polímeros en España, primero en Tarrasa, Barcelona y por último en San Sebastián, donde en 1973 dentro de la Facultad de Petroquímica (actualmente Facultad de Química) crea el departamento de Ciencia y Tecnología de Polímeros, germen del Centro POLYMAT (UPV/EHU). Véase Figura 2.

A nivel nacional, si bien la ciencia de polímeros, y la ciencia en general, empezó en España con unos años de retraso respecto a la de otros países europeos, desde que aparecen los primeros científicos pioneros en el campo de los polímeros y los primeros movimientos de los investigadores en los años 60, a lo largo de esta corta historia se han creado numerosos grupos de investigación en prácticamente todas las facultades y escuelas de ingeniería, repartidos por toda la geografía española y dedicados exclusivamente a la ciencia de los polímeros.

En el gráfico de abajo se recogen los períodos que han supuesto cambios importantes en la ciencia de polímeros en España.



- 1947-1967: Inicio de la investigación básica y aplicada de polímeros (Madrid).
- 1967-1980: Inicio de la expansión de polímeros en España.
- 1980-1990: Gran expansión de polímeros en España.
- 1990-2020: Consolidación de la ciencia de polímeros.

EXPANSIÓN POLÍMEROS AÑOS 1968-1980

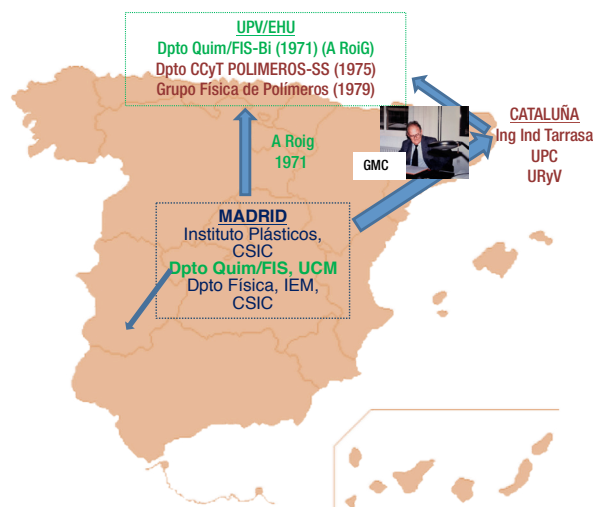


Figura 2. Período 1967-1980: Inicio de la expansión de la ciencia de polímeros en España

Hasta prácticamente finales de 1960, la ciencia y tecnología de polímeros se cultivó en el ICTP. En la primera etapa 1947-1952 la investigación fue de carácter sintético, muy aplicada y terminaba en transferencia industrial. Por ejemplo, el trabajo sobre *Resinas intercambiadoras de iones* abarcó desde el estudio básico hasta el desarrollo en planta piloto y la transferencia a la Empresa Nacional Calvo Sotelo. El estudio de *Polímeros redox* y *Resinas acrílicas* llegó también hasta el desarrollo industrial, a la creación de una empresa y al montaje de una planta industrial. Igualmente, los proyectos sobre el *Poliacetato de vinilo (emulsión)*, abarcaron hasta el desarrollo en planta piloto y la transferencia a la Empresa MAPLEX-VALENCIA. Los estudios sobre la *Policondensación (Poliésteres de origen natural)* terminaron en planta piloto y en una fábrica de FIBRAS de PA y Poliéster y los de *Modificación de la Celulosa, membranas de celulosa* y *Vulcanización del caucho*, se desarrollaron en colaboración con el sector industrial. Unos años más tarde, 1953-1967, los temas de investigación se amplían considerablemente y se abordan desde el punto de vista físico o químico-físico: Cristalización del PE, configuraciones/conformaciones moleculares, disolución de altos polímeros, degradación del PVC, cinéticas de polimerización, fraccionamiento de polímeros. Además de los de análisis de plásticos comerciales y plastificantes, estabilización térmica y la transformación de plásticos (inyección y extrusión).

A partir de finales de los años 60, la investigación en polímeros se abre a otros laboratorios: CSIC, UCM; Universidad politécnica de Cataluña (UPC), Universidad del País Vasco (UPV/EHU); Universidad de Valencia (UV). La Investigación estaba financiada por las instituciones y/o por empresas, las temáticas son más abiertas y en consonancia con otros laboratorios internacionales. El

siguiente listado agrupa los temas generales de investigación:

- Polímeros sintéticos, comerciales y alto valor añadido: acrílicos, PVC, PAC, poliolefinas, poliésteres y poliamidas y polímeros naturales.
- Mecanismos de polimerización: polimerización radical, polimerización aniónica y de condensación.
- Procesos de polimerización: emulsión y reactores.
- Relación estructura / propiedades: Estabilidad química y fotoquímica, cristalización del PE, transiciones vítreas, modelización, reología, y dinámica molecular.
- Propiedades en disolución:
 - Tamaño de macromoléculas, conformación de macromoléculas.
 - Caracterización de polímeros.
- Procesos de transformación.
- Caucho /elastómeros.
- Plásticos en la agricultura.

Tecnología

Al igual que en el resto del mundo, en nuestro país la importancia de los polímeros sintéticos en la industria comienza varios años antes que en los laboratorios académicos, cuando se instalaron las primeras fábricas de plásticos y caucho. En 1925 se crea la Societat Anònima La Seda de Barcelona, para la fabricación de fibras artificiales, especialmente el nylon (rayon); en el País Vasco se implantan una serie de fábricas de plásticos y caucho de las principales multinacionales: Firestone (1932), Michelin (1934), Unquinesa (más tarde denominada Dow-Unquinesa y posteriormente Dow) (1939); Solvay (1949), Compañía Española de Plásticos (CEPLÁSTICA, 1950), REPOSA (1955), FORMICA (1964), para la fabricación de caucho, resinas vinílicas, fenólicas, estireno y otras. Desde entonces se han creado numerosas industrias de producción y transformación de plásticos y se han instalado numerosas multinacionales, llegando a concentrar casi el 50% de la industria química de nuestro país.

En esos años se crearon las primeras asociaciones de la industria del Plástico: Centro Español de Plásticos (CEP) en 1953, en Barcelona; Consorcio Nacional de Industriales del Caucho (COFACO) en 1948 y Asociación Española de Industrias del Plástico (ANAIP) en 1957, en Madrid. Recientemente (2009), se ha creado la Federación Española de Industriales de la Transformación de Caucho y Plásticos (FEITCAP), integrada por las dos asociaciones anteriores.

EVOLUCIÓN DE LOS POLÍMEROS EN ESPAÑA

Si los primeros científicos tuvieron que salir y especializarse fuera (hoy lo siguen haciendo), en la actualidad

la mayoría de los laboratorios de polímeros de nuestro país están integrados en la comunidad internacional y cuentan con un notable porcentaje de investigadores de otros países de Europa y de Latinoamérica, principalmente. Hasta prácticamente los años 80, la investigación estaba financiada por las instituciones y/o por empresas, estaba muy compartimentada y se trabajaba prácticamente en exclusividad en un tema o en un determinado polímero, como sucedía con el resto de la investigación del país.

A partir de 1980-1990 tiene lugar la gran expansión de los polímeros y la creación de nuevos grupos de investigación. Se cubren muchas disciplinas y los grupos están distribuidos en toda la geografía, con dos focos importantes en la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) y la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM). Durante este tiempo se consolidan y crecen muchos grupos de los ya existentes y emergen potentes grupos nuevos.

En el año 1985 se produce un hito importante: la Creación del Programa Nacional de Materiales y la integración de los polímeros dentro de esa comunidad. Los Proyectos son competitivos, los grupos de investigación empiezan a ser más numerosos y los polímeros tienen una tasa de éxito alta. Todavía los proyectos no estaban focalizados. Responden a títulos similares a “Desarrollo de estructuras poliméricas para la obtención de materiales avanzados. Relación estructura, propiedades en conexión con la mejora de prestaciones”. En los años 90 se produce otro hito importante, la irrupción de los Programas Marco de la EU, III, IV, V, VI donde los laboratorios, centros tecnológicos y empresas españolas de polímeros empiezan a participar activamente y a tener retornos muy importantes. Por ejemplo, en los proyectos Network of Excellence (NoEs) (2004-2008) España participa en más de la mitad de las redes de Excelencia financiadas^[6-11] con una financiación de alrededor de 6 millones de euros por proyecto. En la actualidad, los polímeros en España participan en el programa H2020 en el área NMBP con excelentes resultados: España es el segundo país en el Programa NMBP consiguiendo un 14,4% del presupuesto.^[17]

Se puede decir que gracias a la aparición de muchos grupos de investigación, la ciencia de polímeros a nivel nacional cubre prácticamente todo el espectro de la ciencia y tecnología de polímeros. En breve se podrá tener una visión de las principales líneas de investigación que se cultivan en nuestro país, en un número especial de la revista *Polymers*. En ella, se recogerá el estado del arte de la Ciencia y Tecnología de Polímeros en España con aportaciones científicas de destacados investigadores.^[18]

El recuadro de la Figura 3 recoge la denominación de los grupos de investigación de más de 10 investigadores y su ubicación geográfica. Da una idea de la variedad de temas que se cultivan y de su integración en prácticamente todas las comunidades autónomas.^[14]

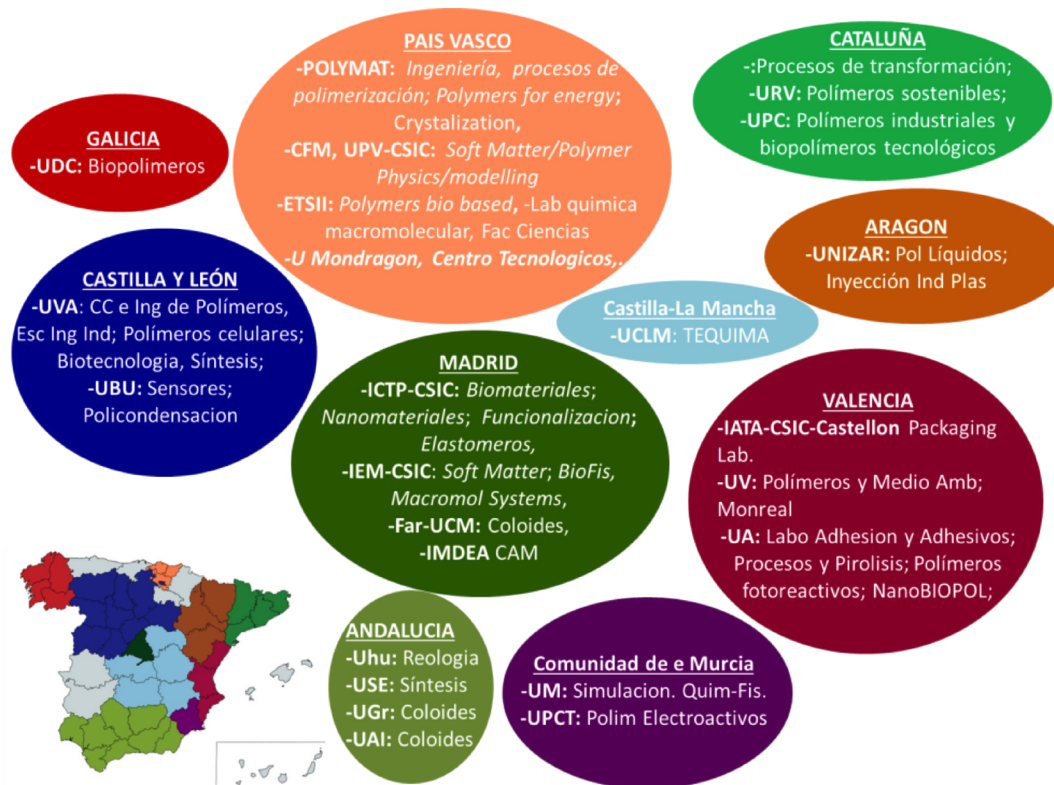


Figura 3. Grupos de investigación de tamaño medio/grande distribuidos a lo largo de la geografía nacional y su denominación o principal área de investigación^[14]

La comunidad científica de polímeros está compuesta por numerosos grupos reconocidos por una temática/actividad específica, repartidos por toda la geografía. Hay más de 30 grupos de investigación con más de 10 investigadores por grupo y además varios de ellos cuentan con un gran número de investigadores (> 25). La Figura 4 solo pretende mostrar que muchos grupos de investigación son de tamaño considerable, que cuentan con muchos jóvenes investigadores y que están distribuidos geográficamente a lo largo del todo territorio nacional, no pretende reflejar a ningún grupo en particular.

Es importante resaltar que aparte de los grupos académicos, hay varios centros tecnológicos específicos de polímeros. Véase el apartado “polímeros en la industria”

Dentro de este contexto general, merece la pena destacar la creación de las asociaciones científicas relacionadas con Polímeros y la activa participación de los laboratorios españoles. El grupo especializado de polímeros (GEP) surge en el año 1989 dentro de la Real Sociedad de Física y de Química (a partir de 1980, RSEQ y RSEF) con el fin de promover los encuentros entre los científicos de polímeros del país. Ese año tiene lugar la 1.ª Reunión Nacional de Materiales Polímeros en Valencia y desde entonces, con carácter bienal (las primeras fueron de carácter anual), se han llevado a cabo ininterrumpidamente las reuniones del GEP. En el año 1992, se organizó junto con otros grupos de Polímeros de Latinoamérica, el 1.º Simposio Latinoamericano de Polímeros en Vigo. El último Congreso Latinoamericano de Polímeros (SLAP)

tuvo lugar en el año 2018 en Mar de Plata (Argentina) y el último Congreso del Grupo de Polímeros (XV GEP) en el año 2018 en Huelva. En octubre de 2020 estaba previsto organizar nuevamente el Congreso Latinoamericano de Polímeros GEP-SLAP 2020 en San Sebastián, pospuesto a mayo de 2021 por efectos del COVID19. Las reuniones del GEP se han llevado a cabo prácticamente a lo largo de toda la geografía nacional y el número de asistentes es de 200 por término medio.

Dentro del GEP merece la pena destacar las reuniones de los jóvenes investigadores de polímeros (JIP), de carácter bienal, iniciadas en el año 2002 con el 1.º Congreso Nacional de jóvenes investigadores en La Manga (Murcia); el premio a la Mejor Tesis Doctoral en Polímeros de carácter anual y, desde este año, la creación del premio “Outstanding Young Researcher in Polymers GEP Award”, también de carácter anual.

La evolución de la ciencia de polímeros en España y la situación que ocupa a nivel nacional e internacional la podemos ver reflejada, en una primera aproximación, por la evolución del número de publicaciones. Los siguientes datos demuestran una rápida progresión:

- Publicaciones en España 1947-1967: 264 publicaciones. En estos 20 años, prácticamente toda la producción científica de polímeros, principalmente en castellano, se produjo en el Departamento de Plásticos del CSIC.^[12] En el período de 1968-1987, el ICTP-CSIC publicó 614. Las publica-



Figura 4. Grupos de investigación de tamaño considerable distribuidos por la geografía nacional

- ciones son principalmente en inglés.^[12] No se dispone de datos cuantitativos de otras instituciones.
- Publicaciones en España 1988-1997: ca 4.000, cifra estimada. La estimación del número de publicaciones se basa en un breve cálculo comparativo de la producción del ICTP-CSIC para este período: 1.150 (12) y una estimación del número de investigadores de otras instituciones respecto a los del ICTP-CSIC.
 - Publicaciones en España 1996-2017: 10.500. Estas cifras se recogen de la base de datos SCIMAGO. No hay datos previos al año 1996.^[19]
 - Número de artículos sobre polímeros en España/año en 2019: 663.^[19]

Merece la pena resaltar que cada 10 años se ha duplicado el número de publicaciones en polímeros y se ha producido un incremento constante en la calidad de las publicaciones.

España ocupa la 4.^a posición en el *ranking* europeo por número de documentos de polímeros.

POLÍMEROS EN LA INDUSTRIA

La industria de producción y transformación de plásticos concentra casi el 50% de la industria química de nuestro país. Existen 2.200 empresas de Transformación de Plásticos con más de 100.000 trabajadores y 350 empresas Fabricantes de Materias Primas Plásticas con 11.000 trabajadores. Esta gran producción de polímeros en España se debe a dos hechos fundamentales: uno, porque muchas de las grandes multinacionales de polímeros están implantadas en el país y, dos, porque España es el primer/segundo fabricante de automóviles en Europa, industria que es gran consumidora de polímeros.

Es importante añadir que la ciencia y tecnología de polímeros cuenta con una red de Centros Tecnológicos



Figura 5. Empresas de polímeros instaladas en España, incluyendo fechas de instalación de las primeras empresas

específicos de polímeros (o mayoritariamente dedicados a ellos) adscritos a distintas comunidades y repartidos por toda la geografía (Figura 5).

RETOS ACTUALES

A nivel de conocimiento la ciencia de polímeros tiene planteados grandes retos de investigación: Por su gran complejidad estructural, todavía no hay una teoría general que prediga el comportamiento de un polímero en función de su estructura. Se necesitan modelos “realistas” que simulen la estructura y las propiedades de una macromolécula y técnicas muy sofisticadas que permitan profundizar en el conocimiento de la estructura de los mismos. Fenómenos como la adhesión, la dinámica molecular, o el comportamiento reológico de incluso los polímeros más sencillos están lejos de poder ser interpretados y constituyen retos importantes. Sin olvidar los procesos sostenibles de producción de polímeros y los temas relacionados con la reparación, el reciclado y la reducción de residuos

La revista *Macromolecules* (ACS) con motivo de su cincuenta aniversario, en el año 2017, planteó diez retos de investigación (en azul, la autora incluye dos líneas de investigación más).^[20]

1. Theory of polymer crystallization.
2. Theory of the glass transition and polymer dynamics. Rheology and viscoelasticity, Modelling.
3. Sustainable routes to commodity polymers.
4. Monomer sequence control.
5. Better membranes for separations (water, gases, ions...).

6. Competitive (cost and performance) sustainable polymers
7. Polymers for personalized medicine.
8. Fundamental understanding of ion-containing polymers
9. Robust polymer systems for plastic electronics.
10. Scale-up and processing to retain/perfect nanostructure.

La revista *Progress in Polymer Science*, con motivo del 100 aniversario del nacimiento de la ciencia de polímeros y coincidiendo con el número 100 de la revista, a lo largo de este año está publicando una serie de *hot topics* sobre polímeros propuestos por renombrados científicos.^[2]

Todos los años se forman alrededor de 50 nuevos doctores en polímeros y se imparten Máster de Especialización en Ciencia y Tecnología de Polímeros, además de otros cursos específicos; sin embargo, a nivel nacional, la docencia universitaria que se imparte sobre la química, química-física, física e ingeniería de las macromoléculas/polímeros, en opinión de la autora, es todavía insuficiente. Un reto nacional sería el fortalecimiento de la formación en polímeros en los departamentos universitarios.

En este apartado merece la pena resaltar la alta demanda de personal formado en polímeros para la incorporación al mundo empresarial.

En el plano industrial, debido a sus características intrínsecas, bajo precio, abundancia, ligereza, fácil fabricación y transformación, capacidad para integrar otros materiales, bajo consumo energético, etc. y del relativo profundo conocimiento que se tiene de ellos, el crecimiento de los polímeros sigue aumentando aproximadamente un 8,4% anual. En el horizonte no parece que haya ningún material que cumpla todas las especificaciones anteriores que le pueda hacer la competencia, por lo que no se prevén cambios de crecimiento importantes que no sean puntuales.

No es difícil imaginar el impacto que la investigación en nuevos materiales va a tener en el próximo futuro en la sociedad actual. Se sabe que toda nueva tecnología (desde el avión de última generación, las plantas potabilizadoras de agua, pasando por el tratamiento de distintas enfermedades) necesita del desarrollo de un conjunto amplio de polímeros (materiales) con propiedades muy específicas. Sin el concurso de dichos materiales estas tecnologías no podrían ser operativas.

No cabe duda de que, precisamente por el gran consumo de plásticos, existe una gran acumulación de los mismos que daña nuestro planeta, por lo que hay que pensar y actuar rápidamente sobre el uso racional de los mismos y su reciclado.

CONCLUSIÓN

La Ciencia de Polímeros ha experimentado un auge espectacular desde su inicio hace 100 años. Es una ciencia interdisciplinar que se nutre de la química, la física y la ingeniería, como pilares fundamentales y en la que, cada vez más, está involucrada la medicina y la biología, que le obligan a estar en continuo progreso.

Hoy día, los polímeros tienen planteados grandes desafíos científicos y tecnológicos que pueden redundar en beneficio de toda la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

La autora agradece a la Junta de Gobierno del Grupo Especializado de Polímeros la idea de elaborar el presente manuscrito y la confianza depositada en ella para su elaboración. La autora agradece al doctor José Manuel Pereña y al doctor José Miguel García la revisión del mismo.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hermann Staudinger, Über polymerisationen, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* **1920**, *53*, 1073.
- [2] Celebrating 100 years of polymer science, Guy C. Berry, Michael R. Bockstaller, Krzysztof Matyjaszewski, *Progress Polym Sci*, **2020**, *100*, 101193. A lo largo del año 2020, la revista publicará las contribuciones científicas de prestigiosos científicos sobre los aspectos más sobresalientes en: síntesis de polímeros, avances en la arquitectura macromolecular y en las propiedades de los polímeros, autoensamblado, física de polímeros, materiales híbridos, biopolímeros, polímeros para la energía, polímeros para la electrónica, procesado de polímeros y sostenibilidad y medio ambiente.
<https://www.journals.elsevier.com/progress-in-polymer-science>
- [3] i) The Year of Polymers – 100 Years of macromolecular Chemistry; Ulrich S. Schubert and Stefan Zechel; *Macromol Rapid Commun* **2020**, *41*, 1900620; ii) The Year of Polymers – 100 Years of macromolecular Chemistry; Ulrich S. Schubert and Stefan Zechel; *Macromolecular Chemistry and Physics* **2020**, *221*, Issue 1; iii) Gy. Bánhegyi, *Express Polymer Letters* **2020**, *14*(9), 793.
- [4] 100 Years Macromolecular Chemistry Conference; Organizado por la Division of Macromolecular Chemistry of the Gesellschaft Deutscher Chemiker (GDCh, German Chemical Society), Friburgo, Alemania; 27-29 de septiembre de 2020, postpuesta para 12-15 de septiembre de 2021.
https://veranstaltungen.gdch.de/tms/frontend/index.cfm?l=9162&sp_id=2
- [5] ACS Spring 2020 National Meeting & Exposition. Macromolecular Chemistry: The Second Century. Philadelphia, PA, USA, March 22-26, 2020, cancelada, transformada en formato online.
- [6] “International Online Conference on Macromolecules”. Celebrating 100 years of “Polymer Science, Since Prof. Herman Staudinger’s Pioneering Macromolecular Hypothesis”; *13th-15th November 2020* postponed to September 12-14, 2021.
- [7] Cien años de “Química mugrienta”, por Juan José Iruin, el Blog del Búho, 28-2-2020.
- [8] H. Staudinger, *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft (A and B Series)* **1920**, *53*, 1073.
- [9] Otros premios Nobel en química: Robert H. Grubbs, Richard R. Schrock, Yves Chauvin, metátesis olefínica, año 2005; John B. Fenn, Kōichi Tanaka, y Kurt Wüthrich, desarrollo de métodos de identificación y análisis de estructura de macromoléculas biológicas, año 2002.
- [10] *Polymer pioneers, a popular history of science and technology of large molecules*, J. Morris (ed.), 1990.
- [11] Production, use, and fate of all plastic ever made; R. Geyer, J. Jambeck, K. L. Law, *Science Advances* **2017**, *3*, e1700782.
- [12] *50 años del ICTP-CSIC (1947-1997)*, J. L. Mateo, C. Mijangos y J. M. Pereña (eds.), ICTP-CSIC, 1997.
- [13] “60 años polímeros ICTP-CSIC (1947-2007)”, documento electrónico gráfico editado por Paula Bosch, ICTP-CSIC, 2007.
- [14] “70 años de Polímeros en nuestro país. Retos en la Academia y en la Industria”, Carmen Mijangos, conferencia inaugural, XV Congreso de Polímeros, Huelva, septiembre de 2018.
- [15] “La edad de los Polímeros. Un mundo de Plástico”, Lección inaugural del Curso Académico 2014-2015, Burgos 2014, impartida por el Prof José Miguel García Pérez.
- [16] “Una visión histórica y algunos problemas actuales de la química física de las macromoléculas”. Discurso del Ilmo. Sr. D. José García de la Torre, leído en la Sesión Solemne de apertura de Curso, Academia de Ciencias de la región de Murcia, 19 de febrero de 2010.
- [17] Datos suministrados por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), septiembre de 2018.
- [18] https://www.mdpi.com/journal/polymers/special_issues/ESP
- [19] SCIMAGSO, <https://www.scimagojr.com/>
- [20] Celebrating 50 Years of Macromolecules; Timothy Lodge (ed.) *Macromolecules* **2017**, 9525-27.

Fotointerruptores moleculares basados en dobles enlaces para el control de la actividad catalítica

Ruth Dorel

Resumen: La incorporación de fotointerruptores moleculares en la estructura de un catalizador ofrece inmensas oportunidades para el control no invasivo de su actividad catalítica así como de su selectividad. En este contexto, la fotoisomerización *E-Z* de dobles enlaces se ha convertido en una de las herramientas más populares, principalmente debido a su naturaleza reversible y a los grandes cambios geométricos que trae consigo. Este artículo resume los avances más importantes descritos en los últimos años en lo que respecta a la incorporación de dobles enlaces fotoisomerizables en la estructura de diversos catalizadores.

Palabras clave: fotointerruptores, catálisis, luz, dobles enlaces, isomerización.

Abstract: The incorporation of photoswitches into the structure of molecular catalysts offers great potential for non-invasive control of both their activity and selectivity. Within this context, the *E-Z* photoisomerization of double bonds is one of the most popular tools to control the catalytic activity, essentially due to its reversible nature and the large concomitant geometrical changes. This article summarizes the key developments in photoswitchable catalysis accomplished over the past years through the use of photoswitchable double bonds.

Keywords: photoswitches, catalysis, light, double bonds, isomerization.

INTRODUCCIÓN

El campo de la catálisis molecular ha experimentado en el último siglo un crecimiento espectacular, hasta el punto de que resulta prácticamente imposible imaginar cómo se llevarían a cabo en su ausencia la mayor parte de los procesos químicos industriales que hoy en día conocemos.^[1] Una de las principales fuentes de inspiración para el diseño de nuevos catalizadores sintéticos ha sido para muchos la naturaleza y, en concreto, las reacciones catalizadas por enzimas.^[2] Han sido varias generaciones de científicos las que han contribuido al diseño y mejora de miles de catalizadores, los cuales han permitido el desarrollo de transformaciones químicas antes inimaginables que transcurren de forma eficiente y con excelentes niveles de selectividad.^[3] Sin embargo, mientras que la actividad catalítica de las enzimas presentes en organis-

mos vivos se regula eficazmente mediante efectos alostéricos y bucles de retroalimentación,^[4] los catalizadores diseñados por el hombre son, por lo general, extremadamente sensibles a sutiles modificaciones estructurales o variaciones de las condiciones de reacción. Por consiguiente, a menudo no resulta evidente regular de manera sencilla su actividad catalítica, ni siquiera transferir el mismo catalizador a un contexto químico distinto.

La alteración de la actividad o selectividad de un catalizador requiere con frecuencia un rediseño estructural. Sin embargo, modificar estructuralmente un catalizador resulta en una gran parte de los casos tedioso, desde el punto de vista sintético, y costoso, desde el punto de vista económico. Por ello, la idea de modular su actividad catalítica meramente como respuesta a un estímulo externo y sin necesidad de ningún esfuerzo sintético adicional es, sin duda, un concepto atractivo y con gran potencial. Una manera de abordar este problema sería explotar elementos de flexibilidad conformacional del catalizador de manera análoga a cómo se regula la actividad catalítica de las enzimas. En definitiva, diseñar catalizadores que, mediante la acción de un estímulo externo, alteren significativamente su geometría de forma reversible para dar especies con distinta actividad catalítica. Éste es un concepto muy bien establecido en biomoléculas, pero la forma de trasladarlo a catalizadores moleculares artificiales (en contraposición a los existentes en la naturaleza) es una tarea compleja y requiere del uso de las denominadas *máquinas moleculares artificiales*.^[5]



R. Dorel

University of Groningen
Stratingh Institute for Chemistry
Nijenborgh 4, 9747AG Groningen (The Netherlands)
C-e: r.dorel@rug.nl

Recibido: 02/07/2020. Aceptado: 21/10/2020.

El campo de las máquinas moleculares artificiales fue reconocido con el premio Nobel en Química en 2016, otorgado conjuntamente a Sir Fraser J. Stoddart, Jean-Pierre Sauvage, y Ben L. Feringa.^[6] El progreso en dicho campo ha traído consigo una variedad de ingeniosos diseños orientados a obtener moléculas funcionales que respondan a estímulos externos, entre ellas catalizadores cuya actividad pueda ser modulada a voluntad.^[7] La incorporación de una unidad sensible a estímulos externos en la estructura de un catalizador funcional dará lugar, bajo la acción del estímulo adecuado, a cambios en la selectividad, la velocidad de reacción o, incluso, el tipo de reacción que se cataliza, pudiendo este estímulo tratarse de cambios en pH,^[8] potencial redox,^[9] o iluminación con luz,^[10] entre otros.

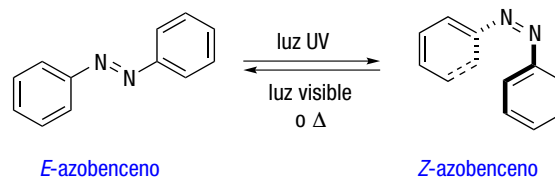
No es sorprendente que el caso particular de la estimulación mediante irradiación con luz suscite un interés especial cuando se trata de controlar la actividad catalítica, dado que esta forma de estimulación es no invasiva e, idealmente, puede tener una alta resolución espacio-temporal. Para tener un catalizador cuya actividad pueda ser modulada por acción de la luz será pues necesaria la incorporación de un fotointerruptor molecular en la estructura de una molécula que sea capaz de actuar como catalizador para cierta transformación química. Además, deberá cumplirse que la especie fotogenerada: 1) tenga distinta actividad catalítica que la especie original, 2) revierta térmica o fotoquímicamente a la especie original, y 3) se forme idealmente de manera cuantitativa.

Aunque son varios los fotointerruptores que se han utilizado con éxito para modular la actividad de distintos catalizadores,^[7] en este artículo se presenta únicamente un resumen de algunos de los avances más relevantes que se han desarrollado a lo largo de los últimos años mediante el uso de dobles enlaces como entidades fotocromáticas,^[11] incluyendo azobencenos (N=N), hidrazonas (C=N), y estilbenos (C=C).

N=N: CATALIZADORES BASADOS EN AZOBENCENO

Los azobencenos son estructuras del tipo Ar=N=N-Ar', donde los grupos Ar y Ar' son anillos derivados de benceno. Una propiedad particular de este tipo de compuestos es la isomerización del doble enlace N=N, la cual se produce de forma reversible al irradiar con luz de la longitud de onda apropiada. El isómero *E*, que es la forma termodinámicamente más estable, dará lugar al isómero *Z* por acción de la luz, el cual puede revertir al isómero *E* térmicamente o mediante irradiación con luz de una longitud de onda distinta (Esquema 1). Esta fotoisomerización va acompañada de un cambio muy notable en geometría, el cual puede ser explotado para controlar la actividad de especies que son activas como catalizadores.

Un ejemplo pionero en el campo data de 1981, año en el que se describió cómo mediante irradiación con luz ultravioleta es posible controlar la velocidad de hidrólisis de ésteres catalizada por la β -ciclodextrina **1** que

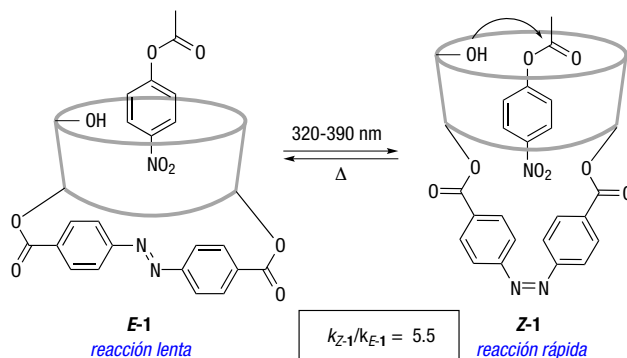


Esquema 1. Fotoisomerización de azobencenos

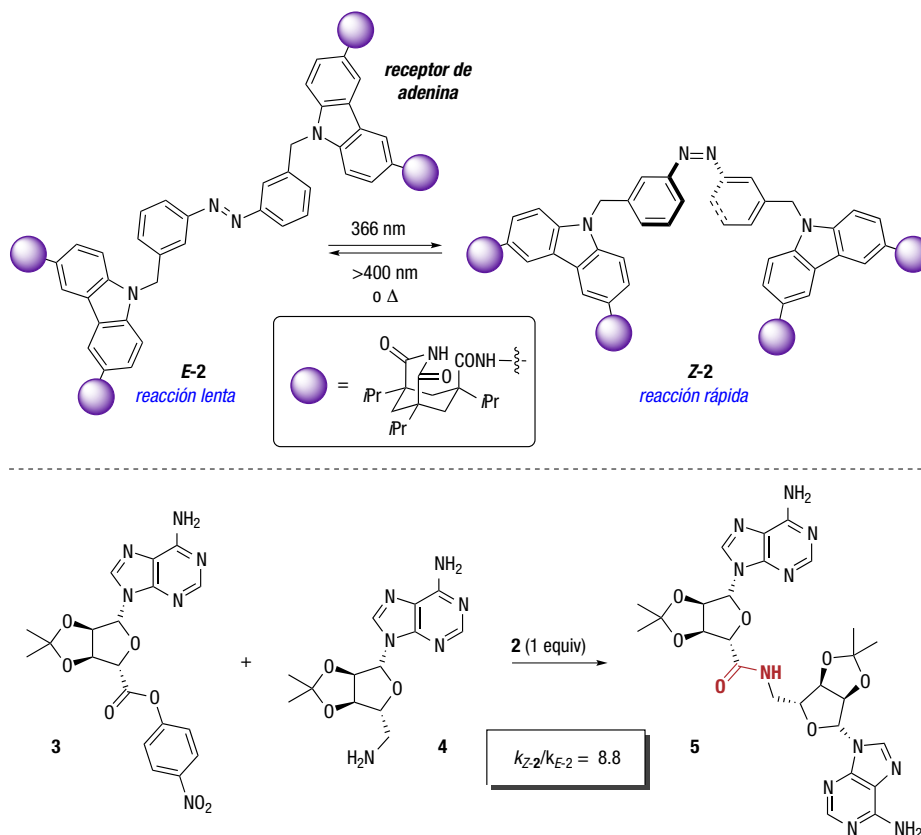
contiene una unidad de azobenceno en su estructura (Esquema 2).^[12] El cambio de geometría del grupo azobenceno en **1** tras ser irradiado lleva consigo una modificación de la profundidad del bolsillo hidrofóbico de la β -ciclodextrina al que se une el sustrato para poder ser hidrolizado. Así, dicho sustrato sólo podrá entrar en la cavidad y por tanto ser hidrolizado cuando el grupo azobenceno se encuentre en configuración *Z*. La evidencia experimental de este fenómeno es un incremento de la velocidad de hidrólisis de hasta 5 veces cuando *E*-**1** se irradia con luz de 365 nm, lo que equivale a tener un 38% de la β -ciclodextrina **1** en su forma *Z*.

En 1995, Würthner y Rebek describieron un original receptor fotoactivable **2**, el cual permite controlar la velocidad de reacción entre los compuestos **3** y **4** mediante la acción de la luz (Esquema 3).^[13] Este sistema está basado estructuralmente en dos receptores de adenina conectados mediante una unidad de azobenceno. Los sustratos **3** y **4** pueden ser pues reconocidos por **2**, dado que ambos contienen una unidad de dicha base nitrogenada en su estructura, pero sólo cuando **2** se encuentre en su forma *Z* estarán **3** y **4** lo suficientemente cerca como para reaccionar formando el enlace amida que da lugar a **5**. Así, el uso de una mezcla 1:1 de *E*-**2** y *Z*-**2**, obtenida tras irradiar *E*-**2** con luz UV, se traduce en un aumento de la velocidad de reacción de casi nueve veces. Desafortunadamente, **5** permanece unido a **2** impidiendo así su regeneración, lo que convierte a **2** en un agente activante fotoactivable más que un catalizador.

El receptor fotoactivable descrito por Würthner y Rebek sirvió posteriormente como fuente de inspiración para el desarrollo de verdaderos catalizadores fo-

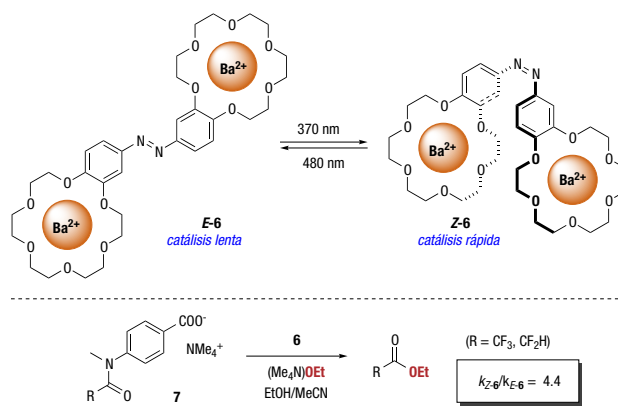


Esquema 2. Fotocontrol de la velocidad de hidrólisis de un éster catalizada por la β -ciclodextrina **1**



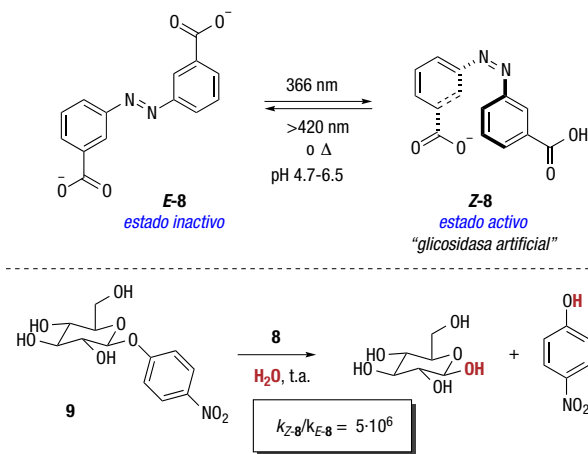
Esquema 3. Fotocontrol de la velocidad de formación de 5 mediada por el receptor 2

toactivables bifuncionales, el primero de los cuales fue descrito en 2003 por Cacciapaglia y colaboradores.^[14] Los autores de este trabajo se inspiraron en el hecho de que los complejos dinucleares de bario con éteres corona catalizan la etanolisis básica de acetanilidas terciarias.^[15] En general, dicho proceso de etanolisis transcurre mediante la activación del grupo carboxilato del sustrato por uno de los centros de bario y la activación del etóxido que actuará como nucleófilo por parte del segundo centro de bario. Es necesario, además, que ambos centros de bario se encuentren lo suficientemente cerca para que el proceso transcurra de forma eficiente, y en esto precisamente se basa el diseño del catalizador fotoactivable **6** (Esquema 4). Este catalizador está constituido por dos éteres corona, cada uno de ellos coordinado a un catión bario y unidos entre sí mediante un grupo azobenceno. La fotoisomerización de dicho grupo azobenceno de su forma *E* a la *Z* lleva consigo que los dos centros de bario queden más próximos en el espacio, y esto da lugar a un proceso de etanolisis de las acetanilidas **7** más eficiente. Cabe destacar que, aunque en este caso sí que se llega a regenerar el catalizador **6**, llegándose a obtener conversión completa para la reacción modelo en presencia de sólo un 20 mol% de dicho catalizador, todavía existe una notable inhibición derivada de la coordinación competitiva del producto.



Esquema 4. Catalizador fotoactivable **6** para la etanolisis de **7**

Más recientemente se ha descrito un sistema que imita en cierto modo la función de una glicosidasa y cuya actividad puede ser regulada por acción de la luz.^[16] El diseño de la glicosidasa artificial **8** se basa en dos ácidos benzoicos unidos por un grupo azobenceno (Esquema 5). En la forma *E-8*, la desprotonación de ambos ácidos carboxílicos tiene lugar al mismo pH, mientras que en la forma *Z-8*, la cual resulta de la irradiación de *E-8*, el proceso de desprotonación tiene lugar por etapas. En

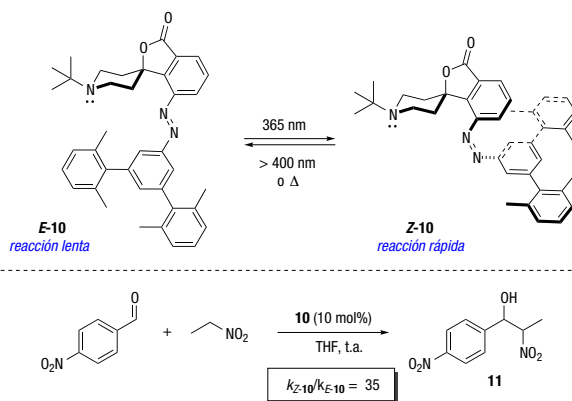


Esquema 5. Glicosidasa artificial fotoactivable 8

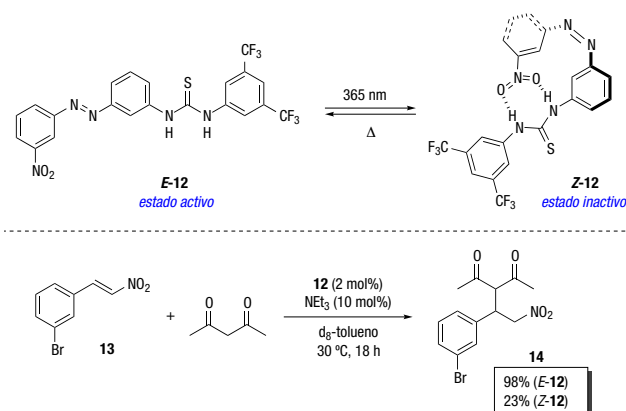
otras palabras, los dos ácidos carboxílicos tienen diferente valor de pKa. Por tanto Z-8 existe como un monoión a valores de pH entre 4.7 y 6.5, y es esta especie la que imita la acción de las glicosidasas. Como resultado, la velocidad de hidrólisis de **9** puede acelerarse hasta seis órdenes de magnitud tras irradiar con luz UV a pH 5.8.

Hecht describió en 2008 cómo la unión de un grupo voluminoso a una base de Brønsted mediante una unidad de azobenceno permite modular la basicidad de una piperidina *N*-alquilada y conformacionalmente restringida (**10**) mediante la acción de la luz (Esquema 6).^[17] El átomo de nitrógeno básico en **10** queda apantallado o expuesto según cuál sea la configuración del grupo azobenceno, lo cual se puede utilizar para controlar la velocidad de reacción de una reacción de Henry entre *p*-nitrobenzaldehído y nitroetano. Más concretamente, la isomerización con luz UV de la forma E-10 a la forma Z-10 se traduce en una diferencia en velocidad de reacción de más de 35 veces.

Otra estrategia para controlar la actividad de un determinado catalizador consiste en la desactivación del mismo mediante interacciones intramoleculares, las cuales podrán ocurrir únicamente cuando los dos grupos que dan lugar a la interacción en cuestión se en-



Esquema 6. Base fotoactivable **10** y su uso como catalizador en una reacción de Henry



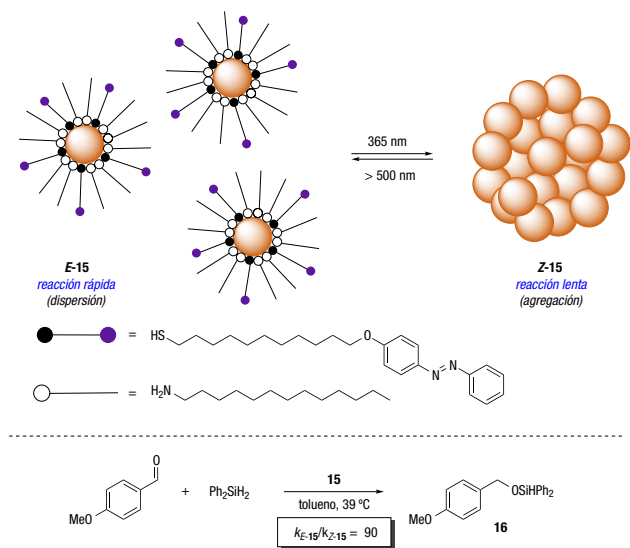
Esquema 7. Desactivación del organocatalizador **12** controlada por la acción de la luz

cuentren suficientemente cerca en el espacio. En base a esta idea, Pericàs desarrolló en 2014 el catalizador **12**, en el cual un grupo tiourea (dador de hidrógeno) y un grupo nitro (aceptor de hidrógeno) están unidos mediante un grupo azobenceno (Esquema 7).^[18] El grupo tiourea en la forma E-12 está alejado del grupo nitro y, por tanto, disponible para catalizar la adición de acetona al derivado de nitroestireno **13**. Por el contrario, el grupo nitro se localiza lo suficientemente cerca del grupo tiourea en Z-12 como para formar con él enlaces de hidrógeno intramoleculares, lo cual impide que dicho grupo tiourea pueda actuar como centro catalítico para reacciones de nitro-Michael, siendo la consecuencia inmediata una notable reducción de la actividad catalítica de **12** tras irradiar con luz UV. Además, los autores de este trabajo demostraron que la inhibición deriva de enlaces de hidrógeno intramoleculares entre los dos grupos y no de un mero bloqueo estérico como en el caso de **10**, ya que cuando sustituyeron el grupo nitro por un grupo metilo, la actividad catalítica de las formas E y Z resultó ser comparable.

La regulación de los niveles de agregación y dispersión de especies catalíticamente activas puede utilizarse también para controlar su actividad, como en el caso de la hidrosililación de *p*-anisaldehído con difenilsilano catalizada por las nanopartículas de oro **15** (Esquema 8).^[19] Estas nanopartículas contienen en su superficie una monocapa mixta de dodecilamina y alcanotioles con una unidad de azobenceno terminal. Las nanopartículas permanecen dispersas en el medio en su forma E-15 pero se agregan tras irradiar con luz UV (Z-15), lo cual se traduce en un dramático descenso de la velocidad de hidrosililación para dar **16**.

C=N: CATALIZADORES BASADOS EN HIDRAZONAS

No son muchas las aplicaciones del grupo hidrazona para el control de la actividad catalítica descritas hasta la fecha, pese a que el uso de dicho grupo funcional como fointerruptor molecular ha ganado en los últimos años una notable popularidad.^[20]

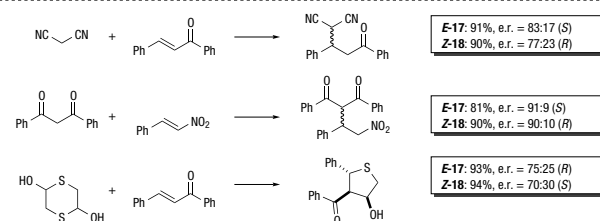
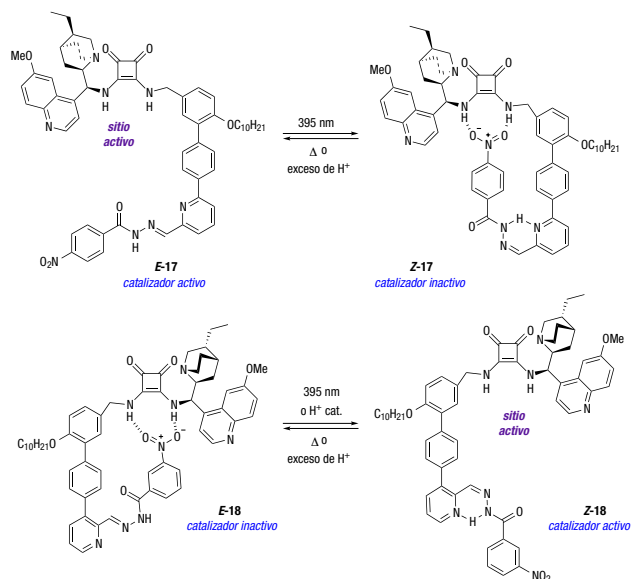


Esquema 8. Agregación de las nanopartículas de oro **15** controlada por acción de la luz

Leigh describió en 2017 un par de organocatalizadores quirales fotoisomerizables **17** y **18** basados en una escuaramida derivada de un alcaloide de tipo cinchona, la cual cataliza adiciones de Michael de forma enantioselectiva (Esquema 9).^[21] Dicho centro activo puede inactivarse de forma reversible mediante la formación de enlaces de hidrógeno con un grupo nitro unido a él mediante un grupo hidrazona de forma similar al catalizador **12** descrito en la sección anterior. En el caso particular de **17**, la irradiación de la forma *E* con luz UV trae consigo la inhibición de su actividad catalítica debido a la proximidad entre los dos grupos, nitro y escuaramida, en la forma *Z* resultante, mientras que en **18** el mismo estímulo aleja estos dos grupos en el espacio convirtiendo por tanto la forma *E-18* inactiva en activa. Las formas *E-17* y *Z-18* dan lugar a la formación de enantiómeros opuestos en diversas adiciones conjugadas con buenos niveles de conversión y estereoselectividad, ejemplos de las cuales son la adición de malonitrilo, tioles enmascarados, o compuestos 1,3-dicarbonílicos a derivados de chalcona y β-nitroestireno. Resulta desafortunado, sin embargo, que estos dos catalizadores complementarios no puedan operar de forma simultánea en el mismo matraz de reacción para poder acceder a uno u otro enantiómero del producto deseado a voluntad. Los resultados obtenidos parecen indicar que la forma activa de uno de ellos interacciona con la inactiva del otro, lo cual tiene como consecuencia su inactivación.

C=C: CATALIZADORES BASADOS EN ESTILBENOS

El estilbeno y sus derivados son una familia de fotointerruptores moleculares ampliamente estudiada.^[22] Tras ser irradiados con luz de la longitud de onda adecuada, estos compuestos sufren isomerizaciones *E-Z* de forma similar a los azobencenos o las hidrazonas. Sin embar-

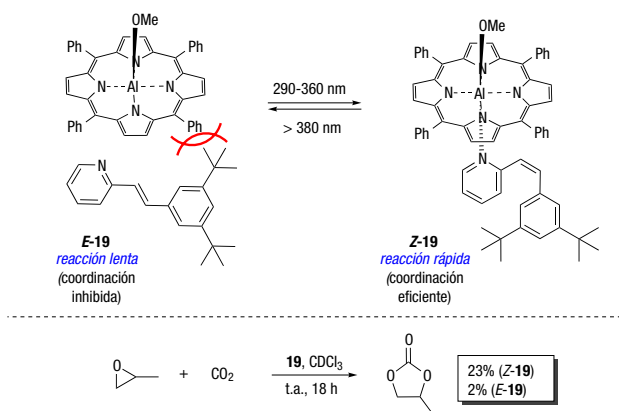


Esquema 9. Un par complementario de organocatalizadores **17** y **18** basados en un fotointerruptor de hidrazona

go, hay una diferencia importante con respecto a éstos, y es que los *Z*-estilbenos pueden, además de revertir a su forma *E* termodinámicamente más estable, sufrir un proceso de electrociclación oxidativa irreversible para dar lugar a derivados de fenantreno. Por tanto, esto será un factor clave a tener en cuenta a la hora de diseñar sistemas funcionales que contengan unidades de estilbeno como fotointerruptores moleculares.

En lo que respecta al uso de estilbenos para controlar la actividad catalítica, Inoue describió en 1999 un ejemplo pionero donde conseguía controlar la fijación de CO₂ por acción de la luz utilizando **19** como catalizador (Esquema 10).^[23] La actividad de este catalizador depende de la coordinación de un grupo piridina al centro de aluminio, la cual acelera notablemente la velocidad de reacción. Si este heterociclo es parte de un 2-estilbazol voluminoso, dicha coordinación sólo podrá ocurrir cuando éste se encuentre en su forma *Z*, la cual es accesible mediante irradiación con luz UV de la forma *E*.

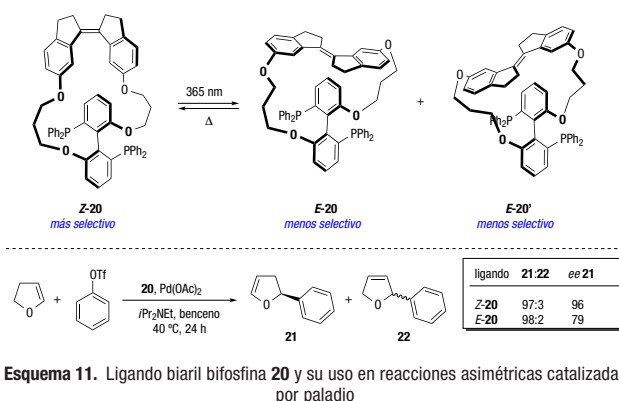
La incorporación de dobles enlaces C=C en la estructura de un catalizador no sólo permite controlar la actividad de dicho catalizador mediante acción de la luz, sino también la estereoselectividad de una determinada transformación química. A modo de ejemplo, el ligando bifosfina quiral **20** que contiene un derivado de estilbeno en su estructura se empleó para alterar la



Esquema 10. Coordinación fotoactivable de estilbazol a una porfirina para formar el catalizador 19

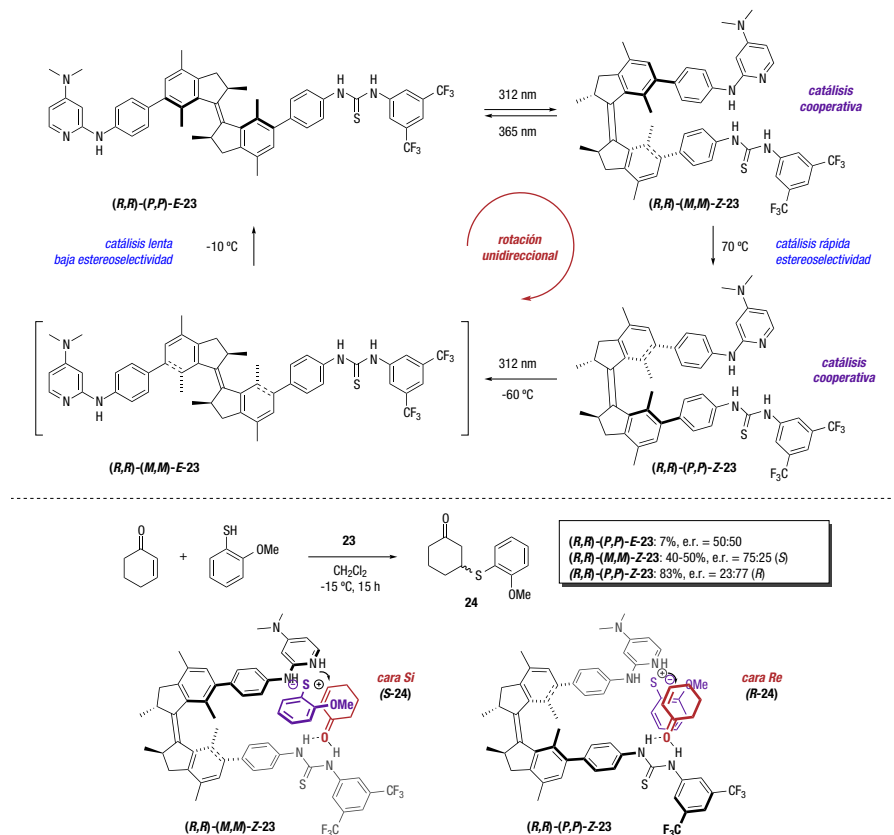
estereoselectividad de varias reacciones catalizadas por paladio (Esquema 11).^[24] La irradiación de **Z-20** con luz UV da lugar a dos diastereoisómeros de **E-20**, los cuales pueden ser separados mediante cromatografía en columna y usados de forma independiente como ligandos en reacciones asimétricas catalizadas por paladio. En todos los casos estudiados, los valores de enantioselectividad obtenidos al utilizar **Z-20** como ligando fueron más altos que los derivados del uso de las formas *E* de dicho ligando, lo cual podría estar asociado con un ángulo de mordida P-Pd-P más favorable en el caso de **Z-20**. Independientemente de la configuración del doble enlace del fragmento de estilbeno, las tres formas de **20** dieron lugar a la formación preferente del mismo enantiómero del producto.

Además de controlar los niveles de estereoselectividad hacia el mismo enantiómero en una determinada reacción, el uso de fotointerruptores moleculares también ofrece oportunidades para controlar qué estereoisómero se forma de manera preferente. Feringa describió en 2011^[25] el primer ejemplo de catálisis estereodivergente controlada por la luz incorporando uno de los así llamados *motores molecular unidireccionales de primera generación*^[26] en la estructura de un catalizador. Este diseño permitió controlar tanto la actividad catalítica como la estereoselectividad de una reacción de adición



conjugada mediante el uso del estímulo externo adecuado. El catalizador **23** está constituido por un grupo tiourea y una unidad de *N,N*-dimetilaminopiridina (DMAP), ambos unidos a un núcleo de motor molecular, los cuales pueden actuar de forma cooperativa para catalizar la adición de tioles a enonas (Esquema 12). A diferencia de la mayoría de fotointerruptores moleculares, que son biestables, los motores moleculares como el que se incluye en la estructura de **23** pueden existir como cuatro isómeros distintos en función del estímulo externo aplicado y en cada uno de ellos la orientación relativa de los grupos tiourea y DMAP será distinta. La irradiación del isómero (*P,P*)-**E-23** con luz UV (312 nm) induce la isomerización *E-Z* del doble enlace C=C del fragmento derivado de estilbeno, o en otras palabras del motor molecular, para dar cuantitativamente el isómero metaestable (*M,M*)-**Z-23**. Este isómero metaestable se convierte en la forma termodinámicamente más estable (*P,P*)-**Z-23** cuando la temperatura se eleva a 70 °C. Por último, una nueva irradiación con luz UV genera el isómero (*M,M*)-**E-23**, el cual rápidamente se convierte en (*P,P*)-**E-23**, el punto inicial del ciclo, a temperaturas superiores a -10 °C. Por consiguiente, en la práctica existen tres isómeros de **23** que son lo suficientemente estables como para ser utilizados como catalizadores: (*P,P*)-*E*, (*M,M*)-*Z* y (*P,P*)-*Z*. En el isómero (*P,P*)-**E-23** los grupos tiourea y DMAP están lo suficientemente alejados como para no poder establecer una acción cooperativa y, como resultado, el producto de adición **24** se obtiene en bajo rendimiento y en forma racémica cuando este isómero se utiliza como catalizador en la reacción entre 2-metoxibencenotiol a ciclohex-1-en-3-ona (7% tras 15 horas de reacción). Por el contrario, en ambos isómeros *Z* los dos grupos se sitúan cerca en el espacio y esto permite que exista catálisis cooperativa, lo que se traduce en una velocidad de formación de **24** mucho mayor. Además, cada una de las formas *Z* cataliza preferentemente la formación de uno de los enantiómeros del producto de adición debido a que presentan una configuración opuesta de su estructura helicoidal. Así, como puede verse en el Esquema 13, la coordinación de los sustratos enona y tiol a la forma (*R,R*)-(*M,M*)-**Z-23** favorece la adición por la cara *Si* de la enona proquiral, lo cual resulta en la formación de **S-24** como especie mayoritaria, mientras que la coordinación de los mismos sustratos al isómero (*R,R*)-(*P,P*)-**Z-23** trae consigo la adición por la cara *Re* y por tanto la formación preferente de **R-24**. Utilizando una estrategia similar, el mismo grupo describió unos años más tarde cómo este tipo de organocatalizadores bifuncionales que responden a la luz se puede emplear también para controlar la estereoselectividad en reacciones de Henry.^[27]

Los motores moleculares de primera generación resultaron ser también una plataforma útil para el diseño de ligandos para catálisis metálica que respondan a estímulos externos. En concreto se diseñó el ligando **25**, que evoca los ligandos de Trost,^[28] donde dos grupos difenilfosfina están unidos al esqueleto del motor mo-

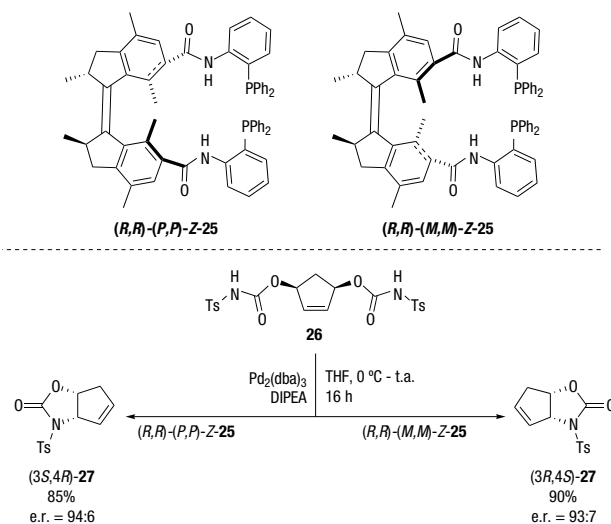


Esquema 12. Control de la estereoselectividad en una reacción de tía-Michael utilizando el motor molecular **23** como catalizador

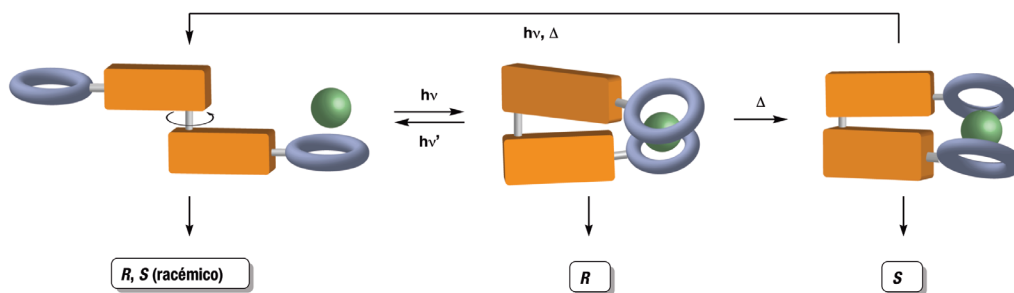
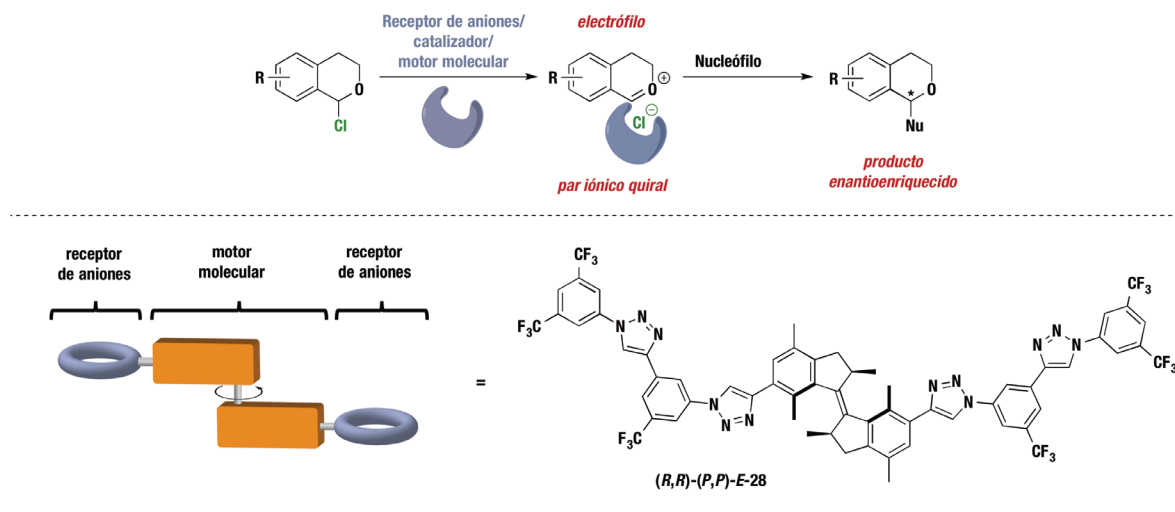
lecular mediante enlaces amida (Esquema 13).^[29] Este ligando, el cual exhibe un ciclo de rotación similar al anteriormente mostrado para **23**, dio buenos resultados en la reacción de desimetrización intramolecular de **26** catalizada por paladio, lo que permitió obtener $(3S,4R)$ -**27** en presencia de (P,P) -**Z-25**, y el enantiómero opuesto, $(3R,4S)$ -**27**, al utilizar el isómero (M,M) -**Z-25** como ligando. No se describió actividad en presencia de las formas *E*.

Más recientemente, el esqueleto de los motores moleculares de primera generación ha servido de plataforma para desarrollar el primer ejemplo de catálisis de enlace de aniones estereodivergente,^[30] utilizando la adición de nucleófilos a derivados de 1-cloroisocromano como reacción modelo.^[31] En estas reacciones, un catalizador capaz de formar enlaces con aniones facilita la ionización de los derivados de 1-cloroisocromano y esto genera un par iónico donde el catión oxonio es ahora susceptible de ser atacado por nucleófilos. En el caso de que el catalizador utilizado sea quiral, este ataque puede transcurrir de forma enantioselectiva (Esquema 14). Así pues, se diseñó un catalizador **28** basado en la estructura de un motor molecular, con un ciclo de rotación similar a los anteriores, al que se enlazaron dos cadenas de oligotriazoles. De manera esquemática, los aniones unidos a las formas *Z* quedan inmersos en estructuras helicoidales quirales de configuración opuesta, mientras que los aniones unidos

a la forma *E* no tienen ningún entorno quiral a su alrededor. El uso de estos sistemas como catalizadores dio lugar a racematos cuando la forma *E* fue la utilizada como catalizador, y a uno u otro enantiómero de forma mayoritaria según la forma *Z* empleada.



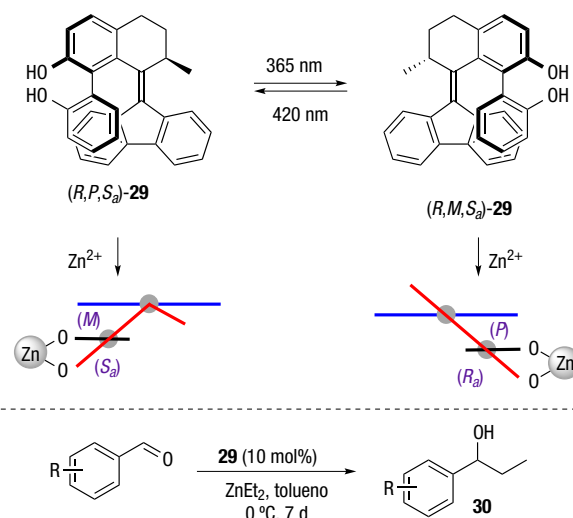
Esquema 13. Desimetrización de **26** catalizada por paladio utilizando el ligando **25** basado en un motor molecular



Esquema 14. Catálisis de enlace de aniones estereodivergente utilizando el motor molecular **28** como catalizador

Los motores moleculares llamados de *segunda generación*,^[32] donde el eje de rotación conecta dos fragmentos no idénticos, también han sido utilizados con el objetivo de modular la actividad catalítica, y el fotointerruptor molecular **29** es un ejemplo de ello (Esquema 15).^[33] Su diseño permite una transferencia de quiralidad tal que la configuración del fragmento biarilo está acoplada al cambio de helicidad del motor molecular. Así, (R,P,S_a) -**29** y (R,M,R_a) -**29** pueden interconvertirse mediante la irradiación con luz de 395 nm y 420 nm, respectivamente, y esto puede usarse para controlar la estereoselectividad de la reacción de adición de dietilzinc a aldehídos aromáticos obteniéndose preferentemente R -**30** en presencia de (R,P,S_a) -**29** (hasta 68% ee) y S -**30** cuando es (R,M,R_a) -**29** el isómero utilizado como catalizador (hasta 55% ee). Más recientemente, y en base al mismo concepto, **29** se ha utilizado para obtener ligandos fosforamidito quirales cuya configuración puede alterarse en función del estímulo externo.^[34]

de posibilidades para controlar la actividad y/o la selectividad de dichos catalizadores de forma no invasiva en respuesta a estímulos externos, más concretamente luz. La mayor parte de los ejemplos descritos hasta la fecha se centran en un control “ON/OFF” de la activi-



Esquema 15. Catalizador **29** basado en un motor molecular de segunda generación y su uso para el control de la estereoselectividad en la adición de $ZnEt_2$ a aldehídos aromáticos

CONCLUSIONES

La incorporación de fotointerruptores moleculares tales como azobencenos, hidrazonas o estilbenos en la estructura de moléculas capaces de actuar como catalizadores de reacciones químicas ofrece un gran abanico

dad catalítica derivado del notable cambio geométrico que tiene lugar cuando el catalizador es irradiado con luz. Más recientemente, el uso de los llamados motores moleculares ha permitido el desarrollo de catalizadores adecuados para llevar a cabo catálisis estereodivergente, lo cual es particularmente atractivo desde el punto de vista de, por ejemplo, la industria farmacéutica. Este concepto permitiría en su forma generalizada obtener el estereoisómero de interés en una determinada reacción química a voluntad utilizando un único isómero del catalizador como punto de partida y aplicando el estímulo externo, luz y/o calor, adecuado. Sin embargo, aunque este concepto se ha demostrado ya para diferentes transformaciones, todavía está lejos de ser general. Además, pese a que la luz ofrece la posibilidad de ejercer un control espaciotemporal muy preciso, todavía no se ha conseguido controlar por completo la actividad de estos catalizadores *in situ*, y la pre-irradiación del catalizador es a menudo necesaria para obtener buenos resultados.

A día de hoy existen todavía una serie de limitaciones que deberán resolverse antes de poder lograr pasar de la prueba de concepto a convertir este campo de investigación en una verdadera herramienta en síntesis orgánica. Sin embargo, los avances aquí descritos junto con el creciente desarrollo de nuevos fotointerruptores moleculares constituyen una base sólida para futuras investigaciones que, idealmente, darán lugar a nuevos catalizadores cuya actividad pueda ser alterada por acción de la luz y que sean más robustos y versátiles que los explorados hasta la fecha. Se espera que la constante evolución del campo de las máquinas moleculares junto con el desarrollo de diferentes metodologías sintéticas culminen en un futuro no muy lejano en el desarrollo de “catalizadores inteligentes” que, en respuesta a estímulos externos, puedan alterar *in situ* su actividad e incluso llevar a cabo secuencias de reacciones más o menos complejas.

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su agradecimiento a la Real Sociedad Española de Química por el Premio Joven Investigador – Modalidad Investigador Postdoctoral 2020.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] a) J. Hagen, *Industrial Catalysis: A Practical Approach*, Wiley-VCH, Weinheim, 2nd edn, 2006; b) H. U. Blaser and E. Schmidt, *Asymmetric Catalysis on Industrial Scale*, Wiley-VCH, Weinheim, 2004.
- [2] a) E. Kuah, S. Toh, J. Yee, Q. Ma, Z. Gao, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 8404; b) J. Meeuwissen, J. N. H. Reek, *Nat. Chem.* **2010**, *2*, 615; c) M. D. Nothling, Z. Xiao, A. Bhaskaran, M. T. Blyth, C. W. Bennett, M. L. Coote, L. A. Connal, *ACS Catal.* **2019**, *9*, 168; d) M. T. Reetz, *Adv. Catal.* **2006**, *49*, 1.
- [3] a) *Catalysis: From Principles to Applications*, ed. M. Beller, A. Renken and R. A. van Santen, Wiley-VCH, Weinheim, 2012; b) J. F. Hartwig, *Organotransition Metal Chemistry: From Bonding to Catalysis*, University Science Books, New York, 2010.
- [4] T. W. Traut, *Allosteric Regulatory Enzymes*, Springer, New York, 2008.
- [5] a) *Molecular Devices and Machines: Concepts and Perspectives for the Nanoworld*, ed. V. Balzani, A. Credi and M. Venturi, Wiley-VCH, Weinheim, 2008; b) W. R. Browne, B. L. Feringa, *Nat. Nanotechnol.* **2006**, *1*, 25; c) *Molecular Switches*, ed. W. R. Browne and B. L. Feringa, Wiley-VCH, Weinheim, 2nd edn, 2011; d) *The Nature of the Mechanical Bond: Form Molecules to Machines*, ed. C. J. Bruns and J. F. Stoddart, Wiley-VCH, 2016; e) S. Erbas-Cakmak, D. A. Leigh, C. T. McTernan, A. L. Nussbaumer, *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 10081; f) A. S. Lubbe, T. van Leeuwen, S. J. Wezenberg, B. L. Feringa, *Tetrahedron* **2017**, *73*, 4837; g) T. van Leeuwen, A. S. Lubbe, P. Štacko, S. J. Wezenberg, B. L. Feringa, *Nat. Rev. Chem.* **2017**, *1*, 0096.
- [6] Premio Nobel en Química 2016 – Información Avanzada. Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 6 de Octubre de 2016. http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2016/advanced.html.
- [7] Para revisiones bibliográficas, ver: a) V. Blanco, D. A. Leigh, V. Marcos, *Chem. Soc. Rev.* **2015**, *44*, 5341; b) M. Vlatković, B. S. L. Collins, B. L. Feringa, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 17080; c) J. Choudhury, *Tetrahedron Lett.* **2018**, *59*, 487; d) J. Choudhury, S. Semwal, *Synlett* **2018**, 141; e) G. Romanazzi, L. Degennaro, P. Mastroilli, R. Luisi, *ACS Catal.* **2017**, *7*, 4100; f) L. van Dijk, M. J. Tilby, R. Szpera, O. A. Smith, H. A. P. Bunce, S. P. Fletcher, *Nat. Rev. Chem.* **2018**, *2*, 0117.
- [8] Para una selección de ejemplos, ver: a) S. L. Balof, S. J. P'Pool, N. J. Berger, E. J. Valente, A. M. Shiller, H.-J. Schanz, *Dalton Trans.* **2008**, 5791; b) V. Blanco, A. Carlone, K. D. Hänni, D. A. Leigh, B. Lewandowski, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2012**, *51*, 5166; c) S. Semwal, J. Choudhury, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2017**, *56*, 5556.
- [9] Para una selección de ejemplos, ver: a) I. M. Lorkovic, R. R. Duff, M. S. Wrighton, *J. Am. Chem. Soc.* **1995**, *117*, 3617; b) C. S. Slone, C. A. Mirkin, G. P. A. Yap, I. A. Guzei, A. L. Rheingold, *J. Am. Chem. Soc.* **1997**, *119*, 10743; c) K. Arumugam, C. D. Varnado, S. Sproules, V. M. Lynch, C. W. Bielawski, *Chem. Eur. J.* **2013**, *19*, 10866; d) J. Wei, P. L. Diaconescu, *Acc. Chem. Res.* **2019**, *52*, 415.
- [10] a) R. S. Stoll, S. Hecht, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 5054; b) B. M. Neilson, C. W. Bielawski, *ACS Catal.* **2013**, *3*, 1874; c) R. Göstl, A. Senf, S. Hecht, *Chem. Soc. Rev.* **2014**, *43*, 1982.
- [11] R. Dorel, B. L. Feringa, *Chem. Commun.* **2019**, 55, 6477.
- [12] A. Ueno, K. Takahashi, T. Osa, *J. Chem. Soc., Chem. Commun.* **1981**, 94.
- [13] F. Würthner, J. Rebek, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* **1995**, *34*, 446.
- [14] R. Cacciapaglia, S. Di Stefano, L. Mandolini, *J. Am. Chem. Soc.* **2003**, *125*, 2224.
- [15] R. Cacciapaglia, S. Di Stefano, E. Kelderman, L. Mandolini, *Angew. Chem., Int. Ed.* **1999**, *38*, 348.
- [16] M. Samanta, V. S. R. Krishna, S. Bandyopadhyay, *Chem. Commun.* **2014**, 50, 10577.
- [17] a) M. V. Peters, R. S. Stoll, A. Kühn, S. Hecht, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2008**, *47*, 5968; b) R. S. Stoll, M. V. Peters, A. Kühn, S.

- Heiles, R. Goddard, M. Bühl, C. M. Thiele, S. Hecht, *J. Am. Chem. Soc.* **2009**, *131*, 357.
- [18] L. Osorio-Planes, C. Rodríguez-Esrich, M. A. Pericàs, *Org. Lett.* **2014**, *16*, 1704.
- [19] Y. Wei, S. Han, J. Kim, S. Soh, B. A. Grzybowski, *J. Am. Chem. Soc.* **2010**, *132*, 11018.
- [20] a) J.-M. Lehn, *Chem. Eur. J.* **2006**, *12*, 5910; b) L. Greb, J.-M. Lehn, *J. Am. Chem. Soc.* **2014**, *136*, 13114; c) L. Greb, A. Eichhöfer, J.-M. Lehn, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2015**, *54*, 14345; d) I. Aprahamian, *Chem. Commun.* **2017**, *53*, 6674.
- [21] G. de Bo, D. A. Leigh, C. R. McTernan, S. Wang, *Chem. Sci.* **2017**, *8*, 7077.
- [22] a) H. Suzuki, *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **1952**, *25*, 145; b) D. H. Waldeck, *Chem. Rev.* **1991**, *91*, 415.
- [23] H. Sugimoto, T. Kimura, S. Inoue, *J. Am. Chem. Soc.* **1999**, *121*, 2325.
- [24] Z. S. Kean, S. Akbulatov, Y. Tian, R. A. Widenhoefer, R. Boulant, S. L. Craig, *Angew. Chem., Int. Ed.* **2014**, *53*, 14508.
- [25] J. Wang, B. L. Feringa, *Science* **2011**, *331*, 1429.
- [26] N. Koumura, R. W. Zijlstra, R. A. van Delden, N. Harada, B. L. Feringa, *Nature* **1999**, *401*, 174.
- [27] a) M. Vlatkovic, L. Bernardi, E. Otten, B. L. Feringa, *Chem. Commun.* **2014**, *50*, 7773; b) M. Vlatkovic, J. Volaric, B. S. L. Collins, L. Bernardi, B. L. Feringa, *Org. Biomol. Chem.* **2017**, *15*, 8285.
- [28] B. M. Trost, D. L. van Vranken, C. A. Bingel, *J. Am. Chem. Soc.* **1992**, *114*, 9327.
- [29] D. Zhao, T. M. Neubauer, B. L. Feringa, *Nat. Commun.* **2015**, *6*, 6652.
- [30] R. Dorel, B. L. Feringa, *Angew. Chem. Int. Ed.* **2020**, *59*, 785.
- [31] S. E. Reisman, A. G. Doyle, E. N. Jacobsen, *J. Am. Chem. Soc.* **2008**, *130*, 7198.
- [32] N. Koumura, E. M. Geertsema, M. B. van Gelder, A. Meetsma, B. L. Feringa, *J. Am. Chem. Soc.* **2002**, *124*, 5037.
- [33] S. F. Pizzolato, P. Štacko, J. C. M. Kistemaker, T. van Leeuwen, E. Otten, B. L. Feringa, *J. Am. Chem. Soc.* **2018**, *140*, 17278.
- [34] S. F. Pizzolato, P. Štacko, J. C. M. Kistemaker, T. van Leeuwen, B. L. Feringa, *Nat. Catal.* **2020**, *3*, 488.

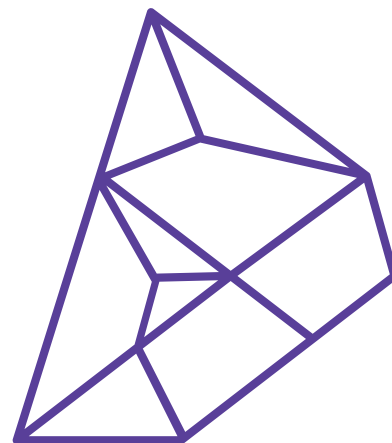
ON LINE!

19-22 DE ENERO

GE3C

XXIX SIMPOSIO DEL GRUPO ESPECIALIZADO
DE CRISTALOGRAFÍA Y CRECIMIENTO CRISTALINO

2021



Aplicaciones del grafeno en sistemas de almacenamiento de energía

Iván Esteve-Adell, Mayte Gil-Agustí, Leire Zubizarreta Saenz de Zaitegui, Alfredo Quijano-López y Marta García-Pellicer

Resumen: La transición energética actual hacia energías renovables, junto con la creciente demanda de dispositivos electrónicos inteligentes, requiere del desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía que posean mayores capacidades y con funcionalidades hechas a medida. El grafeno, gracias a sus extraordinarias propiedades electrónicas y mecánicas, tiene potencial para revolucionar los dispositivos de almacenamiento de energía. En este contexto en la presente revisión, se destacan los principales avances en sistemas de almacenamiento de energía basados en grafeno, resumiendo los beneficios que aporta este material en las baterías de Li-ion y supercondensadores.

Palabras clave: Almacenamiento de energía, baterías, eficiencia energética, grafeno.

Abstract: The increase of renewable energy consumption, together with the growing demand of smart electronic devices, requires the development of energy storage systems with potential to store power over long duration of time and tailor-made functionalities. Graphene, due to its extraordinary electronic and mechanical properties, has the potential to revolutionize energy storage devices. In the present review, the main advances in graphene-based energy storage systems are highlighted, summarizing the benefits that this material brings in Li-ion batteries and supercapacitors.

Keywords: Batteries, energy efficiency, energy storage, graphene.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el almacenamiento energético, es un área de investigación de creciente interés. Esto es debido al agotamiento de los combustibles fósiles, junto con la realidad del calentamiento global, que requiere la búsqueda de fuentes de energía renovables que puedan satisfacer la creciente demanda de energía de una forma más sostenible. Para ello se necesitan sistemas de almacenamiento de energía eficientes que permitan la gestión de la misma en función de la producción y la demanda en cada momento. Por otro lado, el extraordinario aumento de los dispositivos

electrónicos portables junto con los vehículos eléctricos ha provocado un aumento de la demanda de recursos energéticos de gran energía y potencia y con capacidad de deformación.

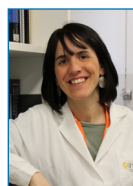
Uno de los dispositivos de almacenamiento de energía más empleados son las baterías de ion litio recargables (LIBs, de sus siglas en inglés; *Lithium Ion Batteries*), debido a la gran cantidad de energía que pueden almacenar por unidad de peso y volumen, pero al mismo tiempo proporcionando los niveles de potencia adecuados requeridos en muchas aplicaciones (Figura 1). Sin embargo, tal y como se muestra en el diagrama de Ragone (Figura 2), las baterías



I. Esteve-Adell¹



M. Gil-Agustí¹



L. Zubizarreta¹



A. Quijano-López^{1,2}



M. García-Pellicer¹

¹ Instituto Tecnológico de la Energía (ITE), Av. Juan de la Cierva, 24, Parque Tecnológico de Valencia, 46980, Paterna, Valencia (Spain)

² ITE, Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n Edificio 6C, 46022, Valencia (Spain)

C-e: ivan.esteve@ite.es

Recibido: 03/07/2020. Aceptado: 03/11/2020.

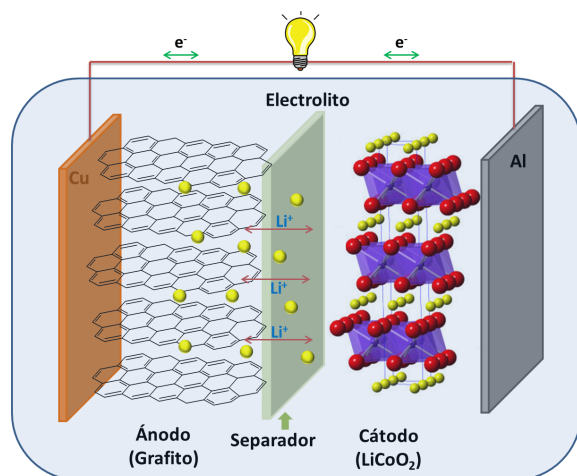


Figura 1. Esquema del funcionamiento básico de una batería de ion-litio

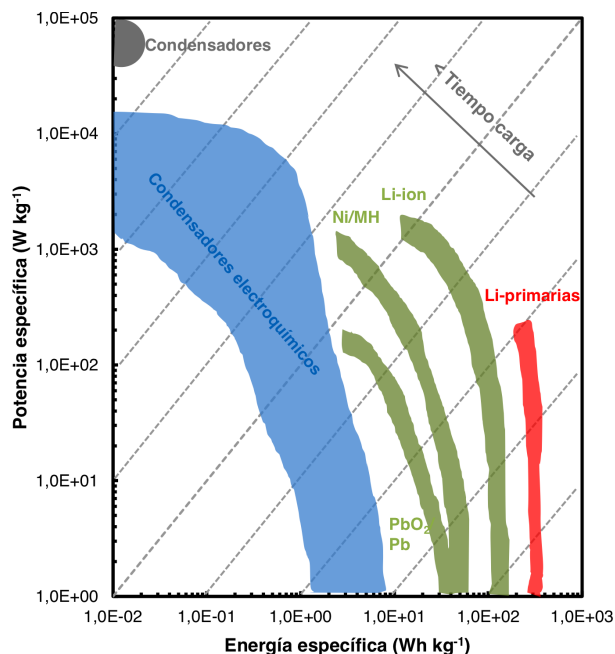


Figura 2. Diagrama de Ragone de diferentes tecnologías de almacenamiento electroquímico

de litio-ion poseen mayor densidad de energía que otras tecnologías maduras tales como las baterías de plomo, Ni-metal hidruro o los supercondensadores pero sufren de una baja densidad de potencia ($<1 \text{ kW kg}^{-1}$). Sin embargo, en el caso de los supercondensadores (SCs, de sus siglas en inglés; *Supercapacitors*) ocurre lo contrario, proporcionan densidades de potencia elevadas ($\sim 10 \text{ kW kg}^{-1}$) pero bajas densidades energéticas ($5\text{-}10 \text{ Wh kg}^{-1}$).^[1,2] Estos dos tipos de dispositivos son complementarios en términos de densidad de energía y densidad de potencia.

Pese a que tanto las LIBs como los SCs han sido ampliamente usados en multitud de dispositivos electrónicos portátiles, vehículos eléctricos o híbridos, entre otros, estos sistemas de almacenamiento de energía todavía presentan importantes retos por resolver:

- Mejora de prestaciones como la densidad de energía y potencia.
- Operación eficiente bajo condiciones medioambientales extremas como bajas temperaturas o grandes altitudes.
- En determinadas aplicaciones disposición de funcionalidades como ser deformables, auto-reparables, auto-recargables, responder a un estímulo o tener memoria de forma.^[3,4,5,6]

La tendencia de desarrollo de la nueva generación de dispositivos de almacenamiento de energía, está enfocada a la incorporación de funciones hechas a medida para proporcionar soluciones y mitigar estos retos.

En este contexto, surge la necesidad de desarrollar nuevos materiales capaces de satisfacer las necesidades

que presentan actualmente este tipo de dispositivos energéticos. El grafeno, como material bidimensional (2D) de espesor atómico, formado por átomos de carbono en un ordenamiento hexagonal, se ha postulado como un candidato a satisfacer estos retos, debido a sus excepcionales propiedades fisicoquímicas.

En esta revisión, se van a resumir los avances más recientes en materiales basados en grafeno para aplicaciones en sistemas de almacenamiento electroquímico de energía. En primer lugar se repasan los desarrollos de la nueva generación de baterías de ion-litio con grafeno, el potencial que presenta este material para la tecnología litio-azufre y los avances en baterías deformables. En segundo lugar, se describen los avances en SCs basados en grafeno. Finalmente se discuten los retos que se presentan para estos dispositivos de almacenamiento de energía basados en grafeno junto con la tendencia futura de desarrollo.

EL GRAFENO EN ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Con el paso de los años, las tecnologías de almacenamiento electroquímico han ido evolucionando. Existen tecnologías más maduras como las baterías ácidas o alcalinas con baja densidad energética y elevada toxicidad, otras muy bien establecidas en la actualidad, pero con potencial para evolucionar a la nueva generación, como son las baterías de litio ion, y otras en fase de desarrollo como la tecnología litio-azufre, ion-sodio o metal-aire. Es precisamente en el desarrollo de la nueva generación de baterías de ion-litio y en las nuevas tecnologías de baterías actualmente en fase de investigación, donde es necesario el empleo de materiales novedosos que aporten mejoras a las tecnologías ya establecidas.

En este sentido, en los últimos años, han aparecido un gran número de publicaciones estudiando las aplicaciones del grafeno en estos dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía. Se han empleado diferentes tipos de grafeno en sistemas electroquímicos de almacenamiento de energía, desde el grafeno prístino, obtenido a partir de exfoliación de grafito, hasta el óxido de grafeno (GO) u óxido de grafeno reducido (rGO), fáciles de exfoliar en un amplio abanico de disolventes (Figura 3).

En los sistemas de almacenamiento de energía, el grafeno puede actuar como material activo o como componente inactivo. Se considera que actúa como material activo cuando forma parte del mecanismo de almacenamiento de energía. Esto puede ser desde acoger iones (como Li^+ o Na^+ en baterías metal-ion), hasta almacenar cargas electrostáticas en el electrodo de doble capa (como en los condensadores de doble capa), o actuando como catalizador en baterías metal-aire. Sin embargo, el grafeno también puede jugar un rol importante en los dispositivos de almacenamiento de energía incluso sin estar activamente involucrado

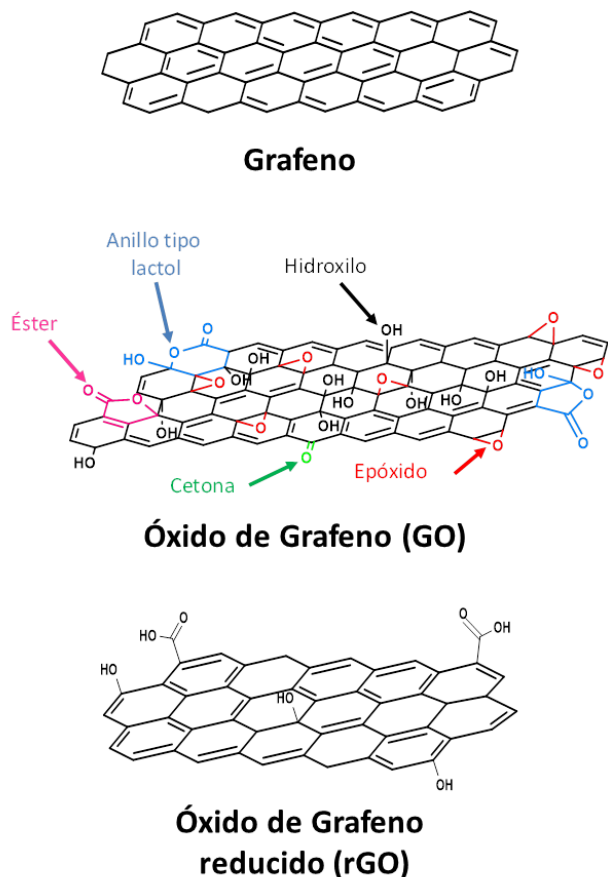


Figura 3. Esquema de la estructura molecular del grafeno, óxido de grafeno y óxido de grafeno reducido

en la reacción electroquímica. Gracias a su elevada conductividad eléctrica, se ha propuesto como agente conductor en electrodos de baterías de metal-ion, así como matriz encapsuladora, por ejemplo, en baterías de litio-azufre. Además, su elevada conductividad térmica puede ser ventajosa para la disipación del calor que se pueda generar en caso de una sobrecarga. Esto por tanto, generará una mejora en la seguridad de los dispositivos.

BATERÍAS BASADAS EN GRAFENO

El grafeno es un material con elevada conductividad, ligero y anticorrosivo, calificándose como una alternativa ideal para la mejora del funcionamiento de las baterías. Además, las baterías tradicionales, generalmente son poco deformables, difíciles de miniaturizar y con falta de respuesta ante estímulos externos. Sin embargo, el grafeno permite la fabricación de baterías novedosas con las funciones mencionadas anteriormente. A continuación se describen resultados de trabajos realizados sobre aplicación del grafeno en diferentes tipos de baterías.

Baterías Li-ion con grafeno

En las baterías de ion-litio, el grafeno puede actuar como material activo en el proceso de intercalado de iones Li^+ . Según algunos estudios teóricos, un ánodo formado por láminas de grafeno de una sola capa, puede intercalar el doble de iones Li^+ comparado con un ánodo de grafito convencional. El almacenamiento de un ion litio en cada una de las caras de una lámina de grafeno da lugar a una estequiometría Li_2C_6 que proporciona una capacidad específica de 744 mAh g^{-1} , siendo el doble de la del grafito (372 mAh g^{-1}).^[7] A diferencia del grafito, donde el litio es intercalado entre láminas apiladas, láminas de grafeno de una sola capa pueden almacenar teóricamente iones Li^+ mediante mecanismos de adsorción sobre la superficie o los nanoporos que existen entre las láminas dispuestas de forma aleatoria.

Uno de los materiales más estudiados en almacenamiento de litio-ion, es el rGO.^[8] Durante la primera inserción de Li^+ , el rGO exhibe unos valores de capacidad muy elevados ($>2.000 \text{ mAh g}^{-1}$), por encima de la capacidad teórica para una lámina de grafeno. Sin embargo, esta elevada capacidad no puede ser totalmente liberada tras la inserción debido a la significativa irreversibilidad de la primera etapa de inserción del Li^+ . Este fenómeno se puede atribuir principalmente a la capa de pasivación que produce el electrolito en torno a las partículas activas, que es conocida con “Interface sólida de electrolito” (SEI, de sus siglas en inglés Solid Electrolyte Interface). Tal y como puede verse en la Figura 4, esta interfaz sólida de electrolito depende del área superficial específica del material. Por tanto, el grafeno, al tener una elevada área superficial específica, en comparación con el grafito, presenta una elevada capacidad irreversible inicial. En los siguientes ciclos de de-inserción, el grafeno sí que muestra una elevada capacidad reversible.

Para la preparación de este tipo de electrodos, se ha empleado en la mayoría de los casos, el grafeno modificado químicamente (como el rGO a partir de la reducción de GO), sin embargo, también se ha reportado el grafeno obtenido por exfoliación en fase líquida (LPE de sus siglas en inglés Liquid Phase Exfoliation) como un material con mucho potencial para producir electrodos para baterías de ion Li.^[9] Hassoun *et al.* reportaron electrodos basados en tintas de grafeno soportadas sobre electrodos de Cu alcanzando capacidades específicas de $1.500 \text{ mA h g}^{-1}$ a un ratio de corriente de 100 mA g^{-1} , y capacidades específicas de 650 mA h g^{-1} a un ratio de corriente de 700 mA g^{-1} durante 150 ciclos, trabajando en configuración de semi-celda. Mediante el balance de la composición de la celda y suprimiendo la capacidad irreversible inicial del ánodo, debida a la descomposición del electrolito en la superficie del electrodo, reportaron un comportamiento óptimo de la batería con una capacidad específica de 165 mA h g^{-1} , una densidad energética estimada de 190 W h kg^{-1} , con más de 80 ciclos de carga y descarga.

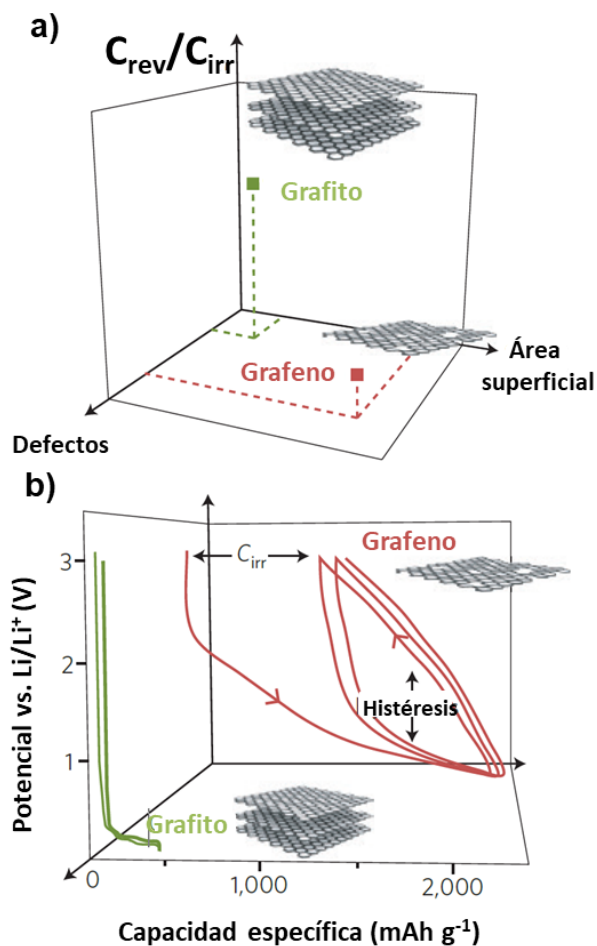


Figura 4. Características del grafeno y grafito en ánodos de baterías de ion litio. (a) Correlación de la cantidad de defectos, área superficial específica y la relación entre la capacidad reversible (C_{rev}) e irreversible (C_{irr}) durante el primer ciclo de carga/descarga. (b) Perfiles de voltaje típicos para el grafito y grafeno durante un corriente constante de inserción de Li^+ /des-inserción^[7]

Pese a los resultados prometedores descritos para el grafeno como material único en la preparación de electrodos para baterías de ion-litio, todavía existen algunos parámetros que deben ser optimizados, como es el desarrollo de estrategias efectivas para prevenir el consumo de iones litio que se produce en el primer ciclo, además de evitar la reagrupación de las láminas de grafeno. Para ello, se propone llevar a cabo una pre-litiación, funcionalización de la superficie de forma controlada o el empleo de composites como estrategias prometedoras para la mejora del funcionamiento de estos sistemas empleando grafeno.

El desarrollo de materiales compuestos o híbridos con grafeno es la solución más empleada para superar las limitaciones en almacenamiento energético y ciclado que muestra el grafeno como único material activo en el desarrollo de ánodos para baterías. La adición de materiales electroactivos, como por ejemplo, nanopar-

tículas metálicas o de óxidos metálicos (SnO_2 , nanopartículas de Si, TiO_2 , Fe_3O_4 o Co_3O_4) ayudan a mejorar los procesos de inserción o reacciones de conversión con el litio, permitiendo aumentar considerablemente las capacidades de almacenamiento y la estabilidad de ciclado de los ánodos.

Durante la preparación de los composites, el grafeno puede actuar como soporte donde hacer crecer los nanomateriales electroactivos, y esto favorece que las láminas de grafeno estén menos afectadas por la aglomeración durante la preparación del electrodo y durante los ciclos. Además, el grafeno gracias a su elevada conductividad eléctrica, mejora la conductividad de los electrodos. Los resultados obtenidos con ánodos compuestos por composites de grafeno, son muy esperanzadores de cara al desarrollo de baterías de ion litio de elevada energía incluso futuras aplicaciones en dispositivos llevables de almacenamiento de energía electroquímicos. Algunos de los materiales compuestos de grafeno para el desarrollo de electrodos negativos en baterías, con resultados prometedores en términos de capacidad reversible descritos en bibliografía, son $\text{Co}_3\text{O}_4/\text{rGO}$ (1.500 mAh g^{-1}),^[10] nanopartículas de Si/rGO (1150 mAh g^{-1}),^[10] rGO co-dopado con N y S (900 mAh).^[11] y SnO_2/rGO (700 mAh g^{-1}).^[12] Sin embargo, la optimización de la disposición estructural y la distribución de la relación de peso entre los componentes del composite son determinantes para conseguir una buena actividad electroquímica y un largo ciclo de vida.

El grafeno también se puede emplear como aditivo conductor en cátodos para baterías. Los ciclos de vida y la capacidad de estos materiales, generalmente están limitados por su baja conductividad eléctrica. En este sentido, el grafeno puede introducir esa conductividad eléctrica necesaria para mejorar el rendimiento de los cátodos.

Kucinskis *et al.*,^[13] revisaron el estado del arte de los materiales catódicos basados en grafeno. En la mayoría de los trabajos reportados, se emplea el GO como material de partida para generar la red de grafeno conductora. Posteriormente, se lleva a cabo una reducción del GO para obtener rGO de forma simultánea con el dióxido de manganeso, precursor de las baterías de ion-litio basadas en óxido de manganeso (LMO, de sus siglas en inglés, Lithium ion manganese oxide battery) para obtener el material compuesto basado en grafeno, en una síntesis en un paso. Este método de síntesis permite la formación de partículas de LMO pequeñas directamente sobre la matriz de rGO, favoreciendo una mejor difusión del litio. Además, se ha reportado que la red tridimensional de rGO es capaz de prevenir la disolución del LMO, aumentando de esta forma la vida útil de las baterías. Así pues, en comparación con los aditivos de carbón convencionales, el rGO ha llegado a observar un aumento de la capacidad de descarga en un 160% (con el mismo ratio de corriente).

Tabla 1. Resumen capacidades descritas para diferentes sistemas en baterías de ion litio^[4]

| Material | Capacidad específica (mAh g ⁻¹) | Densidad de corriente (mA g ⁻¹) |
|---|---|---|
| Cátodos | | |
| LiCoO ₂ comercial | 140 | N/A |
| Sulfuro/GO | 950 | 168 |
| Sulfuro/rGO | 600 | 334 |
| Li ₃ VO ₄ /rGO | 223 | 8.000 |
| LiMn _{0.75} Fe _{0.25} PO ₄ /GO | 107 | 8.500 |
| Ánodos | | |
| Grafito comercial | 372 | N/A |
| Electrodo de rGO | 955 | N/A |
| Electrodo de rGO | 1.200 | 100 |
| Electrodo rGO | 820 | N/A |
| Composite grafeno-PANI | 800 | N/A |
| CMG electrodo | 528 298 | 50 |
| Electrodo rGO | 650 | N/A |
| rGO | 460 tras 100 ciclos. 370 | N/A 1.860 |
| LPE grafeno | 650 | 700 |
| Híbrido GO/TiO ₂ /Super-P | 87 | N/A |
| MoS ₂ /GO, Mo:C ratio molar 1:2 | 1.100 | 1.000 |
| SnO ₂ /rGO | 810 | 50 |
| Co ₃ O ₄ /rGO | 800 | 50 |
| Mn ₃ O ₄ /rGO | 350 | 1.600 |
| Fe ₃ O ₄ /rGO | 500 | 1.750 |
| Si-GO | 1.100 | 8.000 |

Baterías de litio-azufre con grafeno

Las baterías de litio-azufre consisten en la reacción redox entre el litio metálico (ánodo) y el azufre elemental (cátodo). Este sistema puede proporcionar teóricamente una energía específica muy elevada de hasta 2600 Wh kg⁻¹. A pesar de las numerosas ventajas del azufre como son su abundancia, el bajo coste, la baja toxicidad y elevada capacidad específica teórica (1672 mAh g⁻¹), las baterías de litio-azufre tienen algunos inconvenientes que necesitan ser solucionados: (1) una cinética lenta debida a la baja conductividad eléctrica de los productos de la

reacción redox. (2) baja eficiencia energética. (3) pocos ciclos de vida debido a que los productos intermedios de la reacción (polisulfuros) se disuelven en el electrolito y (4) gran variación del volumen durante la reacción electroquímica. El grafeno se ha propuesto como un buen candidato para solucionar estos problemas debido a su elevada conductividad eléctrica y su capacidad de atrapar los productos de carga/descarga.^[15] Algunos estudios han reportado que el GO y el rGO son adecuados para depositar micro- y nanopartículas de azufre.^[15,16] En ambos casos se consigue una buena encapsulación del azufre, y además en el caso del GO, los grupos hidroxilo promueven la inmovilización del azufre y evita su disolución. Empleando un híbrido de grafeno-polímero-azufre se han obtenido buenas capacidades específicas (>1.000 mAh g⁻¹), aunque la capacidad de retención durante ciclos todavía es necesario mejorarla.^[17] Se han descrito diferentes materiales compuestos grafeno-azufre y se han evaluado en baterías de litio-azufre, obteniéndose buenas capacidades, eficiencia Coulombica y estabilidad durante el ciclado.^[18,19,20,21]

A partir de estos resultados, el grafeno puede considerarse como un buen candidato para encapsular azufre en baterías de litio-azufre. Sin embargo, es necesario realizar mejoras en la interface azufre/grafeno para conseguir un comportamiento electroquímico estable.

SUPERCONDENSADORES BASADOS EN GRAFENO

Los supercondensadores (SCs) han atraído una gran atención debido a sus extraordinarias características, como son la elevada densidad de potencia, rápida carga, estabilidad a largo plazo y seguridad. Este sistema consiste en un condensador electroquímico de doble capa (EDLC, de sus siglas en inglés Electrochemical double layer capacitor), formado por dos electrodos, un separador y el electrolito siendo muy similar a una batería (Figura 5). La actividad electroquímica de un SC depende de los materiales que forman parte de los electrodos, donde un electrodo ideal debe poseer una elevada área superficial específica (favoreciendo el intercambio iónico de forma rápida) y una buena conductividad eléctrica (para facilitar el transporte electrónico). Además el material debe ser resistente a la corrosión, tener una estructura controlada, ser estable a elevadas temperaturas y debe ser fácilmente procesado e incorporado en el composite.

La forma de optimizar el rendimiento de los SCs pasa por la maximización de la superficie activa de los electrodos, disminuir el espesor de los electrodos, aumentar la ventana de voltaje de operación y empleando materiales con elevada conductividad eléctrica. Además de la optimización de estos parámetros, uno de los retos más importantes a solucionar para aumentar el rendimiento, es la pobre estabilidad mecánica y térmica de los materiales empleados actualmente como son polímeros conductores u óxidos metálicos.

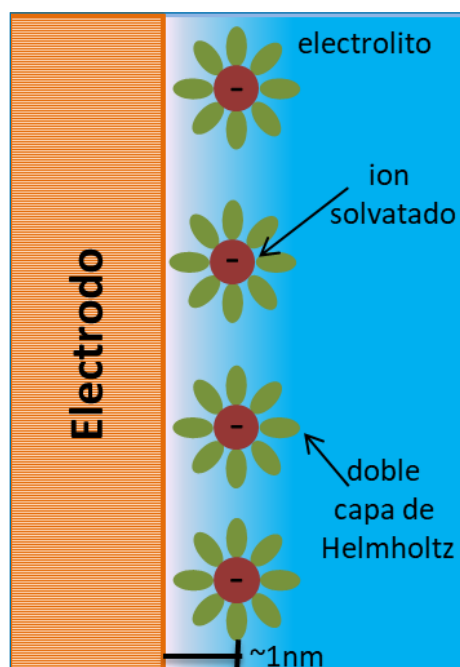


Figura 5. Esquema del almacenamiento de carga en un EDLC, donde la energía se almacena mediante la formación de la doble capa de los iones del electrolito en la superficie del electrodo conductor

Para solucionar estos problemas que presentan estos sistemas, gracias a su elevada área superficial específica y elevada conductividad eléctrica, el grafeno se presenta como una buena opción. Por un lado, empleando capas conductoras finas de materiales híbridos de grafeno con óxidos y dicalcogenuros de metales de transición, se reduce el espesor de los electrodos y aumenta el área superficial. Estos materiales exfoliados son muy finos (la capacidad y el espesor de los electrodos es inversamente proporcional), conductores y con constantes dieléctricas elevadas.

Con el rápido desarrollo de los dispositivos electrónicos miniaturizados, se requieren fuentes de energía de tamaño muy reducido debido a su pequeño tamaño, diseño controlable y buen rendimiento electroquímico. Entre ellos, los supercondensadores de microescala (MSC de sus siglas en inglés Microscale Supercapacitors) han atraído una gran atención.^[22] En contraste con los MSC convencionales, los MSC con respuesta a estímulos externos (SR-MSC) generan electricidad y respuesta a diferentes fenómenos, como la electricidad, la presión, el calor, la luz, el campo magnético, el pH e iones.

Se han desarrollado MSCs basados en grafeno sobre sustratos flexibles empleando técnicas de impresión digital optimizadas. El dispositivo alcanza una capacitancia superior a 0.6 mF/cm² cuando se emplea como electrolito una solución acuosa de Na₂SO₄.^[23] Sin embargo, el uso de electrolitos en fase líquida hace que sea todavía un reto para su integración en chips. Para solucionar esto, Östling *et al.* han desarrollado un MSCs basado en grafeno donde todos los componentes se encuentran en

Tabla 2. Resumen de capacidades de SCs descritas para diferentes sistemas^[4]

| Material | Área superficial específica (m ² g ⁻¹) | Capacidad específica (F g ⁻¹) |
|--|---|---|
| rGO | 705 | 135 y 99 en KOH acuoso y electrolito orgánico |
| rGO | 3.100 | 166 |
| rGO | 3.523 | 231 |
| rGO/líquido poli iónico | N/A | 187 |
| LPE grafeno | N/A | 315 |
| Electrodo híbrido de grafeno/super-P/PTFE | N/A | 100-250 |
| RuO ₂ /grafeno | N/A | 570 |
| Ni(OH) ₂ sobre láminas de grafeno | N/A | 1.335 |

estado sólido. El dispositivo se fabrica mediante impresión digital de grafeno en una configuración interdigitada sobre una oblea de silicio, sirviendo como electrodo y como colector de corriente, seguido de una deposición por gota del electrolito polimérico (polivinil alcohol/H₃PO₄). El dispositivo muestra una capacitancia aceptable de 0.1 mF cm⁻² y más de 1.000 ciclos de vida.^[24]

El grafeno también ha permitido el desarrollo de MSCs transparentes sobre sustratos flexibles obteniéndose una capacitancia de 16 μF cm⁻² para un solo electrodo con una transparencia del 90%, y 99 μF cm⁻² para una transparencia del 71%.^[25] Estos dispositivos transparentes y flexibles presentan buena estabilidad tras ser doblados. El novedoso procedimiento de preparación de estos dispositivos por impresión digital, junto con las buenas propiedades de capacidad mostradas, abren nuevas aplicaciones potenciales de estos dispositivos de almacenamiento de energía desde celdas solares portátiles o sensores incorporados en complementos de vestir.

BATERÍAS Y SUPERCONDENSADORES DEFORMABLES

Las baterías deformables, con la capacidad de ser flexibles, plegables y/o extensibles, son un tipo de baterías inteligentes ideales para dispositivos electrónicos portátiles o llevables. Sin embargo, es difícil que las baterías convencionales se deformen y mantengan el rendimiento electroquímico inicial debido a su estructura rígida. En estos procesos de deformación repetidos, los materiales del electrodo se separan fácilmente de los colectores de corriente metálicos, resultando en un deterioro de la capacidad o incluso un cortocircuito. En este sentido, el grafeno puede funcionar como un colector de corriente no metálico flexible y conductor para anclar firmemente los materiales activos para deshacerse de los problemas

con los métodos convencionales de recubrimiento. Debido a la excelente conductividad, flexibilidad y compresibilidad, el grafeno dota a la batería de una buena capacidad de deformación. Por ejemplo, se ha fabricado una batería de ion litio delgada, ligera y flexible (Figura 6a),^[26] empleando una estructura de grafeno tridimensional como sustrato conductor para incorporar el material del ánodo $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ (LTO) (Figura 6b) y el cátodo LiFePO_4 (LFP).^[27] La batería exhibe una excelente estabilidad de ciclado tanto en el estado plano como el doblado (Figura 6c-e).

Otro tipo de dispositivos con componentes capaces de ser estirados se han reportado para baterías de ion-sodio mostrando buena estabilidad electroquímica y mecánica incluso después de cientos de ciclos de estiramiento (Figura 6f).^[28] Esta batería de ion-sodio consiste en un cátodo con capacidad de ser estirado, compuesto por una esponja de PDMS/rGO/VOPO₄, un ánodo (esponja PDMS/rGO/carbón duro), un electrolito en gel y un sustrato elástico. Tras la optimización del diseño, la batería mantiene una producción de energía constante mientras se estira al 20 y 50% de deformación (Figura 6g-h).

Del mismo modo que para el caso de las baterías, los SC tradicionales son rígidos y por tanto difícilmente pueden adaptarse a la flexibilidad de dispositivos eléctricos portátiles y, como resultado, se han dedicado enormes esfuerzos para investigar SC deformables. Por ejemplo, un SC totalmente sólido, flexible, elástico y en forma de fibra, se diseñó para que pudiese ser tejido para prendas inteligentes.^[29] También se ha reportado un SC altamente compresible usando espuma de polipirrol/Grafeno como el electrodo.^[30] Este SC fue sometido a grandes deformaciones por compresión mostrando una gran durabilidad y manteniendo una alta capacitancia específica sin una variación significativa durante largos períodos de ciclos de compresión y descompresión.

Con estos ejemplos, se pone de manifiesto el potencial de los materiales basados en grafeno para el desarrollo de dispositivos de almacenamiento de energía deformables, siendo actualmente un campo de investigación con gran interés para la comunidad científica y la industria.

OTROS MATERIALES BIDIMENSIONALES PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Además del grafeno y sus materiales derivados, existen otros materiales bidimensionales con gran interés recientemente para su aplicación en dispositivos de almacenamiento de energía. Esto surge de la necesidad de encontrar nuevos materiales que satisfagan los requerimientos de las tecnologías de baterías emergentes (ion-sodio, sodio-aire, etc.). Estos materiales 2D son por ejemplo, los dicalcogenuros de metales de transición (ej MoS_2), el fosforeno y los fosfuros metálicos (p. ej., Li_3P), los carburos/nitruros de metales de transición (MXenes) (ej TiAlC_2) o los materiales análogos al grafeno correspondientes a elementos como el Si, Ge, Sn o B. Estos materiales 2D están siendo

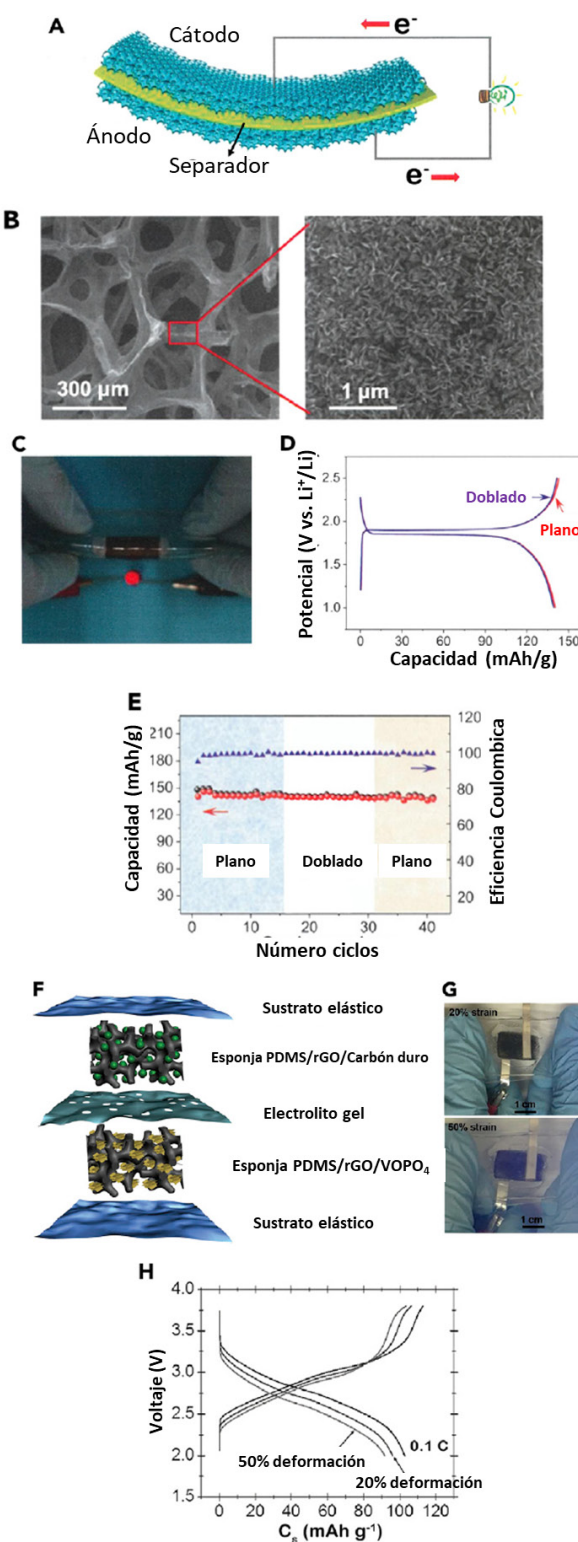


Figura 6. (a) Esquema de una batería flexible (b) Imagen de SEM mostrando la estructura 3D del LTO/G. (c) Batería de LFP/G y LTO/G iluminando un LED rojo incluso siendo doblada. (d) y (e) curvas de carga/descarga y capacidad específica de la batería en plano y doblada. (f) Esquema de una NIB. (g) imágenes mostrando la batería con un estiramiento del 20 y 50%. (h) curvas de carga/descarga de la NIB tanto estirada como sin estirar ($1\text{C}=100\text{mA g}^{-1}$)^[26,28]

de gran interés para su aplicación en almacenamiento de energía debido al eficiente transporte iónico que se produce entre láminas, y gracias a la elevada área superficial disponible en estos materiales, lo cual mejora la adsorción iónica y la rapidez de las reacciones redox que se producen en la superficie. Estos materiales han mostrado buen comportamiento electroquímico en baterías de ion-sodio, acotando la difusión del sodio. Los seleniuros de metales de transición, por ejemplo, proporcionan una elevada conductividad electrónica aumentando la capacidad de carga. En el desarrollo de las tecnologías emergentes de baterías, estos materiales, todavía en fase de desarrollo, van a jugar un papel muy importante, ya que son capaces de satisfacer las necesidades de este tipo de tecnologías para conseguir mayores capacidades. Sin embargo, no se puede decir si un material es mejor o peor, si no, complementarios, y depende de la aplicación concreta que se necesite.

CONCLUSIONES

En esta revisión, se han recogido los principales avances en el empleo del grafeno como material en electrodos de baterías y SCs, así como las posibilidades en el desarrollo de sistemas de almacenamiento de energía que permitan satisfacer las necesidades energéticas que requiere la sociedad actual. El grafeno puede actuar como material activo en electrodos que actúen como ánodos en baterías de ion litio, aumentando la capacidad de inserción de litio y por tanto proporcionando una mejora en la densidad de energía del dispositivo. También se ha empleado como material conductor en baterías de metal-ion, así como matriz encapsuladora, por ejemplo, en baterías de litio-azufre.

Se han desarrollado baterías y SC basados en grafeno con características especiales, como son su capacidad para ser deformados, aptas para dispositivos portables, facilitando la integración y miniaturización de los dispositivos. Se requiere de una mejor optimización estructural y otros diseños para funcionalidades especiales, para que estos dispositivos de almacenamiento de energía inteligentes sean aún más atractivos y prácticos. Un punto de potencial aplicación de estos sistemas es la integración en dispositivos electrónicos utilizados en la vida diaria como fuentes de energía seguras y duraderas.

Los avances descritos hasta el momento con el empleo del grafeno en el sector del almacenamiento energético hacen prever que este material junto con otros materiales, va a participar de una forma importante en la transición energética en la que está inmersa la sociedad actual.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha recibido financiación a través de las ayudas Torres Quevedo (REF: PTQ-17-09497), y esta enmarcado en el Programa Estatal de Promoción del Talento y su Empleabilidad del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades del gobierno de España.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Zhang, F., Zhang, T., Yang, X., Zhang, L., Leng, K., Huang, Y., Chen, Y. *Energy Environ. Sci.* **2013**, 6(5), 1623-1632.
- [2] Zhai, Y., Dou, Y., Zhao, D., Fulvio, P. F., Mayes, R. T., Dai, S. *Adv. Mater.* **2011**, 23(42), 4828-4850.
- [3] Trung, T. Q., Lee, N. E. *Adv. Mater.* **2017**, 29(3), 1603167.
- [4] Xu, Y., Zhao, Y., Ren, J., Zhang, Y., Peng, H. *Angew. Chem.* **2016**, 128(28), 8111-8114.
- [5] Bhandokar, A. J., López, C. S., Vinu Mohan, A. M., Yin, L., Kumar, R., Wang, J. *Sci. Adv.* **2016**, 2(11), 1601465.
- [6] Zhong, J., Meng, J., Yang, Z., Poulin, P., Koratkar, N. *Nano Energy* **2015**, 17, 330-338.
- [7] Raccichini, R., Varzi, A., Passerini, S., Scrosati, B. *Nat. Mater.* **2015**, 14, 271-279.
- [8] Vargas, O. A., Caballero, A., Morales, J. *Nanoscale* **2012**, 4(6), 2083.
- [9] Hassoun, J., Bonaccorso, F., Agostini, M., Angelucci, M., Betti, M. G., Cingolani, R. *Nano Lett.* **2014**, 14, 4901-4906.
- [10] Lee, W. W., Lee, J. M. *J. Mater. Chem. A* **2014**, 2, 15891626.
- [11] Ai, W., Luo, Z., Jiang, J., Zhu, J., Du, Z., Fan, Z., et al. *Adv. Mater.* **2014**, 26(35), 6186-6192.
- [12] Chen, J. S., Lou, X. W. D. *Small* **2013**, 9(11), 1877-1893.
- [13] Kucinskis, G., Bajars, G., Kleperis, J. *J. Power Sources* **2013**, 240, 66-79.
- [14] Ferrari, A.C., Bonaccorso, F., Falco, V., Novoselov, K. S., Roche, S., Boggild, P. et al. *Nanoscale* **2015**, 7(11), 4598.
- [15] Zhu, J., Yang, D., Yin, Z., Yan, Q., Zhang, H. *Small* **2014**, 10, 3480-3498.
- [16] Kin, H., Lim, H.-D., Kim, J., Kang, K. J. *Mater. Chem. A* **2014**, 2, 33-47.
- [17] Xu, C., Xu, B., Gu, Y., Xiong, Z., Sun, J., Zhao, S. *Energy Environ. Sci.* **2013**, 6, 1388-1414.
- [18] Zu, C., Manthiram, A. *Adv. Energy Mater.* **2013**, 3, 1008-1012.
- [19] Zhao, M. Q., Zhang, Q., Huang, J.-Q., Tian, G.-L., Nie, J.-Q., Peng, H.-J., Wei, F. *Nat. Commun.* **2014**, 5, 3410.
- [20] Lu, S., Chen, Y., Wu, X., Wang, Z., Li, Y. *Sci. Rep.* **2014**, 4, 4629.
- [21] Yin, Y. X., Xin, S., Guo, Y.G., Wan, L. J. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 52, 13186-13200.
- [22] Gao, W., Singh, N., Song, L., Liu, Z., Reddy, A. L. M., Ci, L., Ajayan, P. M. *Nat. Nanotechnol.* **2011**, 6, 496-500.
- [23] Li, J., Ye, F., Vaziri, S., Muhammed, M., Lemme, M. C. *Adv. Mater.* **2013**, 25, 3985.
- [24] Li, J., Mishukova, V., Ostling, M. *Appl. Phys. Lett.* **2016**, 109, 123901.
- [25] Delekta, S. S., Smith, A. D., Li, J., Ostling, M. *Nanoscale* **2017**, 9, 6998.
- [26] Li, N., Chen, Z., Ren, W., Li, F., Cheng, H. M. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* **2012**, 109, 17360-17365.
- [27] Chen, Z., Ren, W., Gao, L., Liu, B., Pei, S., Cheng, H. M. *Nat. Mater.* **2011**, 10, 424.
- [28] Li, H., Ding, Y., Ha, H., Shi, Y., Peng, L., Zhang, X., Yu, G. *Adv. Mater.* **2017**, 29, 1700898.
- [29] Meng, Y., Zhao, Y., Hu, C., Cheng, H., Hu, Y., Zhang, Z., Qu, L. *Adv. Mater.*, 25, 2326-2331.
- [30] Zhao, Y., Liu, J., Hu, Y., Cheng, H., Hu, C., Jiang, C., Qu, L. *Adv. Mater.* **2013**, 25, 591-595.

La presencia de la Química en los billetes bancarios

Óscar Rodríguez Montoro

Resumen: La presencia de la Química en todo lo relacionado con la impresión de papel moneda, es muy significativa. Desde los pigmentos utilizados, tintas magnéticas de seguridad impresa, falsificaciones, microorganismos,... hasta las ilustraciones y los grandes científicos retratados. En el presente trabajo se hace una recopilación de todas ellas a la vez.

Palabras clave: historia de la Química, billetes, seguridad impresa, tintas, falsificaciones.

Abstract: The presence of Chemistry in everything related to the printing of paper money is very significant. From the pigments used, magnetic inks as security marks, counterfeits, microorganisms... to illustrations and the great scientists portrayed. In the present work a compilation of all of them is made at the same time in the same manuscript.

Keywords: history of Chemistry, banknotes, security printing, inks, counterfeits.

INTRODUCCIÓN

Los billetes, esas pequeñas piezas de papel moneda que nos acompañan doblados en nuestros bolsillos y carteras, normalmente de manera efímera. Compañeros de viaje que dejamos olvidados en abrigo y que al año siguiente, al reencontrarnos con ellos accidentalmente, nos arrancan una sonrisa. Trozos de papel de todos los colores, capaces de hablar en todos los idiomas del mundo y que guardan cada uno, una pequeña historia dentro. Piezas de coleccionista que en secreto son pequeños laboratorios en sí mismo, guardando clases magistrales de Química, Biología, Física, Arte, Historia de la Ciencia, etc.

En el presente manuscrito se hará una recopilación de los detalles más característicos de los billetes en los que está presente la Química; centrándonos, posteriormente, en detalles impresos en los billetes mundiales, en relación con grandes científicos que han protagonizado estas pequeñas obras de arte.



Ó. Rodríguez
Montoro

Dpto. Química-Física.
Universidad Complutense de Madrid
Avda. Complutense s/n. 28040. Madrid. España
C-e: ormontoro@ucm.es

Recibido: 13/08/2020. Aceptado: 05/10/2020.

¡TENGO VIDA!

Los billetes por tener, tienen literalmente vida propia, tal y como el artista estadounidense Ken Rinaldo expuso recientemente su obra *Borderless Bacteria/Colonialist Cash* en el Laboratorio de Arte de Berlín.^[1] En dicha exposición se mostró la vida que existe sobre los trozos de papel moneda que se manejan a diario. Las obras consisten en placas petri con agar, para solidificar el medio, y en su interior los billetes como superficie de cultivo (véase Figura 1). Hasta 3.000 tipos de microbios puede llegar a albergar un billete, la mayoría de ellos provenientes de la piel, la boca y la vagina humanas.^[2]



Figura 1. Billetes cultivados con agar en placas transparentes durante varios días, repletos de colonias de bacterianas y hongos (Exposición *Borderless Bacteria/Colonialist Cash* en el Laboratorio de Arte de Berlín)^[1]

¡ENSÉÑAME LA PASTA!

Esta proliferación de vida se debe a la propia composición orgánica de la base de los billetes,^[3] que están hechos generalmente de papel de algodón. Generalmente, el algodón es usado en su forma transgénica, mezclándose con lino u otro tipo de fibras para aumentar su vida útil.

En China en el año 118 a.C., durante la dinastía Han, aparecieron los primeros pagarés hechos de pieles curtidoras de los gamos sagrados que moraban en el Palacio Real. Pero los primeros billetes con base de papel, que también tienen sus orígenes en China, no aparecieron hasta la Dinastía Tang (618-907 d.C.). Comenzando a ser usados en los recibos de depósitos de los comerciantes, para evitar desplazar gran cantidad de monedas de cobre en sus viajes y grandes transacciones comerciales.

Los primeros billetes (véase Figura 2) estaban fabricados en papel elaborado a partir de la corteza de la morera del papel o mora turca (*Broussonetia papyrifera*). Curiosamente, esta planta en francés recibe el nombre de *le mûrier d'Espagne*.

El uso de las pastas de papel para la elaboración del dinero fue evolucionando con la sociedad.^[5] Actualmente están hechos de mezcla de fibras naturales, como lino y algodón, por lo que estrictamente no están elaborados de pasta de papel, sino de tela. Para los billetes de euro, la Unión Europea permite el uso de algodón transgénico,^[6] conllevando un descenso de uso de plaguicidas a nivel mundial (pero supone un daño económico, ya que todo este material es importado, al no permitirse la plantación de algodón transgénico en la Unión Europea...).



Figura 2. Billete "Yi Guan" de la dinastía Ming (1368-1644 d.C.) descubierto en el año 2016 en el interior de una escultura de madera de un Luohan (individuo que ha alcanzado el Nirvana)^[4]

Actualmente, la tendencia es abandonar el uso de la pasta de papel y recurrir a polímeros para rebajar los costes de producción y el impacto medioambiental, o recurrir a la combinación de ambas materias primas. Costa Rica y Haití en 1983, emitieron los primeros billetes de plástico de fibras de polietileno, material comercializado como Tyvek™ y desarrollados por DuPont Corporation.^[7] Estas piezas dejaron de utilizarse porque eran resbaladizas y su tinta se desvanecía. Pero en 1988, después de años de investigación científica, Australia^[3] produjo el primer billete de polímero hecho de polipropileno (plástico) biaxialmente orientado y, en 1996 se convirtió en el primer país en reemplazar completamente sus billetes de papel. Posteriormente, muchos países, entre ellos los hispanoamericanos Brasil, Chile, Guatemala, República Dominicana, México y Paraguay, adoptaron este polímero como base de sus billetes.

¡LLAMEN A SEGURIDAD!

El proceso de elaboración de billetes de banco mediante moldes, en el que se incorporan marcas de agua e hilos de seguridad durante el proceso de formación del papel,^[8] es el más utilizado. La marca de agua se consigue durante el proceso de creación de las láminas de papel, dejando reposar la pasta de papel en planchas sobre diferentes espesores inapreciables, que terminan dejando la filigrana característica. Entre las capas de esta pasta, se suelen incluir hilos con marcas específicas de seguridad (véase Figura 3). Existiendo dos tipos: El primero, un delgado hilo de poliéster recubierto de aluminio con microimpresión que está incrustado en el papel del billete. Y el segundo, un hilo de seguridad de coser simple



Figura 3. Marca de agua (o filigrana), e hilo de seguridad en el billete de 20 euros^[4]

o multicolor hecho de algodón o fibras sintéticas, en su mayoría fluorescentes a la radiación ultravioleta, UV.

Aunque el hilo es la característica de seguridad más utilizada en billetes de todo el mundo, cada día se incorporan nuevos sistemas de seguridad,^[9] que incluyen elementos holográficos, iridiscentes, magnéticos, fluorescentes e incluso *upconversion* (conversión ascendente de fotones), y microimpresión.

Los hologramas (véase Figura 4) que se incorporan a los billetes son etiquetas de seguridad complicadas de falsificar, porque se reproducen a partir de un holograma maestro que requiere equipos costosos y tecnológicamente avanzados.^[9]

Los hologramas e hilos de seguridad, con el avance de la tecnología, han conseguido incorporar la técnica de ventana (Figura 5), haciendo que en estos elementos se incorporen elementos transparentes y que incluso, solo aparezcan en una de las caras del billete. Estas características dificultan en gran medida la falsificación.

También resulta útil la utilización de la marca sobre los billetes de papel,^[5,8] con rotulador especial a base de lugol (yodo molecular I_2 y yoduro de potasio KI en agua destilada). Que consiste en la formación o no, de cadenas de iones I_3^- entre el almidón del papel (véase Figura 5). Al pasar el rotulador por los billetes falsos, fabricados con papel normal que contiene almidón, éstos se “manchan” debido a la reacción de formación del complejo oscuro del triyoduro con las hélices de amilosa. Mientras, que los billetes legales fabricados de algodón transgénico, que poseen amilopectina (en lugar de amilosa) y las moléculas de triyoduro, son incapaces de reaccionar, no produciéndose complejo coloreado.

Las impresoras modernas utilizadas en la impresión de papel moneda permiten que se incorporen nuevas

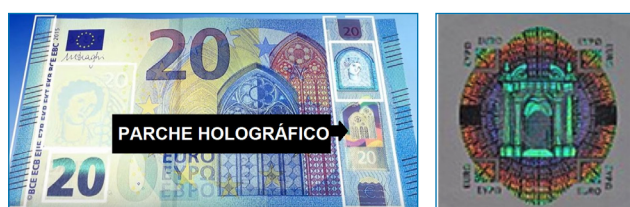


Figura 4. Parches holográficos reflectantes en billetes de 20 euros y 100 euros, respectivamente



Figura 5. Izquierda: Ventana holográfica transparente incorporada en las tiras reflectantes (billete de 20 euros), mostrando el retrato del personaje mitológico Europa, que puede verse en ambos caras del billete. Derecha: Marca realizada con rotulador con base de lugol, sobre papel rico en amilopectina (no deja marca coloreada) y sobre papel normal de amilosa (deja marca oscura)

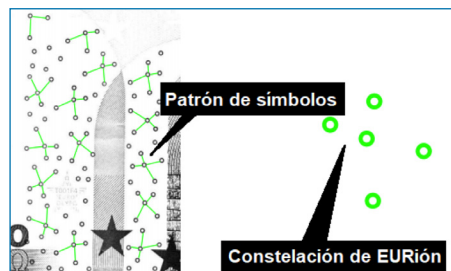


Figura 6. Arriba: marcas en los laterales en relieve reconocibles al tacto y halos de pequeñas dimensiones impresos en los billetes de euro. Abajo: marcas anti-copia: Patrones geométricos incorporados en el papel moneda, para que las impresoras modernas rehúsen realizar su copia al ser detectados

medidas de seguridad (véase Figura 6), como son la impresión en relieve, halos impresos de muy pequeño tamaño ocultos a simple vista y la inclusión de patrones de símbolos anti-copia. Para estos últimos, los billetes de euro incorporan un patrón de símbolos verde amarillentos (representando la constelación de Eurióon) en forma de “donuts”, que al ser escaneados o fotocopiados por impresoras homologadas, reconocen que se trata de un billete y rehúsan a fotocopiarlo.^[10]

En los billetes realizados sobre una base polimérica, se adaptan los elementos de seguridad existentes obteniendo novedosos diseños. En la Figura 7 y en la referencia mostrada para el billete de 100 dólares neozelandés,^[11] al que nos referiremos más adelante por la imagen que aparece en él, se pueden observar estos novedosos diseños.



Figura 7. Billete de 100 dólares neozelandés de base polimérica, que adapta las medidas de seguridad del papel moneda a este material^[11]

LA PALETA DEL PINTOR

Para toda obra maestra, se requiere de una materia prima. Para las pequeñas obras de arte que encarnan los billetes, se necesita de los pigmentos y tinturas. La gran variedad de pigmentos utilizados en la elaboración de los billetes no guardan grandes secretos, respecto a los usados en otras actividades.^[12] En esencia, y a excepción de los pigmentos artificiales creados en tiempos más contemporáneos, no difieren mucho de los utilizados en su momento por Rafael Sanzio (1483-1520)^[13] para pintar por ejemplo, la pintura al fresco de “la Escuela de Atenas” de las estancias del Palacio apostólico del Vaticano. Véase la Figura 8, con el billete conmemorativo de dicha obra, de 500.000 antiguas liras, en la que aparecen los grandes pensadores clásicos y los primeros “científicos” de la historia.

Otro gran genio renacentista que se introdujo en el manejo de las bases de la Alquimia y la Metalurgia durante su aprendizaje en los talleres de su mentor Verrocchio, fue Leonardo da Vinci (1452-1519)^[14]; homenajeado en el billete de 500.000 de las antigua liras, fuera ya de circulación de la Figura 9.

Una clara evidencia de que la receta de los pigmentos utilizados, por ejemplo, en los billetes de euro es bastante común, está en el detalle de las licitaciones que la Casa de Moneda y Timbre^[15] saca para contratar proveedores de cartuchos de tinta de impresora de la marca EpsonTM, algo accesible al público en general.

Las medidas de seguridad también pueden ser incorporadas a través del uso de tintas con características específicas.



Figura 8. Escuela de Atenas. Billete de 500.000 liras italianas (1997)



Figura 9. Leonardo da Vinci. Billete de 50.000 liras italianas (1970)

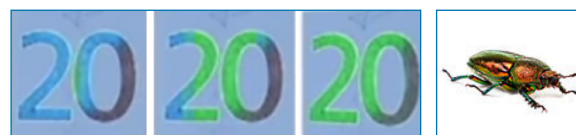


Figura 10. Uso de la tinta iridiscente en los billetes de euro. Fenómeno que hace cambiar de color gradualmente a medida que cambia el ángulo de visión o el ángulo de iluminación. Este fenómeno se da en la naturaleza, entre otros, en el exoesqueleto iridiscente del escarabajo ciervo dorado

Una característica típica de los billetes de euro es el uso de tintas ópticamente variables (*Optically variable ink, OV*) que cambian de color según el ángulo del observador (véase Figura 10) y la incidencia de la luz (iridiscencia o *Pearlescent coating* referido a la tinta).^[16]

Otra posibilidad que ofrecen los pigmentos, es el uso de tintas magnéticas^[17] (véase Figura 11), usadas en los números de serie de los billetes y/o en otras zonas deseadas, que son capaces de ser detectados por máquinas al uso.

El uso de compuestos fluorescentes^[18] bajo la luz ultravioleta (véase Figura 12), es otro recurso muy utilizado como medida de seguridad en los billetes. En los billetes de euros se usan complejos fluorescentes rojos de europio, complejos fluorescentes verdes de terbio y mezclas de ellos para obtener el amarillo-anaranjado.

Recientemente en algunos países, se ha incorporado como medida de seguridad el uso de tintas con nanopartículas de conversión ascendente de fotones (*upconversion*, véase Figura 13) y materiales de lantánidos capaces de emitir luz, por radiación previa de infrarrojo cercano,^[19] para mostrar la autenticidad de los billetes.



Figura 11. Número de serie impreso con tinta magnética, detectable con pequeñas máquinas que manifiestan campos electromagnéticos



Figura 12. Billete de 50 euros bajo radiación ultravioleta, donde se aprecia el rojo, verde y anaranjado, fruto de los complejos de europio, terbio y mezcla de ambos, respectivamente



Figura 13. Billeto de 100 yuan o remimbi, impreso en zonas estratégicas con tintas de conversión ascendente de fotones (*upconversion*), capaces de emitir radiación bajo excitación infrarroja

La utilización de técnicas espectroscópicas para la labor forense de detección de pigmentos falsos o distintos a los utilizados en la impresión del papel moneda son: la técnica Mößbauer para pigmentos ricos en hierro y la fluorescencia de rayos X para conocer la composición atómica;^[20] y la espectroscopia Raman^[21] para el resto de pigmentos, al ser una técnica que no destruye las muestras de los billetes. Pero el fácil acceso a los pigmentos utilizados en los billetes a través de consumibles comerciales de cartuchos de tinta, hace de todas ellas casi más unas técnicas de apoyo para los propios defraudadores, brindando en bandeja las herramientas para conocer composiciones de tintas, que herramientas antifraude.

PODEROSO CABALLERO ES DON DINERO

El escritor Francisco de Quevedo y Villegas (1580-1645), en la poesía “Poderoso caballero es don Dinero” criticó el contexto social de su época por la búsqueda de dinero, con razón. Pero los maravillosos especímenes de billetes que a continuación enumeraremos, repletos de referencias e ilustres científicos, ni el mismo Quevedo se hubiera atrevido a criticarlos.

La aparición de científicos y grandes pensadores en los billetes ha sido utilizada en numerosas ocasiones por diferentes países. En el presente epígrafe nos centraremos en científicos que marcaron hitos en aspectos relacionados con la Química. Se recopilan en tres bloques de billetes: con detalles químicos impresos, con combinaciones de detalles y la imagen de personajes ilustres en el campo de la Química, y billetes con solo figuras de ilustres en relación con logros en Química. Presentándolos todos ellos, por orden cronológico referente a su fecha de emisión. Lamentablemente, los billetes de euro todavía no se han apuntado a tan magnífica iniciativa.

Detalles químicos en billetes

El uso de detalles alegóricos a la Química de forma aislada, no ha sido un recurso muy utilizado en el papel moneda. Pero aun así, se encuentra algún ejemplo, como los mostrados a continuación:



Figura 14. Cristal de hierro. Billeto de 20 francos belgas (1964)

En el billete de 20 francos belgas de 1964 (véase Figura 14), aparece representada la celda unidad del hierro (cúbica centrada en el cuerpo), en clara alusión al monumento “Atomium” situado en el parque de Heysel en Bruselas (Bélgica), formado por una estructura de 102 metros de altura construida para la Exposición de Bruselas de 1958.

La familia de Alfred Nobel, allá por el año 1873, comenzó a involucrarse en el negocio de la explotación del petróleo de Azerbaiyán, (conocido como “la tierra del fuego” debido a sus ricas reservas de petróleo y gas). Los tres hermanos (Ludvig, Robert y Alfred Nobel) fundaron la Compañía Petrolera “Branobel” en 1879. A principios del siglo XX era la segunda empresa petrolera más grande del mundo, lo que les permitió amasar una gran fortuna, entregado una buena parte a obras de caridad, subvenciones, becas, escuelas y hospitales. En la Figura 15, se muestra el anverso del billete de 1.000 manats de la República de Azerbaiyán, haciendo alusión a la enorme actividad económica del país en torno la industria petrolífera.

En la misma línea de la industria petrolífera de Azerbaiyán, nos encontramos el billete de 50 manats (véase Figura 16), en el que aparecen las conocidas como “estructuras de Kekulé” resonantes de la molécula de benceno.^[22]



Figura 15. Industria petrolífera. Billeto de 1.000 manats azeríes (2001)



Figura 16. Estructura de Kekulé. Billeto de 50 manats azeríes (2014)

Imágenes de científicos junto con detalles químicos

En la Figura 17, aparece el anverso del billete de 5 francos franceses de 1966, con la imagen de Louis Pasteur (1822-1895)^[23] en primer plano, y en el fondo, utensilios de laboratorio, junto con un microscopio. Pasteur es considerado el padre de la Microbiología y de la técnica conocida como “pasteurización” (eliminación de parte o todos los gérmenes de un producto elevando su temperatura durante un corto tiempo), que permitió desarrollar la esterilización por autoclave.



Figura 17. Louis Pasteur. Billete de 5 francos franceses (1966)

En la Figura 18, se presenta el billete de 100 dracmas griegos de 1967, donde además del busto de Demócrito (460-370 a.C.),^[24] aparece dibujada la estructura de un átomo. En clara alusión a la idea del filósofo, que teorizó cortando piedras, de que la materia estaba formada por trozos infinitesimales indivisibles (átomos), únicos y diferentes de los átomos de otros materiales, como la piel. La imagen de Demócrito también fue usada en otros billetes más antiguos de dracmas, como el de 20 dracmas griegos de 1955.



Figura 18. Demócrito. Billete de 100 dracmas griegos (1967)

Hans Christian Ørsted (1777-1851),^[25] físico y químico danés, conocido por haber descubierto de forma experimental la relación física entre la electricidad y el magnetismo, (además de aislar el aluminio), aparece en el billete de la Figura 19, junto con una brújula aparentemente magnetizada.

El ganador del premio Nobel de Medicina en 1908, Paul Ehrlich (1854-1915),^[26] eminente médico y bacteriólogo alemán, aparece en el billete de 200 marcos de 1970.



Figura 19. Hans Christian Ørsted. Billete de 100 coronas danesas (1970)

En la Figura 20, aparece la molécula de arsfenamina descubierta por él, siendo uno de los primeros fármacos que curó la enfermedad infecciosa con una alta tasa de mortalidad: la sífilis.



Figura 20. Paul Ehrlich. Billete de 200 marcos alemanes (1970)

La Figura 21 honra la imagen de Alessandro Volta (1745-1827)^[27] y su descubrimiento más famoso: la pila o columna, que inicialmente llamó “órgano eléctrico artificial”, estudiando los efectos del galvanismo sobre las ancas de rana, de forma alterna; logrando que se generara un flujo eléctrico conectando con un alambre los discos situados en los extremos.



Figura 21. Alessandro Volta. Billete de 10.000 liras italianas (1984)

Recurrir a la imagen icónica de Marie Skłodowska Curie (1867-1934),^[28] ha sido habitual en la impresión del papel moneda. Pionera en la investigación sobre la



Figura 22. Marie Curie. Billeto de 20.000 esloties polacos (1989)

radiactividad, y primera persona en recibir dos premios Nobel en distintas modalidades, Física y Química.

El país natal de Marie Curie, Polonia, utilizó su imagen en el billete de 20.000 esloties (Figura 22) polacos en el anverso, y en el reverso del mismo, la ilustración de las barras de grafito de un reactor nuclear.

En la Figura 23, tenemos el billete con la imagen de Carl Friedrich Gauss (1777-1855),^[29] conocido en el campo de la Química principalmente por sus trabajos con las ecuaciones del magnetismo que llevan su nombre, y por la función gaussiana, representada en el billete.

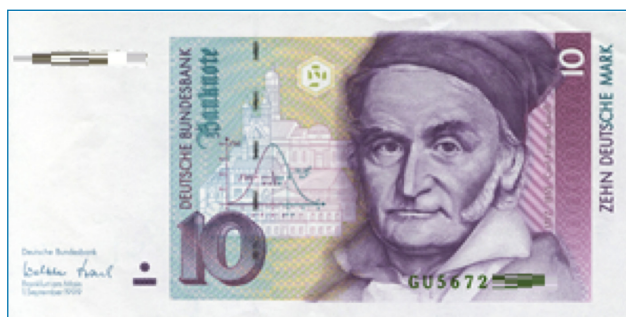


Figura 23. Carl Gauss. Billeto de 10 marcos alemanes (1991)

En la Figura 24 se muestra la imagen de Michael Faraday, (1791-1867),^[30] junto con alguno de sus experimentos más famosos de fondo. Estudió el electromagnetismo y la electroquímica. Sus principales logros fueron el descubrimiento de la inducción electromagnética, el diamagnetismo y la electrólisis.

El billete de 10 francos suizos de 1997 (Figura 25), recurrió al matemático Leonhard P. Euler (1707-1783),^[31] que popularizó el uso de la letra “e” (número de Euler o constante de Napier), para la constante irracional



Figura 24. Michael Faraday. Billeto de 20 libras esterlinas (1993)

más importante, cuyo valor es aproximadamente igual a 2,71828, base de los logaritmos naturales, tan utilizados en el cálculo en Química. En el reverso de este mismo billete, se hace alusión a sus estudios en astronomía.



Figura 25. Leonhard Euler. Billeto de 10 francos suizos (1997)

Francia, país de adopción de Marie Curie,^[28] usó la imagen del matrimonio Curie, para los billetes de 500 francos de 1998 (Figura 26). Pierre Curie (1859-1906),^[32] fue un físico francés, pionero en el estudio de la radiactividad y descubridor de la piezoelectricidad, que fue galardonado con el premio Nobel de Física en 1903 junto con Marie Curie y Antoine Henri Becquerel. Además, en el anverso del billete, aparecen representadas las partículas alfa y en el reverso, una estructura atómica y utensilios de laboratorio.

En las extintas República Federativa Socialista de Yugoslavia (1936-1991, RFSY) y República Federal de Yugoslavia (1991-2003, actuales Serbia y Montenegro), se recurrió a la fotografía del gran inventor en el campo del electromagnetismo, Nikola Tesla (1856-1943).^[33] Su imagen^[34]



Figura 26. Matrimonio Curie. Billete de 500 francos franceses (1998)

fue usada en los billetes de 5 dinares de 1994; 100 dinares de 1994 y del año 2000; 500 dinares de 1981; 1.000 dinares de 1990, 1991 y 1992; 5.000 dinares de 1993; 5.000.000 dinares de 1993; 10.000.000.000 dinares de 1993. Destaca el billete de curso actual de Serbia de 100 dinares (Figura 27), donde aparece su imagen en el anverso y la definición de la unidad tesla igual al Weber/m².



Figura 27. Nikola Tesla; arriba: Billete de 100 dinares serbios (2003); abajo: dinares de la extinta Yugoslavia de 1994

Recientemente en 2011, Polonia volvió a utilizar la imagen de la científica Marie Curie,^[28] para el billete 20 eslotis (véase Figura 28), pero devaluado respecto al emitido en 1989. En el anverso aparece la imagen de la científica y en el reverso, la medalla que reciben los laureados con el premio Nobel, con la imagen acuñada del propio Alfred Nobel.



Figura 28. Marie Curie. Billete actual de 20 eslotis polacos (2011)

El billete de 50 libras esterlinas de 2011 (véase Figura 29), introdujo en su reverso, la imagen de dos retratos: el ingeniero y científico escocés James Watt (1736-1819)^[35] y, el industrial y empresario Matthew Boulton (1728-1809),^[36] junto con la Whitbread Engine y la Soho Manufactory, de Birmingham, donde mejoraron el primer prototipo de máquina de vapor.^[16]



Figura 29. Matthew Boulton y James Watt. Reverso del billete de 50 libras esterlinas (2011)

Billetes solo con la imagen del científico

En Alemania, durante la República de Weimar (1918-1933), se emitió un billete de 20 reichmarks (véase Figura

ra 30), con la imagen de Ernst Werner M. von Siemens (1816-1892).^[37] Inventor alemán, pionero de la electro-
tecnia e industrial fundador de la actual conglomerado
de compañías Siemens AG. En 1841, desarrolló un pro-
ceso de galvanización (proceso electroquímico para re-
cubrir un metal con otro distinto); en 1846 un telégrafo
de aguja y presión, y un sistema de aislamiento de cables
eléctricos mediante gutapercha (tipo de goma parecida
al caucho, translúcida, sólida y flexible, que resultó un
ser termoplástico natural), lo que permitió en la práctica,
la construcción y el tendido de cables submarinos.



Figura 30. Ernst Werner M. von Siemens. Billeto de 20 reichmarks de 1929

De nuevo Francia rindió culto a dos de sus grandes
pensadores y científicos en diferentes áreas: a Voltaire
(François-Marie Arouet, 1694-1778),^[38] con el billete
de 10 francos franceses de 1964 y a Blaise Pascal (1623-
1662),^[39] en el de 500 francos franceses de 1977 (Figu-
ra 31). Entre otras muchas cosas, el primero de ellos
destacó, por la creación del laboratorio en el castillo de



Figura 31. Arriba: Billeto de 10 francos franceses de 1964 de Voltaire; abajo: billete de 500 francos franceses de 1977 de Blaise Pascal

la marquesa de Chatêlet, en Cirey. El segundo realizó in-
vestigaciones concluyente sobre fluidos y la aclaración de
conceptos tales como la presión y el vacío.

Albert Einstein (1879-1955),^[40] icono mundial de la
ciencia y premio Nobel de Física en 1921 aportó en el
campo de la Química-Física numerosos trabajos: teoría
especial de la relatividad, mecánica estadística, efecto fo-
toeléctrico (por el que recibió el Nobel), entre otros. Fue
homenajado por Israel en el billete de 5 libras israelíes de
1968 (véase Figura 32).



Figura 32. Albert Einstein, billete de 5 libras israelíes (1968)

Erwin Schrödinger (1887-1961),^[41] realizó importan-
tes contribuciones en mecánica cuántica y termodinámi-
ca. Recibió el premio Nobel de Física en 1933 por el desa-
rrollo de la ecuación que lleva su nombre (Schrödinger),
compartido con Paul Dirac. Lo que mereció su aparición
como homenaje en el billete austriaco de 1.000 chelines
de 1983 (véase Figura 33).



Figura 33. Erwin Schrödinger. Billeto de 1.000 chelines austriacos (1983)

Cristian Bikerland (1867-1917),^[42] inventor de la pro-
ducción de fertilizantes artificiales para la agricultura
mediante un proceso industrial, denominado Birkeland-
Eyde, que permite fijar el nitrógeno del aire, aparece re-
tratado en los billetes de 200 coronas noruegas de 1994
(véase Figura 34).

En 1991, durante la disolución de la Unión Soviética y
la fundación de la Federación Rusa, provocando una cri-
sis financiera que afectó a sus gobiernos locales y regio-
nales, se emitió el franco de los Urales, unidad monetaria
emitida en Sverdlovsk (Ekaterinburgo, Rusia) a modo de
vales. Se imprimió un billete de 100 de estos francos con



Figura 34. C. Bikerland. Billeto de 200 coronas noruegas (1994)



Figura 37. Niels H. D. Bohr. Billeto de 500 coronas danesas (1997)

la imagen de Dimitri Mendeléiev (1834-1907),^[43] mostrado en la Figura 35. Científico de renombre, tras haber descubierto el patrón subyacente en lo que ahora se conoce como la tabla periódica de los elementos.



Figura 35. Dimitri Mendeléiev. Billeto de 100 francos de los Urales. Federación Rusa (1991)



Figura 38. Karl Landsteiner. Billeto de 1.000 chelines austriacos (1997)

El billete de 100 libras esterlinas del Banco escocés Clydesdale (Figura 36), rinde homenaje a William Thomson, conocido como Lord Kelvin, (1824-1907).^[44] Científico que destacó por sus importantes trabajos en el campo de la termodinámica, desarrollando la escala de temperaturas del cero absoluto.



Figura 36. Lord Kelvin. Billeto de 100 libras esterlinas, banco Clydesdale (1996)

A Alexander Fleming (1881-1955),^[47] premio Nobel de Medicina en 1945 por ser el descubridor de la penicilina, también se le atribuye el descubrimiento de la enzima antimicrobiana lisozima. Aparece en el billete de 5 libras esterlinas del Banco escocés Clydesdale de 1997 (véase Figura 39).



Figura 39. Alexander Fleming. Billeto de 5 libras esterlinas del Banco Clydesdale (1997)

Niels H. D. Bohr (1885-1962),^[45] fue un físico-químico danés que contribuyó a la comprensión de la composición del átomo y la mecánica cuántica. Galardonado con el premio Nobel de Física en 1922, aparece en el billete de 500 coronas danesas de curso actual (véase Figura 37).

Lord Ernest Rutherford (1871-1937),^[48] premio Nobel de Química en 1908, tras su dedicación al estudio de las partículas radiactivas, clasificarlas en alfa (α), beta (β) y gamma (γ), y hallar que la radiactividad iba acompañada por una desintegración de los elementos. Presentó un modelo atómico que lleva su nombre con el que probó la exis-

tencia del núcleo en el átomo, en el que se reúne toda la carga positiva y prácticamente, casi la totalidad de la masa del mismo. Británico nacido en la actual Nueva Zelanda, aparece honrado en los billetes actuales de 100 dólares neozelandeses (véase Figura 40, para la base de pasta de papel y la Figura 7, para la nueva versión del billete sobre base polimérica).



Figura 40. Lord Ernest Rutherford. Billete de 100 dólares neozelandés en pasta de papel (2016). En la figura 7, se puede ver en la nueva versión fabricado sobre base polimérica

CONCLUSIONES

El tópico recurrente de que “la química está en todas partes”, se hace patente en los billetes de papel moneda. La Química está presente en la propia historia del uso del dinero a lo largo de la humanidad, tanto en el material con el que se elabora, en las medidas de seguridad con las que se marcan, como sobre todo, en las imágenes que decoran a estos trozos de papel, para convertirlos en obras de arte de cualquier coleccionista amante de la Ciencia que se precie.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://www.kenrinaldo.com/portfolio/borderless-bacteria-colonialist-cash/>, visitada el 01/08/2020.
- [2] J. M. Maritz *et al.* Filthy lucre: A metagenomic pilot study of microbes found on circulating currency in New York City. *PLoS ONE*, **2017**, *12* (4): e0175527-e0175539. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175527>
- [3] J. Williams y C. Eagleton. *Historia del dinero*. Paidós, 2009. ISBN 978-84-493-2294-5.
- [4] <https://www.ancient-origins.es/noticias-historia-arqueologia/descubierta-antiguo-papel-moneda-chino-la-dinastia-ming-oculto-dentro-una-escultura-003875>, visitada el 01/08/2020.
- [5] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/2EMGHsp>, visitada 01/08/2020.
- [6] Fundación Antama, <https://bit.ly/33dkoFM>, visitada 01/08/2020.
- [7] DuPont™-Tyvek®, <https://bit.ly/3l5gXqz>, visitada 01/08/2020.
- [8] European Central Bank, <https://bit.ly/3n7XORO>, visitada 01/08/2020.
- [9] G. Ruffato *et al.* Design, fabrication and characterization of Computer Generated Holograms for anti-counterfeiting applications using OAM beams as light decoders. *Sci. Rep.*, **2017**, *7* (1), 18011-18024. doi:10.1038/s41598-017-18147-7. PMC 5740128.
- [10] University of Cambridge, <https://bit.ly/34gXD2S>, visitada 01/08/2020.
- [11] Reserve bank of Australia, <https://bit.ly/3jmMNig>, visitada 01/08/2020.
- [12] A. Palet-Casas. Tratado de pintura: color, pigmentos y ensayo, Antoni Palet i Casas (2002). Ediciones de la Universidad de Barcelona. ISBN: 84-8338-313-6.
- [13] “Raffaello Sanzio da Urbino”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2EKuEvE>, visitada 01/08/2020.
- [14] “Leonardo da Vinci”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36gVmYh>, visitada 01/08/2020.
- [15] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/3n2nOTz>, visitada 01/08/2020.
- [16] M. G. Meadows *et al.* Iridescence: views from many angles. *Journal of the Royal Society, Interface*, **2009**, *6*, 107-113. doi:10.1098/rsif.2009.0013.focus.
- [17] Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, <https://bit.ly/3n8mH4L>, visitada 01/08/2020.
- [18] International Chemistry Olympiad, <https://bit.ly/2Ge83s3>, visitada 01/08/2020.
- [19] W. J. Gee. Review: Recent Trends Concerning Upconversion Nanoparticles and Near-IR Emissive Lanthanide Materials in the Context of Forensic Applications. *Aust. J. Chem.*, **2019**, *72*(3), 164-181. <https://doi.org/10.1071/CH18502>
- [20] V. Rusanov *et al.* Mössbauer and X-ray fluorescence measurements of authentic and counterfeited banknote pigments. *Dyes and Pigm.*, **2009**, *81* (3) 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2008.07.020>
- [21] A. Guedes *et al.* Raman Microspectroscopy of Genuine and Fake Euro Banknotes. *Spectrosc. Lett.*, **2013**, *46* (8), 569-576. <https://doi.org/10.1080/00387010.2013.769007>.
- [22] Kekulé, Untersuchungen über Aromatische Verbindungen. *Liebigs Annalen der Chemie*, **1866**, *137*, 129-36.
- [23] “Louis Pasteur”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3ihSflc>, visitada 01/08/2020.
- [24] “Democritus”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3jl4ui4>, visitada 01/08/2020.
- [25] “Hans Christian Ørsted”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/30ne4tn>, visitada 01/08/2020.
- [26] “Paul Ehrlich”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36mpoKm>, visitada 01/08/2020.
- [27] “Alessandro Volta”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GdTON5>, visitada 01/08/2020.
- [28] “Marie Curie”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2G5me2V>, visitada 01/08/2020.
- [29] “Carl Friedrich Gauss”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3jcVuvs>, visitada 01/08/2020.
- [30] “Michael Faraday”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GcKP5L>, visitada 01/08/2020.
- [31] “Leonhard Euler”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GcKTm1>, visitada 01/08/2020.
- [32] “Pierre Curie”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/33i73Mm>, visitada 01/08/2020.
- [33] “Nikola Tesla”. Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3l6LBQJ>, visitada 01/08/2020.

- [34] El billete, arte e historia viva, <https://bit.ly/315x6MM>, visitada 01/08/2020.
- [35] "James Watt". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3cOwCHZ>, visitada 01/08/2020.
- [36] "Matthew Boulton". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3iiYnK3>, visitada 01/08/2020.
- [37] "Werner von Siemens". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3cK1BF0>, visitada 01/08/2020.
- [38] "Voltaire". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3479Abu>, visitada 01/08/2020.
- [39] "Blaise Pascal". Encyclopædia Britannica. <https://www.britannica.com/biography/Blaise-Pascal>, visitada 01/08/2020.
- [40] "Albert Einstein". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/36luBBS>, visitada 01/08/2020.
- [41] "Erwin Schrödinger". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2Sf8aX0>, visitada 01/08/2020.
- [42] "Kristian Bikerland". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2Gc5GpO>, visitada 01/08/2020.
- [43] "Dmitri Mendeleev". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2GlgwJO>, visitada 01/08/2020.
- [44] "William Thompson, Lord Kelvin". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2G6KO3o>, visitada 01/08/2020.
- [45] "Niels Bohr". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/34aB8g9>, visitada 01/08/2020.
- [46] "Karl Landsteiner". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2SeQ4Eg>, visitada 01/08/2020.
- [47] "Alexander Fleming". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2HJIsb4>, visitada 01/08/2020.
- [48] "Ernest Rutherford". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/2SfiEp4>, visitada 01/08/2020.

¿Quieres ser socio de una de las sociedades científicas más importantes de España?




Real Sociedad Española de Química
www.rseq.org

La Química de las Finanzas

Óscar Rodríguez Montoro

Resumen: La Química y las Finanzas parecen ser en principio dos materias sin mucha relación y dispares una de otra. Pero si se hace una reflexión y se establecen una serie de paralelismos de la presencia de la Química en los diferentes activos financieros, tanto vetustos, como contemporáneos, estas diferencias se acortan enormemente.

Palabras clave: Química de las Finanzas, Monedas, Billetes, Mercados de Valores, Didáctica de la Química.

Abstract: Chemistry and Finance seem to be in principle two subjects without much relationship and far from each other. But when a reflection is made and a series of parallels are established for the presence of Chemistry in the different financial assets, both ancient and contemporary, these differences are greatly reduced.

Keywords: Finance Chemistry, Coins, Banknotes, Stock Markets, Chemistry Didactic.

INTRODUCCIÓN

A priori, las Finanzas^[1] engloban términos y materias muy alejados de la Química, esto es, mercado de divisas, renta fija, renta variable, acciones cotizadas, valores, futuros, *commodities* y otra serie de terminología. Pero en todos ellos, tal y como veremos a lo largo del presente manuscrito, de alguna u otra manera la Química está presente.

Las Finanzas se encargan de la obtención y el manejo de capitales en relación con las inversiones. Como capital, no solo se debe entender la acumulación de dinero en forma de billetes o en cuentas corrientes. Se ha de tratar desde el punto de vista de activos de muy diferente índole, como son el conjunto de bienes económicos que entran en juego en una actividad socio-económica determinada.

Es cierto, que la manera más habitual de poseer el capital es en forma de: billetes, monedas, capital en cuentas corrientes, cuentas remuneradas, etc. Pero también es cierto que la riqueza además se acumula en forma de otros activos financieros como títulos de renta fija o va-

riable, acciones cotizadas o no cotizadas en bolsa, empresas, obras de Arte, productos de Numismática y Filatelia, metales y piedras preciosas, mercancías o *commodities*, etc.

La naturaleza de estos activos ha ido cambiando a lo largo de la Historia; obviamente, no siempre estuvieron presentes en estos términos tan contemporáneos. Pero lo que sí estuvo indefectible fue la Química.

Por dinero se considera todo aquel objeto de valor claramente identificable y susceptible de ser utilizado (y aceptado) como forma de pago en cualquier transacción que entrañe el intercambio de bienes, servicios y/o deudas.

De todos es sabido que el dinero no siempre circuló en forma de monedas o billetes, tal y como se conocen hoy en día. Objetos para intercambio por trueque o mercancías dinero (*commodity money*), están datados desde el comienzo de la propia Historia humana. E incluso, se conjetura que ya existieran en la Prehistoria, antes de los primeros registros escritos.^[2]

Los metales nobles como el oro, la plata y otros como el cobre, fueron tradicionalmente usados como *commodity money* (no como monedas propiamente dichas) desde los primeros tiempos de la civilización. El empleo de estos metales como mercancías, tienen su origen en Mesopotamia y en el Antiguo Egipto, alrededor del año 2500 a.C. Lo que muestra a su vez, el manejo avanzado de la metalurgia de estas civilizaciones. El uso de estos metales fue incluso recogido en diferentes códigos de la época, como por ejemplo, en el famoso Código de Hammurabi (1790 a.C.), en el que se reflejan pagos por deudas, multas infracciones, etc., a través de diferentes pesos en plata.^[3]



Ó. Rodríguez
Montoro

Dpto. Química-Física.
Universidad Complutense de Madrid
Avda. Complutense s/n. 28040. Madrid. España
C-e: ormontoro@ucm.es

Recibido: 13/08/2020. Aceptado: 28/10/2020.



Figura 1. Piezas utilizadas durante la Dinastía Zhou en China, como dinero mercancía. Izquierda: Pequeñas espadas; Derecha: conchas del gasterópodo cauri. (Fotos realizadas en la exposición sobre la moneda china, organizada por alumnos del Instituto Bidebieta de San Sebastián, año 2009)

A los metales anteriormente citados, durante la propia Edad de Bronce (1700-800 a.C.), se unió el uso de la aleación del cobre y el estaño, como dinero mercancía de intercambio.

Desde la Dinastía Zhou en China (650-400 a.C.), han llegado hasta nuestros días utensilios como los mostrados en la Figura 1, espadas metálicas y pequeñas conchas de la Clase Gasterópodo cauri (*Monetaria Moneta*) utilizadas como mercadería de la época.^[4]

Las conchas de los moluscos están formadas principalmente de carbonatos de calcio, CaCO_3 , presente en dos de sus polimorfos, como son la calcita y el aragonito^[5] (véase Figura 2), lo que les confiere la resistencia suficiente para haber podido perdurar en el tiempo.

A finales del Imperio Lidio (1200-546 a.C.), afincado en el oeste de la península de Anatolia, en la actual Turquía, aparecieron las primeras monedas (véase Figura 3). Eran piezas acuñadas y en forma de disco, compuestas de una aleación de oro y plata (denominadas “electro”), que ya sí se pueden considerar como las primeras monedas de cambio utilizadas por la humanidad.^[6]

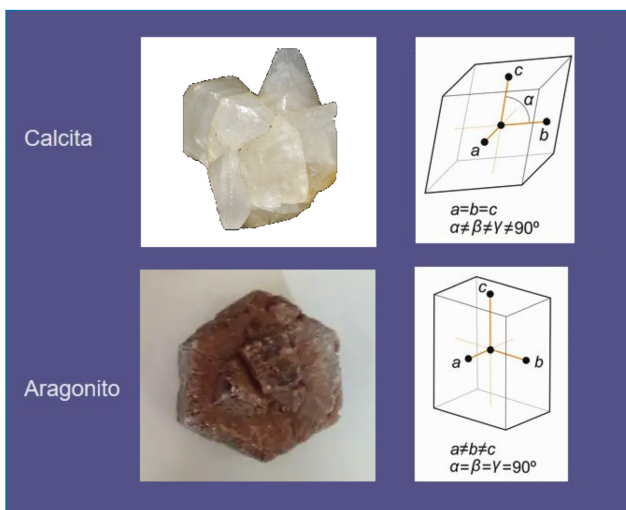


Figura 2. La concha de los gasterópodos está formada principalmente de los minerales polimórficos de carbonatos de calcio: aragonito y calcita. Se diferencian entre ellos por la ordenación de sus moléculas dentro de redes cristalinas con diferente simetría, lo que se denomina sistemas cristalinos (trigonal en calcita y ortorrómbico en aragonito). Estas diferencias provocan que los cristales de ambos minerales tengan morfologías, propiedades mecánicas y ópticas diferentes^[5]



Figura 3. Moneda de un tercio de estatera (unos 5/3 de gramo de electro), fechada en el siglo VII a.C., utilizadas en el Antiguo Imperio Lidio. A la derecha, en una de las caras se muestra la cabeza de un león rugiendo, junto con un sol con múltiples rayos en la frente; a la izquierda en el anverso, un doble golpe de incisión

Poco a poco el uso de las monedas en las transacciones económicas se fue normalizando hasta llegar a nuestros días. Tal y como veremos en los apartados siguientes, a los minerales ya nombrados se fueron añadiendo otros metales (níquel, zinc, estaño, plomo...) y varias aleaciones (latón, acero, oro nórdico...) para abaratar el coste de la acuñación de los discos monetarios utilizados.

Como mercancía de cambio, no solo se han utilizado los metales a lo largo de la Historia.^[3] Por ejemplo, la obsidiana de Anatolia (cuya composición química es a base de silicatos de aluminio y óxidos de silicio en gran porcentaje), ya fue usada como mercancía de intercambio durante la edad de piedra. En el antiguo Imperio Romano (27 a.C. – 476 d.C.), los soldados solían recibir sus emolumentos en forma de sal común (mayoritariamente formada por cloruro sódico, NaCl o halita, véase Figura 4), de lo que se derivó el término “salario” (del latín *salarium*) que significa “pago por sal”. Poseer sal en la antigüedad era de vital importancia, ya que permitía mantener conservados alimentos por largos períodos de tiempo en salazón, como la carne o el pescado. Curiosamente, varios milenios después, la halita, fue la primera estructura cristalina que se determinó mediante el uso de la técnica de la difracción de rayos X. Henry y Lawrence Bragg, padre e hijo, premios Nobel de Física en 1915, sentaron las bases de la cristalografía y el análisis estructural.^[7]

Pero demos un gran salto cuantitativo en el tiempo hasta nuestros días, para centrarnos en los productos financieros más contemporáneos y en la presencia de la Química en ellos.

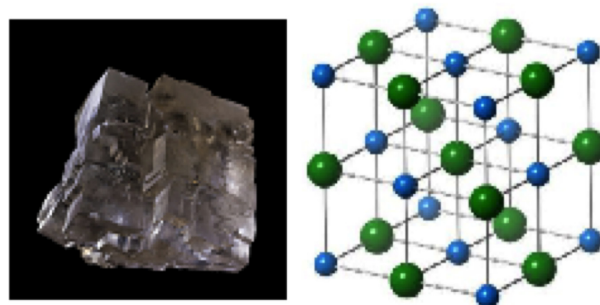


Figura 4. Izquierda: Monocristal de sal común de NaCl , conocido como halita; Derecha: estructura cristalina de la misma, determinada por Henry y Lawrence Bragg

MERCADO DE DIVISAS. CAMBIO DE MONEDA

Se debe entender como moneda a la unidad monetaria que permite la transferencia de bienes y servicios cotidianos. Mientras que divisa es la moneda bajo soberanía externa a la propia que permite la transferencia de bienes entre países de manera telemática.

El mercado de divisas (*Foreign Exchange*, Forex, FX o mercado de divisas) es un mercado global descentralizado o de venta libre (*over-the-counter*, OTC, u *off-exchange*), es decir, sin la supervisión de un intercambiador, para el comercio de divisas. Este mercado determina los tipos de cambio para cada moneda. En términos de volumen de negociación es, con mucho, el mercado más grande del mundo, teniendo un volumen casi igual a todos los demás mercados bursátiles juntos.^[8]

Las operaciones de cambio de moneda y los procesos de compra y venta cotidianos mayoritariamente se realizan por medio de transacciones bancarias telemáticas, con ausencia de dinero físico. No obstante, a día de hoy globalmente, se sigue dependiendo en gran medida del uso de moneda material para estas actuaciones. En todo caso, estos mercados llevan consigo, el respaldo de activos físicos, como son los patrones dinerarios, divisas, monedas y billetes bancarios. Veamos la presencia de la Química en todos ellos.

El patrón del dinero. Representativo y fiduciario

El dinero representativo es aquel que, a diferencia del *commodity money*, se basa para demostrar su valor en otro activo (patrón) como el oro, plata, petróleo u otra divisa. Tiene la cualidad de ser convertible al activo al cual representa.^[9]

Actualmente, existen otros tipos de dinero como son el dinero por decreto (fiat) y el fiduciario, que es el modelo monetario que más se utiliza hoy día en el mundo, y que son las conocidas como divisas, esto es, dólar americano (USD), el Euro (EUR) y todas las otras monedas de reserva. No se respalda por metales preciosos ni nada que no sea una promesa de pago por parte de la entidad emisora.^[10]

El oro constituyó el patrón principal utilizado por el sistema monetario de forma más o menos constante desde la batalla de Waterloo (1815) hasta la Primera Guerra Mundial (1914-1918). Simplemente, los billetes podían intercambiarse por oro, y el oro a su vez en billetes, a una tasa de cambio fija e inviolable. Este sistema simple desapareció tras la I Guerra Mundial, siendo sustituido por un sistema parecido donde eran lingotes de oro (véase Figura 5) en posesión de los bancos centrales de cada país los que respaldaban el valor de las monedas y billetes. Con el tiempo, los bancos centrales comenzaron a saltarse las normas de este respaldo, produciéndose numerosos fraudes, pasando a ser la Libra Esterlina (GBP) la divisa de respaldo hasta la II Guerra Mundial. Después de la cual, pasó a serlo el USD, con lo que el sistema de reserva de oro o de lingotes, desapareció por completo. A día de hoy, el patrón



Figura 5. Lingote de oro. Patrón utilizado como respaldo del dinero físico hasta el siglo XX

dólar tampoco existe, es el Banco Central de cada país el que respalda con divisas, títulos propios y con créditos que los Bancos Centrales supranacionales conceden al Sistema Bancario.^[11] Aunque el valor del oro como refugio de inversores sigue encontrándose en pleno auge, la pérdida de los patrones de metales preciosos, trajo consigo la inflación y que los Bancos Centrales de las principales potencias, sean los que impriman sus divisas sin el control deseado.

Monedas contemporáneas

En la introducción del presente manuscrito, se comentó como a lo largo de la Historia se han utilizado los diferentes metales y aleaciones en la fabricación de monedas. Hoy día, solo se utilizan los metales nobles como el oro, plata y platino, para realizar monedas de coleccionistas. Utilizándose otro tipo de metales y de aleaciones más económicas para la fabricación de las monedas de curso legal de las diferentes nacionalidades. Nos detendremos en la composición de las monedas de euro como muestra general (Figura 6).^[12]



Figura 6. Monedas de euro, con el cuño alemán



Figura 7. Serie de monedas de antiguas Liras de la Serenísima República de San Marino de 1984, anteriores a que este país adoptara el euro. Por orden, acuñadas en el anverso: Hipócrates, Alessandro Volta, Louis Pasteur, Pierre Marie Curie, Enrico Fermi y Albert Einstein

Las monedas de 1, 2 y 5 céntimos de euro están fabricadas en acero, recubierto de una película de cobre. Las monedas de 10, 20 y 50 céntimos de euro están fabricadas de la aleación conocida como “oro nórdico”, cuya composición es cobre 89%, aluminio 5%, zinc 5% y estaño 1%. La moneda de 1 euro está compuesta en su perímetro exterior por níquel-latón (aleación de cobre-zinc); y su interior por tres capas: cobre-níquel, níquel y níquel-cobre. La moneda de 2 euros, tiene la disposición contraria a la moneda de euro, interior en cobre-níquel; y perímetro exterior en tres capas: níquel-latón, níquel y latón-níquel.^[12]

En relación con la Numismática (entendida como activo financiero de coleccionismo), la acuñación del anverso de las monedas de manera recurrente, ha sido de imágenes de mandatarios, pero de manera muy esporádica han aparecido imágenes de científicos en monedas de algunos países. En la Figura 7, se pueden observar la serie de monedas que la Serenísima República de San Marino emitió en 1984, en la que aparecen eminentes científicos de diferentes épocas.

Papel moneda

El papel moneda comenzó a utilizarse durante la Dinastía Tang en China, (618-907 d.C.). Los mercaderes de la época usaban un documento elaborado a partir de la morera del papel (*Broussonetia papyrifera*), donde constaba una promesa de reembolso, similar al pagaré actual, que a su vez, les permitía aligerar su propio equipaje cargando monedas metálicas.^[13]

Actualmente, el papel moneda se elabora con láminas especiales hechas de fibras alargadas de algodón, incluyendo lino u otras fibras textiles, con técnicas de impresión complejas. Para evitar falsificaciones, en esta ardua elaboración del papel moneda, se añaden la marca al agua o filigrana (permitiendo que imágenes impresas con diferente espesor se puedan ver al trasluz), hologra-



Figura 8. Billeto de 100 Dólares de Nueva Zelanda cuya base es polimérica y no de fibra de algodón. El billete es un homenaje al científico neozelandés Ernest Rutherford, premio Nobel de Química en 1908

mas, agentes fluorescentes o fosforescentes, tintas ópticamente variables (*Optically variable ink, OV*) que cambia de color según el ángulo del observador y la incidencia de la luz (iridiscencia o *Pearlescent coating* referido a la tinta).^[14] La tendencia actual en cuanto a medidas de seguridad, es el uso de nanopartículas capaces de emitir por *upconversion* (conversión ascendente de fotones) tras excitación por longitudes de onda del infrarrojo cercano (980 nm).^[15]

En las últimas décadas, muchos países están optando por la fabricación de billetes cuya base es polimérica (polipropileno orientado biaxialmente, BOPP),^[16] como se puede observar en la Figura 8. Estos billetes incorporan alguna característica de seguridad que no está disponible en los billetes en papel.^[17] Los que tienen base de polímero duran mucho más que los billetes de papel, lo que provoca una disminución del impacto ambiental y un menor costo de producción y reemplazo de moneda.

Aunque no muy habitual, también se han utilizado imágenes de eminentes científicos para caracterizar billetes en algunos países. En la Figura 8, se puede observar el billete de 100 dólares neozelandés (NZD) con la imagen de Lord Ernest Rutherford, padre de la Química nuclear y premio Nobel de Química en 1908.

Dinero electrónico

Cada día es más habitual la realización de todo tipo de transacciones con tarjetas de crédito o de débito, evitando el uso de dinero material. Las tarjetas de banda magnética son una clase de fichas capaces de almacenar datos modificando el magnetismo de pequeñas partícu-

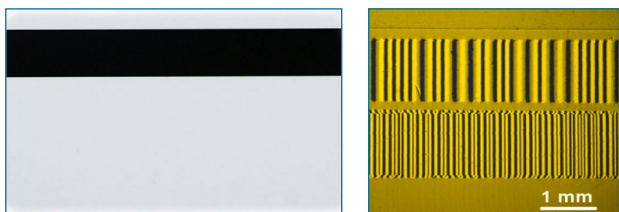


Figura 9. Izquierda: detalle del reverso de una tarjeta de crédito con banda magnética; Derecha: la banda magnética aumentada

las magnéticas. Estas bandas están fabricadas con partículas de óxidos de hierro sobre una base de resina (véase Figura 9). La banda magnética, se lee al pasar un cabezal de lectura magnética en el terminal del punto de venta (TPV).

Hoy día, la gran mayoría de tarjetas de crédito también llevan integrado un pequeño chip, cuya base es el elemento silicio (Figura 10), que integrado junto con el resto de microelectrónica, permite almacenar datos bancarios en dichos circuitos electrónicos integrados. No hay que confundir el uso de los chips en las tarjetas, con la tecnología *contactless*, que se genera al almacenar información en las mismas y ser emitida por medio de una pequeña antena NFC (*Near Field Communication*) alojada en su interior.

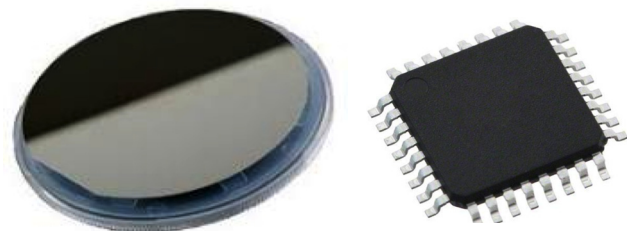


Figura 10. Oblea de silicio monocristalino pulido de una sola cara de dos pulgadas y microchip de silicio

Criptomonedas

Las criptomonedas^[17] son un activo digital diseñado para funcionar como un medio de intercambio novedoso. En este sistema, los registros individuales de propiedad de monedas se almacenan en un libro de contabilidad acumulado en una forma de base de datos computarizada que utiliza una criptografía sólida para asegurar registros de transacciones (*blockchains*). Y, a su vez, controlar la creación de monedas adicionales y verificar la transferencia de propiedad de monedas. Estos procesos mantienen una alta tasa de procesamiento de algoritmos gracias al usuario en general (denominados “mineros”), que de esta manera tienen la oportunidad de recibir una pequeña “propina”, que se reparte de manera aleatoria, por su trabajo. Utilizar medios de pago como *PayPal™* y pagar con una criptomoneda, se diferencian en que con el primero, el pago se hace

a través de redes privadas similares a las usadas por las tarjetas de crédito y bancos, mientras que con las criptomonedas no hay intermediarios; el pago va del comprador al vendedor directamente. De esta forma, se tiene un sistema de transferencia universal de valor, libre de intermediaciones.

El nivel de encriptación usado actualmente en los ordenadores para salvaguardar este tipo de transacciones, ha sido capaz de alcanzarse debido a la fabricación de microchips de diminutas dimensiones. Pero no se pueden llegar a fabricar chips infinitamente pequeños, ya que a escala nanométrica, los electrones se escapan de los canales por efectos cuánticos o efecto túnel. Como consecuencia, este tipo de computación digital tarde o temprano no tardará en llegar a su límite físico, si la tecnología de los ordenadores cuánticos no lo remedia antes.

INVERSIÓN EN ACTIVOS

La gestión del capital obtenido por las personas por los medios que fuere, no es una operación trivial. El dinero no ha de ser un fin ni una obsesión, sino que ha de ser un medio para poder vivir como a cada persona le plazca. La búsqueda de la inversión perfecta y con totales garantías de éxito, no existe. La inversión de capitales no es una ciencia exacta, se puede llegar a predecir e incluso parametrizar ciertos factores que se repiten cíclicamente en el tiempo, pero la gran mayoría de veces, los mercados financieros se comportan al azar totalmente. En los siguientes apartados, se va a intentar sacar analogías entre la Química y los activos financieros relacionados con la inversión de capitales. Se harán principalmente semejanzas entre la cinética química y los equilibrios químicos con el comportamiento de ciertos activos.

Cuentas corrientes no remuneradas

La frase favorita de todo economista es “el dinero vale hoy más que mañana”. Esto es verdad, debido a la inflación (aumento generalizado y sostenido de los precios de los bienes en un año). El mantenimiento inmovilizado de capitales en una cuenta no remunerada, aunque parezca sinónimo de ahorro (no de inversión) a largo plazo, no se terminará produciendo. Se ocasionará todo lo contrario, el capital perderá valor. Podemos hacer una analogía de este producto financiero con las cinéticas químicas de orden cero (véase Figura 11), que son aquellas reacciones cuya concentración inicial de reactivo, va desapareciendo de manera constante con el tiempo para obtener los productos de reacción. Siendo la pendiente el valor de la inflación, el valor del capital inicial ahorrado (semejante a la concentración inicial de reacción), irá minorando de una manera más o menos constante año a año.

$$[A] = [A]_0 - k t$$

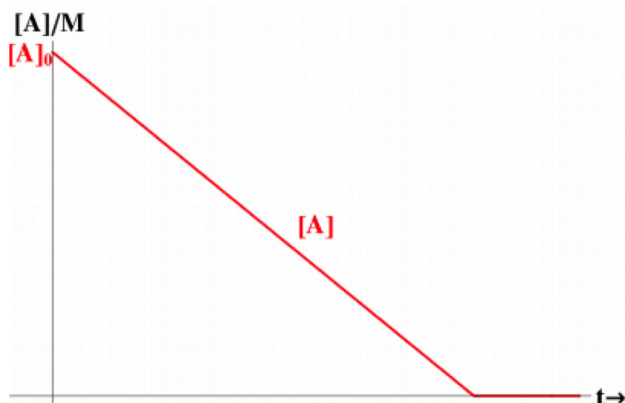


Figura 11. La cinética química de orden cero, donde una concentración inicial $[A]_0$, va desapareciendo de manera constante con el tiempo "t", se asemeja al comportamiento de los capitales presentes en las cuentas no remuneradas

Cuentas corrientes remuneradas y depósitos a plazo fijo

Estos tipos de productos financieros sí poseen un interés por el capital invertido (que si supera a la inflación, repercutirá en un beneficio real). Dependiendo de que estas cuentas se rijan por las fórmulas del interés simple o compuesto (véase Figura 12), se puede hacer respectivamente una analogía con la inversa de las cinéticas de primer orden, segundo orden..., orden "n". Las cinéticas diferentes a las de orden cero, representan reacciones químicas en las que los productos desaparecen exponencialmente, pero con una potencia recíproca cada vez más elevada. Mientras que en Química la concentración

| Interés Simple | Interés Compuesto |
|--------------------|-------------------|
| $F = P(1 + n * i)$ | $F = P(1 + i)^n$ |

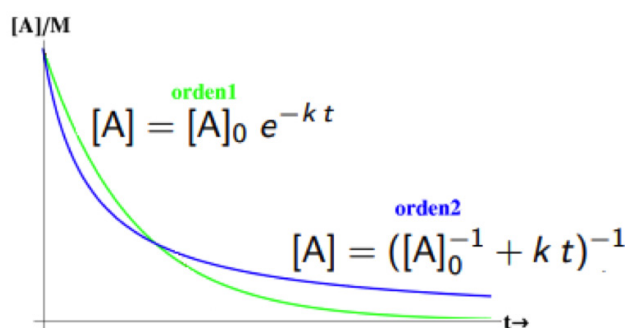


Figura 12. Arriba: Fórmulas de los intereses simples y compuestos, donde "i" es el interés, "F" es el capital final, "P" el capital inicial, "n" el número de ciclos mensuales, trimestrales, etc. Abajo: Las cinéticas químicas de orden uno y orden dos, donde una concentración inicial $[A]_0$, va desapareciendo de manera exponencial con el tiempo "t". Hecho que se asemeja al comportamiento inverso de los capitales presentes en las cuentas remuneradas por interés simple y compuesto, respectivamente

inicial disminuirá exponencialmente, en este producto financiero el beneficio crecerá exponencialmente, pero elevado a diferente potencia.

Renta fija

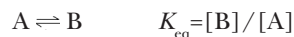
Los activos de renta fija, también conocidos como "bonos" son instrumentos financieros de deuda emitidos por los gobiernos nacionales, provinciales o incluso, por empresas privadas. Funcionan como los préstamos. El interesado va recuperando su inversión inicial junto con un interés acordado. Por lo que su analogía sería una cinética química de orden cero, pero de pendiente positiva, es decir, el interés acumulado se sumaría al capital inicial de una manera constante en el tiempo.

Renta Variable. Acciones cotizadas en Bolsa

La renta variable constituye un tipo de activo basado en la rentabilidad de la inversión y la recuperación del capital inicial invertido, más un beneficio. Aunque existe un riesgo real de no conseguirlo, ya que la recuperación del capital inicial y el beneficio no están garantizados de antemano. Este producto financiero engloba muchos artículos diferentes, acciones, derivados, futuros, índices, CFD's, etc. La rentabilidad que se puede llegar a obtener de la renta variable es función de distintos factores diferentes, como pueden ser la evolución de una determinada empresa en la que se ha invertido, su situación económica, la de las empresas del mismo sector, el comportamiento de los mercados financieros, etc.

El ejemplo por antonomasia de renta variable es la compra de acciones o valores de empresas cotizadas. Con ello, el comprador se convierte en "dueño" de la empresa en un porcentaje proporcional al número de títulos que posea, adquiriendo una serie de derechos entre los que se encuentra el cobro de dividendos por beneficios generados fruto de la actividad de la empresa. El beneficio de la inversión lo obtendrá si es capaz de vender esas mismas acciones a un precio mayor al de compra, no importa en cuánto tiempo (puede ser en 5 minutos, 5 meses o 5 años, corto, medio o largo plazo).

La compra venta de acciones sigue la ley de la oferta y la demanda, que en esencia se asemeja a los equilibrios químicos:



Si hay una fuerte demanda de compra de unas determinadas acciones, pero baja disposición para la venta, su precio subirá. Si sucede lo contrario, baja demanda de compra, pero alta disposición de órdenes de venta, el precio de los títulos se desplomará. En ambos casos no existe un equilibrio, por lo que este estará desplazado en uno u otro lado. En el caso de que las órdenes de compra y de venta estén compensadas, porque hay muchas o

porque apenas las haya, se establecerá un equilibrio tal, que el precio de la acción no se moverá prácticamente.

Anticiparse, pronosticar o adivinar cómo se comportarán los mercados financieros, es una tarea casi propia de futurólogos, que escapa de la ciencia. No obstante, al igual que la Física Clásica no fue capaz de justificar la naturaleza y comportamiento a escala atómica de la materia y tuvo que echar mano de la Estadística para llegar a la Física Cuántica, las matemáticas financieras también utilizan la estadística para, a partir de comportamientos pasados en los mercados financieros, ser capaces de predecir comportamientos futuros. Es el llamado análisis técnico de un valor.

A continuación, se hará un breve repaso de los indicadores de bolsa más utilizados para anticipar comportamientos.

Los ciclos bursátiles hacen referencia a las variaciones a lo largo del tiempo que experimentan las cotizaciones de los valores cotizados (véase Figura 13. Arriba). Normalmente, se producen fases de crecimiento, expansión (de mercados alcistas) y fases de decrecimiento, de recesión (de mercados bajistas). Este comportamiento recuerda al de las reacciones oscilantes (reacción de Belousov-Zhabotinsky, o Reacción BZ).^[19] Estas “parecen” que nunca llegar al equilibrio y permanecen oscilando con un patrón repetitivo, durante un período de tiem-

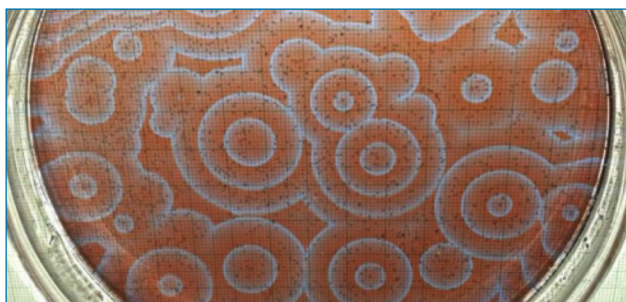


Figura 13. Arriba: Ciclos bursátiles acontecidos en la cotización de la empresa petrolera Repsol durante los últimos 15 años. Abajo: La reacción redox BZ en la que se oxida el ácido malónico por bromatos en un medio ácido y en presencia de sales de cerio, mediante ciclos de oscilación en el tiempo

po significativo y evolucionan de manera caótica (véase Figura 13. Abajo). De hecho, son el ejemplo por antonomasia de la teoría del caos.

Otros indicadores estadísticos muy utilizados en los mercados de valores son el RSI (*Relative Strength Index*) y el MACD (*Moving Average Convergence Divergence*), que pueden llegar a ser ajustados a períodos cortos de duración, al contrario que los ciclos bursátiles que se prolongan en el tiempo. Ambos son indicadores tipo oscilador, que se pueden ajustar al período que se desee y son susceptibles de ser comparados también, con las reacciones oscilantes BZ.

El RSI mide la fuerza con la que actúa la oferta y la demanda de un valor determinado en un momento de tiempo, éste se expresa en porcentaje (de 0 a 100). El MACD muestra la fuerza con la que actúa la oferta y la demanda, basándose en medias móviles de cotización de largo y corto plazo, y se expresa normalmente en valores entre 1 a -1.

El seguimiento de la cotización de los valores con el tiempo, puede dar lugar a determinados patrones, que normalmente dan lugar a que otra acción en las mismas condiciones, reaccione de la misma manera, aunque pertenezcan a otro sector empresarial. Estos son los patrones llamados de banderín, bandera y *wedget*, que anticipan períodos de bajadas, incertidumbre y períodos alcistas, respectivamente (véase Figura 14). Volviendo a la similitud con los equilibrios químicos, en los mercados bursátiles ocurriera todo lo contrario a la búsqueda de equilibrio de reacción que se alcanza en Química. En los mercados de valores, la aparición de alguno de estos patrones, es sinónimo de que la oferta y la demanda se está igualando y, en cualquier momento, el mercado va a romper este equilibrio bruscamente.

Otro tipo de metodología de análisis bursátil es el llamado análisis fundamental, basado en investigar una empresa determinada, hasta calcular, considerar y asignar un precio hipotético a dicho valor y, con ello, compararlo con el precio actual de cotización, para anticipar su comportamiento para invertir. Para un científico, realizar un análisis fundamental de ciertos sectores empresariales, desde el punto de vista del estado del arte, no debería ser complicado. Obviamente, los sectores de empresas que tienen más presencia de la Química son las petroleras, las farmacéuticas, las químicas, agua, alimentación, etc. Pero en cualquier sector seguro que seríamos capaces de encontrar alguna presencia de la Química.

PATRONES: BANDERIN, BANDERA Y WEDGET



Figura 14. Patrones que muy comúnmente se presentan en la cotización de los activos de la renta variable, y que por empirismo, anticipan cambios bruscos en la cotización



Figura 15. Estampas de tulipanes exóticos infectados con el virus del mosaico o tulip breaking virus (TBV), que le hace tener unas bonitas combinaciones de coloraciones

No se puede terminar esta sección, sin hacer una reseña a lo que supuso el primer crack bursátil de la Historia (en 1637). Provocado por la búsqueda de tulipanes cada vez más exóticos en color y aspecto (véase Figura 15), por combinaciones de ondas del espectro electromagnético visible más extrañas. Todo ello, llegó a convertirse en la primera gran de “burbuja” financiera de la Historia.

Renta Variable. Acciones no cotizadas en Bolsa

Invertir en empresas no cotizadas respecto a las anteriores, básicamente se diferencia respecto a las que sí cotizan, en que en las primeras no existen tantas fluctuaciones a corto plazo del precio de valor de los títulos adquiridos al invertir en ellas. Pero este tipo de inversión supone un riesgo idéntico. El análisis fundamental servirá para la elección de en qué sector empresarial invertir.

Dentro de este apartado destacaremos la inversión en empresas de base tecnológica (EBT), spin-off, start-ups, empresas de capital riesgo (venture capital) y transferencia de conocimiento en general en el ámbito de la Química. Siendo una aplicación ideal para el sector I+D+i. Todas estas variantes ofrecen a los investigadores la posibilidad de llevar a la práctica empresarial sus proyectos o invertir en otros que les parezcan sugerentes.

El ejemplo de empresa de transferencia tecnológica de éxito lo tenemos en Tesla Motors, Inc., que diseña, fabrica y vende automóviles eléctricos, basando gran parte de sus patentes de explotación en las baterías de litio. Esta empresa ya hoy día cotizada, salió a bolsa en 2010 a un precio por acción de 17 USD; en julio de 2020, alcanzó los 1.650 USD de cotización en NASDAQ.

Otros ejemplos son empresas que dedican su actividad a actuaciones en relación con la Química sostenible, la Química verde, tratamiento de residuos, catalizadores, etc.

Materias Primas en Tiempo Real »

Energía »

| Materias primas : | Mes : | Último | Anterior | Máximo | Mínimo | Var. : | Var. % : | Hora : |
|--------------------------|----------|--------|----------|--------|--------|---------|----------|--------|
| 🇺🇸 Petróleo Brent | Ago 2016 | 49,38 | 47,19 | 49,40 | 47,01 | +2,19 | +4,64% | 17/06 |
| 🇺🇸 Petróleo crudo | Jul 2016 | 48,26 | 46,21 | 48,29 | 45,84 | +2,05 | +4,44% | 17/06 |
| 🇺🇸 Gas natural | Jul 2016 | 2,643 | 2,580 | 2,647 | 2,559 | +0,063 | +2,44% | 17/06 |
| 🇺🇸 Aceite de Calefacción | Jul 2016 | 1,4877 | 1,4229 | 1,4888 | 1,4190 | +0,0648 | +4,55% | 17/06 |

Metales »

| Materias primas : | Mes : | Último | Anterior | Máximo | Mínimo | Var. : | Var. % : | Hora : |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|----------|--------|
| 🇺🇸 Oro | Ago 2016 | 1.301,75 | 1.298,40 | 1.302,60 | 1.279,50 | +3,35 | +0,26% | 17/06 |
| 🇺🇸 Plata | Jul 2016 | 17,515 | 17,607 | 17,525 | 17,205 | -0,092 | -0,52% | 17/06 |
| 🇺🇸 Cobre | Jul 2016 | 2,054 | 2,048 | 2,073 | 2,046 | +0,006 | +0,29% | 17/06 |
| 🇺🇸 Platino | Jul 2016 | 970,95 | 978,30 | 983,15 | 963,40 | -7,35 | -0,75% | 17/06 |

Figura 16. Cotización de materias primas energéticas y metales en tiempo real. Principalmente se cotizan en la Bolsa de Metales de Londres (LME), la Chicago Board of Trade (CBOT) y la New York Mercantile Exchange (NYMEX)

Commodities o Materias Primas

En los mercados de Commodities se negocia con bienes no manufacturados a nivel mundial y de manera descentralizada. Realizándose transacciones tanto a presente como a futuro o, como opciones de compra.

Para la Química (véase Figura 16) destacan los productos energéticos en relación con el petróleo, gas, combustibles, etc., y los metales, donde se negocia con el precio del oro, plata, cobre, platino y, sobre todo, de especial importancia hoy día, las tierras raras.

Fuera de este activo financiero pero en relación con las tierras raras, cabe especial mención la labor que la empresa española Sacyr, está realizando a través de su filial Valoriza Minería,^[20] para conseguir recuperar de minas antiguas españolas (Figura 17), todo aquel mineral de tierras raras desechado en su momento y, que parece contener el subsuelo peninsular en abundancia.^[21]



Figura 17. Explotación por la empresa Sacyr de antiguas minas para la recuperación de elementos químicos de Tierras Raras

COLECCIONISMO

En el coleccionismo como inversión (o en las aficiones), cabe todo objeto imaginable: cromos, vinilos, billetes de lotería, juguetes, objetos antiguos, etc. Aunque utilizar las aficiones como inversión, normalmente no tiene un beneficio que supere a la inflación, incluso a muy largo plazo. En este apartado, nos detendremos en el Arte, la Numismática y la Filatelia.

Arte y patrimonio

Huelga comentar la relación existente entre las obras de arte con todo material químico imaginable, pinturas, tintes, mármoles, metales, etc.

Desde el punto de vista financiero, ganar dinero invirtiendo en obras de Arte, es muy complicado. Incluso invirtiendo a muy largo plazo, es difícil sacar rentabilidad, más allá de que una obra de arte pase de generación en generación y realmente se revalorice en valor. La inversión en Arte no solo ha de ser una acción privada, sino que ha de ser fomentada por los gobiernos para aumentar su patrimonio cultural.

Podemos encontrar en escultura algún ejemplo de la presencia de la Química, como el “Atomium” de Bruselas que se puede apreciar en la Figura 18, que representa la celda unidad cristalina cúbica centrada en el cuerpo del hierro.

En Pintura, la aparición de imágenes cotidianas donde la Química haya sido el tema elegido, ha sido poco recurrente. Pero sí encontramos algunos ejemplos donde la Alquimia es la protagonista, como las obras de arte mostradas en la Figura 19 del pintor Hendrick Heerschop.



Figura 18. Situado en el parque de Heysel en Bruselas (Bélgica), se encuentra el monumento llamado “El Atomium”, formado por una estructura de 102 metros de altura construida para la Exposición de Bruselas de 1958. Representa un cristal de hierro



Figura 19. Tres cuadros de Hendrick Heerschop (1626-1690), “El alquimista”, “Un experimento de química se prende fuego”, “Un alquimista haciendo oro”. (Bader Collection, copias de los cuales fueron distribuidos por la compañía Aldrich Chemical Ltd.)

Como ocurre en otras disciplinas, en el Arte existen las falsificaciones, que incluso aplicando las técnicas más precisas para detectar fechorías, asignar autorías, etc. Por ejemplo, discernir los pigmentos utilizados en pintura, en un determinado siglo o descartar el uso de colorantes más modernos que aparecen en obras muy antiguas, nunca se estará seguro 100% de estar acertando en el veredicto del peritaje. Las técnicas tradicionales en esta labor forense son la fluorescencia de rayos X, las espectroscopias FTIR, Mößbauer, Raman,^[22] etc. (véase Figura 20).



Figura 20. Sala de los Polícromos de la Cueva de Altamira, cuyos pigmentos fueron estudiados por análisis Raman *in situ*^[22]



Figura 21. Sellos emitidos con Correos, en el Año Internacional de la Química y en el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos

Filatelia

En Filatelia, la aparición de la imagen en sellos de figuras relevantes de la Ciencia en general y, de temas en relación con ellas a nivel mundial, sí ha sido un tema mucho más recurrente que en otras disciplinas. Incluso, la aparición de estampas con la imagen de la Tabla Periódica o elementos de ella, aparece repetidamente en los sellos de diferentes países.^[23] En la Figura 21, podemos observar dos ejemplos españoles recientes.

Piedras Preciosas

Con la inversión en piedras preciosas (diamantes, esmeraldas, zafiros, rubíes, ámbar, etc., véase la Figura 22) sucede un poco como con el resto de piezas de coleccionismo. Es difícil obtener beneficios desde la inversión inicial superando la inflación, salvo en casos contados.

Además, en este activo financiero, también aparecen con mucha frecuencia las falsificaciones. Las mismas técnicas espectroscópicas numeradas en la sección de Arte para luchar contra los fraudes, son válidas para éste. Destacando por encima de ellas, la espectroscopia Raman.^[24]



Figura 22. Colección de piedras preciosas más valiosas como activo



Figura 23. Uso de partículas de oro en suspensión en vinos espumosos contemporáneos.

Enología

Dentro de este punto general de coleccionismo, se puede llegar a incluir la enología, por toda la química (fermentación, acidez, taninos, polifenoles...) que lleva consigo esta disciplina y, considerar la recopilación de vinos antiguos por parte de los amantes y de los paladares más exquisitos, como un activo financiero más. Merece la pena incluir en este punto el uso de técnicas innovadoras en la enología moderna, que se valen del empleo de dispersiones de partículas de oro en vinos espumosos, tal y como se puede observar en la Figura 23.

CONCLUSIONES

En el presente manuscrito se han mostrado como la Química y las Finanzas, dos disciplinas que en principio parecen estar tan alejadas en materias, no lo están. Encontrando nexos de unión y la aparición de los rasgos propios de la Química, en la mayoría de activos financieros de alguna u otra manera. Por lo tanto, la próxima vez que el lector se aventure a invertir, piense en Química primero, porque quizás sabe más de finanzas de lo que cree.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hernández-Jiménez, G. Educación financiera partiendo de cero. Editor: CreateSpace Independent Publishing Platform; Edición: 1 (2014). ISBN-10: 1495247481; ISBN-13: 978-1495247484.
- [2] Keynes, J. M. A Treatise on Money. Vol. I: The Pure Theory of Money. Pp. 363. Vol. 2: The Applied Theory of Money. Pp. 424. London: Macmillan and Co., Ltd., (1930). ISBN 10: 0333107241; ISBN 13: 9780333107249.
- [3] Williams, J.; Eagleton, C. Historia del dinero. Paidós (2009). ISBN 978-84-493-2294-5.
- [4] Hoang, P.; Ducie, M. Cambridge IGCSE and O Level Economics 2nd edition. Hodder Education (2018). ISBN 9781510420205.
- [5] Periódico Litoral de Granada. <https://bit.ly/3oyuB8e> (consultado el 1 de agosto de 2020)

- [6] "Lydia". Encyclopædia Britannica. <https://bit.ly/3e3imvG>, visitada 1/08/2020.
- [7] Klein, C.; Cornelius S. Jr. Hurlburt. Manual de Mineralogía. Ed. Reverté, Barcelona (1997), ISBN978-84-291-4606-6.
- [8] Record, N. Currency Overlay (The Wiley Finance Series, 2003). ISBN-10: 0470850272; ISBN-13: 978-0470850275.
- [9] Escobar Gallo, H. Diccionario económico financiero (3a ed edición, 2006). Universidad Medillin. p. 156. ISBN 9589794483.
- [10] Blog de Economía, <https://bit.ly/35Kvlpj>, visitada el 1/07/2020.
- [11] Grant J. How Bullion Lost Its Luster? Wall Street Journal. Artículo periodístico (2009). <https://on.wsj.com/3owoSQL>, visitado el 1/07/2020.
- [12] <http://www.bde.es/> (consultado 1 de julio de 2020)
- [13] Morgan, V. E. Historia del dinero. Ediciones Istmo, 1972. ASIN: B00ANP3BWG
- [14] European Central Bank: <https://bit.ly/34BIwSY>, visitada 01/08/2020.
- [15] Gee, W. J. Review. *Aust. J. Chem.* (2019) <https://doi.org/10.1071/CH18502>
- [16] Australian migration service, <https://bit.ly/31KQ4Bh>, visitada 01/08/2020.
- [17] Artigas, J. M.; Perea, P. C.; Ramo, J. P. (2002) Tecnología del color. Universitat de València. ISBN 9788437054360.
- [18] Schueffel, P.; Groeneweg, N.; Baldegger, R. (2019). The Crypto Encyclopedia: Coins, Tokens and Digital Assets from A to Z.
- [19] Hudson, J. L.; Mankin, J. C. (1981). "Chaos in the Belousov-Zhabotinskii reaction". *J. Chem. Phys.* 74 (11): 6171-6177. doi:10.1063/1.441007.
- [20] Sacyr, <https://bit.ly/3jCKkiS>, visitada 01/08/2020.
- [21] Diario ABC, <https://bit.ly/35JAK2m>, visitada 01/08/2020.
- [22] Rull, F. *et al.* (2002). A preliminary study of archaeological materials in Altamira (Spain) cave using XRD, IR and Raman techniques. 5th GeoRaman, Acta Universitatis Carolinae. *Geologica*, 16 (1) p. 79.
- [23] Diario Herald, <https://bit.ly/3e5B1XM>, visitada 01/08/2020.
- [24] Bersani, D.; Lottici, P. P. Raman spectroscopy of minerals and mineral pigments in archaeometry. *J. Raman Spectrosc.* 2016, 47, 499-530.



EuChemS reconoce el primer Historical Landmark europeo en España: las Minas de Almadén

Antonio M. Rodríguez García, Enrique Díez Barra, Luis Mansilla Plaza y María Antonia Herrero Chamorro

Resumen: Las Minas de Almadén han sido distinguidas con el premio a nivel europeo EuChemS Landmark en reconocimiento al papel que desempeñaron en la historia de la química y el espíritu europeo de identificación entre las personas y las ideas. Almadén está situada al suroeste de la provincia de Ciudad Real (Castilla-La Mancha). Almadén, que fue reconocido como Patrimonio de la Humanidad en 2012, es un ejemplo típico de sitio minero histórico que produce mercurio. Estas minas tienen un papel esencial en la historia de la humanidad, desde la antigüedad hasta la actualidad.

Palabras clave: Almadén, mercurio, minería, EuChemS.

Abstract: The Mines of Almadén have been awarded the EuChemS Historical Landmarks Award, european level, in recognition of the role they played in the history of chemistry and european sense of belonging between people and ideas. Almadén, which was recognized as a World Heritage Site in 2012, is located in the province of Ciudad Real (Castilla-La Mancha). Almadén is a typical example of a historic mining site producing mercury. These mines have an essential role in the history of humanity, from ancient times up to the present day.

Keywords: Almadén, mercury, mining, EuChemS.

INTRODUCCIÓN

La candidatura de Almadén y sus minas promovida por la Real Sociedad Española de Química en febrero de 2020, ha recibido por unanimidad el sello internacional Historical Landmarks, nivel europeo, que concede la European Chemical Society (EuChemS). Esta Sociedad Europea de Química es una organización paraguas que representa a las Sociedades Químicas nacionales y a otras organizaciones relacionadas con la química en Europa. La candidatura fue presentada por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y con el soporte de otras sociedades como la Sociedad Española de Química Analítica (SEQA) y la Sociedad Portuguesa de Química (SPQ).

De igual forma contó con los apoyos del Ayuntamiento de Almadén, Vicerrectorado de Investigación y Política Científica de la Universidad de Castilla-La Mancha, Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén (UCLM), Minas de Almadén y Arrayanes S.A. (MAYASA), Diputación Provincial de Ciudad Real y Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha, entre otros.

EuChemS, estableció hace dos años un programa de reconocimiento de Hitos Históricos de la química al considerar que esta ciencia es una parte integral del patrimonio cultural de Europa. Este programa pretende reforzar el sentido de pertenencia de los químicos europeos y también dará al público en general una idea de cómo la química forma parte del patrimonio cultural y de la historia de cada ciudadano europeo.

Almadén se encuentra al suroeste de la provincia de Ciudad Real (Castilla-La Mancha, España). Es una zona de transición entre el Valle del Guadalquivir y la Submeseta Sur y está situada junto a la vía 29 del itinerario Antonino de calzadas romanas que unía Caesaragusta (Zaragoza) con Emérita Augusta (Mérida). El sitio forma parte de la serie propuesta y constituye uno de los ejemplos más notables de minas de mercurio en el mundo. Por ello, han tenido un papel esencial en la historia de la humanidad, desde la antigüedad hasta la actualidad. En 2012 fue reconocido como Patrimonio de la Humanidad y ahora EuChemS destaca su contribución a la historia de la química.

Su momento de mayor importancia, históricamente hablando, es cuando suministraron el mercurio para ser enviado a América a través del Camino Real Intercontinental del Imperio Español, desde Europa a la América



A. M. Rodríguez García¹

E. Díez Barra¹

L. Mansilla Plaza²

M. A. Herrero Chamorro¹

Universidad de Castilla-La Mancha

¹ Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas Avda. Camilo José Cela 10, 13071 Ciudad Real

² Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén Plaza Manuel Meca s/n, 13400 Almadén

C-e: mariaantonia.herrero@uclm.es

Recibido: 23/10/2020. Aceptado: 25/11/2020.



Imagen 1. Cristal de cinabrio



Imagen 2. Pozo de San Aquilino

Española. Data de la segunda mitad del siglo XVI cuando el proceso de amalgamación del mercurio hizo posible la explotación a gran escala de los metales preciosos de la América Hispana. Europa y América estaban estrechamente unidas en una estructura que unía puertos y ciudades a través de España y Portugal. Los pueblos y los nodos de comunicación aseguraban la estabilidad de los monopolios comerciales y otros valores culturales y espirituales, el cual ha perdurado hasta el día de hoy.

El mercurio es un elemento metálico que posee ciertas características de interés para el hombre. Es el único elemento metálico que se presenta en estado líquido a temperatura ambiente. Además, su mineral más común, el cinabrio (HgS) es de color rojo brillante, lo que hizo que fuera muy apreciado en el pasado para el adorno personal (Imagen 1). Sin embargo, tanto el mercurio como los compuestos más comunes son tóxicos, algunos de ellos pueden causar severos trastornos de salud en los seres humanos (particularmente en el sistema nervioso). Su toxicidad condujo a una reducción progresiva de los usos industriales del mercurio hasta el año 2011 cuando la Unión Europea prohibió su comercio dentro de su ámbito de actuación. El mercurio es obtenido sólo en unas pocas minas en todo el mundo. Almadén es el mayor yacimiento minero del mundo, una representación de una compleja e intercomplementaria ingeniería minera de mercurio y el desarrollo industrial y técnico relacionado con ella y del que se tienen noticias desde mucho antes de la llegada del Imperio Romano a la Península Ibérica.

Almadén también ofrece un panorama completo de los diferentes usos y utilidades del mercurio a lo largo de la historia.

El territorio de las minas de Almadén comprende elementos de diferentes tipos y escalas que incluyen aspectos geológicos, geográficos, paisajes, senderos, las minas, obras de ingeniería y el centro histórico de Almadén. El área propuesta para su inclusión en la nominación comprende los siguientes activos:

La Mina de Almadén con todos los componentes correspondientes a la propia mina, las galerías y pozos, las áreas de procesamiento de mineral y metal, los talleres, las escombreras y los edificios administrativos y sociales (Imagen 2).

El centro histórico de Almadén, desde la mina hasta la Plaza de la Constitución junto con el Castillo de Retamar (siglo XI), la Casa Academia de Minas (siglo XVIII) (Imagen 3), y los edificios que rodean las minas.



Imagen 3. Academia de Minas



Imagen 4. Plaza de Toros

Elementos de alto valor fuera del centro histórico de la ciudad y de los límites del conjunto propuesto: Restos arqueológicos de la Real Cárcel de Forzados, el Hospital Real de Mineros de San Rafael y la Plaza de Toros (Imagen 4), todos ellos del siglo XVIII.

ELEMENTOS CLAVES DE LA NOMINACIÓN

El mercurio puede ser un “elemento del pasado”; por lo tanto, no se trata de reivindicarlo sino de preservar su historia, ponerla de manifiesto y hacerla al tiempo que patrimonio universal, referencia cultural europea. Por eso, la nominación incluye un rasgo distintivo de sus vínculos históricos y la amplia integración en un marco histórico. La importancia del mercurio en la historia y sus procesos es un relato sobre el avance del enfoque científico, lo que confiere un valor universal excepcional a esta propuesta que contempla valores culturales tan excepcionales, desde el punto de vista de la historia, la ciencia y la tecnología, que su importancia trasciende las fronteras de los países, adquiriendo una importancia universal, tanto para la generación actual como para las venideras.

Así, el mercurio ha estado presente como un elemento vital que articula un proceso que dura siglos y que puso en contacto varias partes del mundo. Este proceso contribuyó de manera significativa a la formación de las culturas a ambos lados del Atlántico. Esta fecundación cultural fue bilateral, ya que hubo intercambios en ambas direcciones, con lo que se añadió valor a todas ellas como parte del proceso histórico mencionado anteriormente. Estos intercambios fueron principalmente científicos, técnicos y tecnológicos, y proporcionan evidencia de momentos significativos en la historia de la humanidad.

En cuanto a su singularidad, las minas de Almadén son los yacimientos minerales más importantes del mun-

do en su género, así como las acumulaciones más significativas de tecnología en la producción de mercurio en la historia de la humanidad. La prueba es el volumen de producción de mercurio alcanzado, el mayor de la historia. También está presente a partir de las pruebas materiales, instrumentos e instalaciones, las cuales se han conservado allí en un grado excepcional. Además, Almadén es el ejemplo más representativo del mundo de sitios mineros históricos que producen mercurio y conserva materiales de todos los procesos, métodos, técnicas y componentes para la producción de mercurio a lo largo de los siglos. El sitio propuesto, Almadén, sirvió como referencia durante los siglos de minería de mercurio. Su comercio, sus conocimientos, el dinero aportado y su cultura unieron a las naciones e influyeron en los cambios y desarrollos a escala mundial.

Los argumentos y datos que dieron fundamento a esta nominación proporcionan una lección sobre la evolución, a lo largo de los siglos, de los métodos y procedimientos científicos, tecnológicos y técnicos directamente relacionados con la producción y distribución del mercurio. Asimismo, demuestran cómo las actividades mineras dieron lugar a expresiones culturales particulares y determinaron características intangibles, únicas y específicas. La propuesta pone de manifiesto una especial relación de las personas con su entorno a lo largo de los siglos.

La minería, en sí misma una actividad depredadora, desarrolló una especie de estratificación a través de la historia que hoy podemos ver como un catálogo de variantes y alternativas de esta relación con el medio ambiente. Pero al mismo tiempo, la relación funcional entre las ciudades y las minas muestra claramente la integración física entre ambas. Destacan en esta nominación el alto grado de integridad y autenticidad, derivado de la conciencia de las comunidades de su importancia. Además, sus raíces y sentido de propiedad se evidencian en los materiales históricos de alta calidad que se encuentran en el sitio y en el alto nivel de mantenimiento del patrimonio.

INFLUENCIA CIENTÍFICO-TÉCNICA DE LAS MINAS DE ALMADÉN

La ingeniería minera ha sido el paradigma de la mina de mercurio a lo largo de la historia, gracias a los sistemas de explotación utilizados.

Las innovaciones y aportaciones técnicas o tecnológicas han pasado a la historia, es decir, no sólo se ilustra su evolución, sino que los propios elementos que conforman la producción minera consagran su valor en sí mismos, ya que han sido fruto de descubrimientos y soluciones innovadoras que permiten satisfacer las crecientes necesidades de producción o mejorar las condiciones de trabajo. Este último aspecto permitió abrir el abanico de aportaciones no sólo a la producción directa de mercurio sino al desarrollo de sistemas y métodos de construcción



Imagen 5. Baritel de San Andrés



Imagen 6. Horno de aludeles

y, en general, a la ejecución de obras y también a la planificación (Imágenes 5 y 6).

El desarrollo tecnológico se muestra no sólo en las minas, sino también en el trabajo realizado por mineros e ingenieros de minas que contribuyeron a dar forma al territorio minero e incluso al aspecto urbano de los pueblos, con edificios emblemáticos y singulares, demostrando la completa formación técnica que poseían los profesionales de la época y su hábil utilización de materiales, espacios y formas de uso.

El desarrollo de la minería no es un elemento aislado y exclusivamente técnico, sino un todo, una forma de dar forma a los diferentes elementos que componen el entorno de la mina, que van desde la dirección de trabajo hasta la forma de vida de sus habitantes. El modelo tenía tal valor que se exportaba a otros lugares prácticamente sin cambios, como se puede ver al otro lado del Atlántico.

El intercambio de influencias es evidente en la herencia creada por la producción, el transporte y el uso del mercurio junto con la historia. Estas influencias son científicas, técnicas y tecnológicas, vinculadas a la obtención de mercurio, pero también a otras actuaciones relacionadas con la actividad minera en general. El uso mismo del mercurio en el proceso es notable ya que generó un extraordinario y prolongado envío de metal desde Europa a América.

La producción minera comercial de metales preciosos comenzó en el continente americano con la llegada de los europeos y el establecimiento del Imperio Español en América. La producción de plata a gran escala en América requería la aplicación de tecnologías capaces de responder a esta demanda. Las contribuciones más significativas a la metalurgia en América, que más tarde permitió la producción masiva de plata, fue la aplicación de la amalgama de mercurio a la refinación de metales, puesta en marcha en la ciudad de Pachuca (México) por

el español Bartolomé de Medina en el año 1555. Esa fusión fue la fuerza motriz que cambió la mentalidad de la sociedad de la época, primero en los virreinos americanos –donde impulsó la fundación de nuevos asentamientos– y más tarde en las zonas de Europa donde existía una tradición de minería y metalurgia. A lo largo de su historia, la minería del mercurio acercó a las naciones e influyó en los cambios y el desarrollo mundiales a través del comercio, los conocimientos técnicos, la economía y la cultura (Imagen 7).

La creación de Academias, la promoción de estudios en el extranjero por parte de académicos de diferentes países de Europa y la incorporación de científicos extranjeros permitieron la construcción de una comunidad científica y técnica que, aunque incipiente, demostró su capacidad para trabajar en condiciones difíciles tanto en Europa como en los territorios americanos. Hay influencias en cuanto a los medios y los sistemas utilizados para el transporte, con

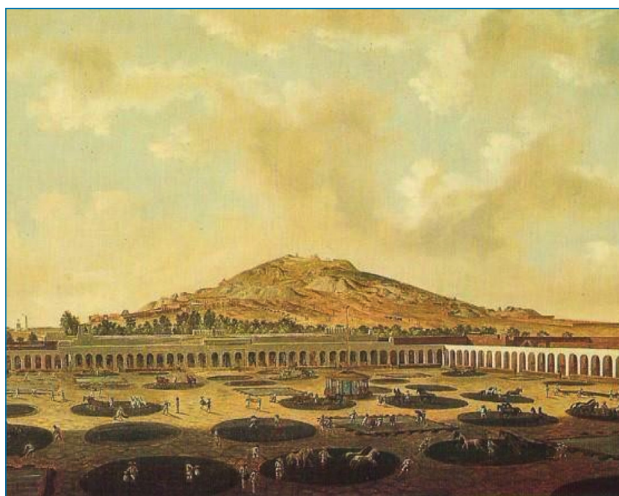


Imagen 7. Patio de amalgamación en Zacatecas (México)

una notable contribución de la construcción naval a ambos lados del Atlántico. Otras influencias pueden verse en la arquitectura, los patrones formales de las ciudades, el patrimonio inmaterial y los intercambios tecnológicos. El carácter transmisible y exportable de los conocimientos sobre la minería del mercurio perduraría incluso después del fin del dominio español en América. Las ciudades mineras presentan características urbanas genéricas que las distinguen claramente de otros tipos de ciudades, como la definición de los límites entre las zonas urbanas y rurales y la estructura interna de los establecimientos mineros.

La actividad de minas de Almadén, y de la Escuela de Ingenieros, facilitó otras aportaciones al avance de la química. Así, Fausto Elhuyar, director de la Escuela de Ingenieros de Almadén, junto con su hermano Juan José descubrieron el wolframio (W), que revolucionó la producción del mundo de los aceros. Por su parte, el vanadio (V), base de un gran número de aleaciones en la industria actual, fue descubierto por el mineralogista Andrés Manuel del Río, estudiante del mismo centro. Fausto Elhuyar regresó a Madrid desde Méjico en 1821, donde actuó como Director General de Minas desde 1822, realizando informes sobre diferentes minas de España (Almadén y Río Tinto entre ellas) y preparando lo que sería la primera ley de Minas actualizada a sus tiempos de la minería española (1825).

INFLUENCIA SOCIOLÓGICA DE LAS MINAS DE ALMADÉN

Como se ha comentado anteriormente el desarrollo de la minería involucra aspectos no solo técnicos sino también de todo lo que esta alrededor como puede ser la forma de vida de sus habitantes y este modelo se exportaba a otros lugares como se puede ver al otro lado del Atlántico. Hay claras pruebas materiales en ambos sitios del intercambio entre Almadén y con otras partes del mundo. Esto incluye los trabajos de la mina, los hornos de Bustamante, los hornos de Čermak-Spirek y otros elementos. La morfología urbana es notable en este sentido e incluso rasgos funcionales y técnico-formales específicos de la ingeniería civil y la arquitectura.

Se ha reconocido históricamente la importancia de este sitio y se le ha rendido homenaje, incluso hasta el punto de nombrar asentamientos mineros en los Estados Unidos (Nueva Almadén). Como resultado de ello, no se honró el origen de los fundadores, sino el descubrimiento de los yacimientos mediante los cuales se esperaba emular a los más importantes del mundo.

La especificidad geológica que dio origen a los yacimientos de mercurio y su posterior utilización en la producción de plata hace que las minas de Almadén representen ejemplos excepcionales de la interacción del ser humano con el medio ambiente, que ahora se ha hecho vulnerable con el cierre de las minas, siguiendo la política restrictiva vigente en materia de mercurio.

Junto con otros aspectos materiales, estas minas desarrollaron una cultura inmaterial muy singular y significativa, la cultura de la minería y, en particular, la de la producción de mercurio. En general, la dura vida de los mineros ha producido a lo largo de la historia manifestaciones específicas de una cultura con rasgos característicos.

Un caso particular es el de todas las culturas, de extraordinario impacto dramático, desarrolladas en relación con el trabajo de los trabajos forzados de la mina en Almadén. La cultura intangible y la artesanía (música, canto coral y manifestaciones artísticas) fueron principalmente el producto directo del trabajo de los familiares de los mineros o homenajes a su heroísmo cotidiano y, por tanto, símbolos.

IMPACTO DE LA NOMINACIÓN EN EL TERRITORIO

La propuesta inicial ya proporcionaba información de la labor previa de difusión a través de los ámbitos de la interpretación y la exposición con fines museísticos del desarrollo de la ciencia y la tecnología, así como de la difusión de la medicina preventiva y la prestación de servicios de atención de la salud. En Almadén, las minas y sus instalaciones son más que suficientes para mostrar la evolución de la ciencia y la tecnología en los campos de la geología, la mineralogía y la metalurgia, así como en la ingeniería minera y mecánica aplicada a la minería. Se ha producido un notable desarrollo de la educación en todos los niveles, principalmente como resultado del desarrollo de los valores civiles basados en el ejemplo histórico.

Las actividades para llegar más lejos en la comunidad local se centrarán en un programa de difusión pública con publicidad en los medios de comunicación social de las partes involucradas, así como en un medio más tradicional como publicaciones y la prensa local y regional (posiblemente incluso nacional) y la radio. La Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén estará disponible al público y con la posibilidad de desarrollar diferentes charlas invitadas con personalidades locales y nacionales pertinentes que hablaran sobre los méritos del desarrollo de este sitio para promover la investigación de la química del mercurio y la forma en que afectaba a la región, y al conjunto del país, y todos los aspectos relacionados con las diversas aplicaciones del mercurio.

Además, es perfectamente factible la visita acompañada a las antiguas minas, que se han promovido en los últimos años para hacerlas accesibles. En la actualidad, la zona correspondiente al primer piso de la mina de Almadén, a unos 50 m de profundidad, es la que tiene un valor histórico más significativo, y puede ser accesible al público. Los visitantes, tras recorrer las zonas de explotación de los siglos XVII y XVIII (métodos de



Imagen 8. Método de explotación minera por hurtos



Imagen 10. Pozo de San Teodoro e iglesia de San Sebastián

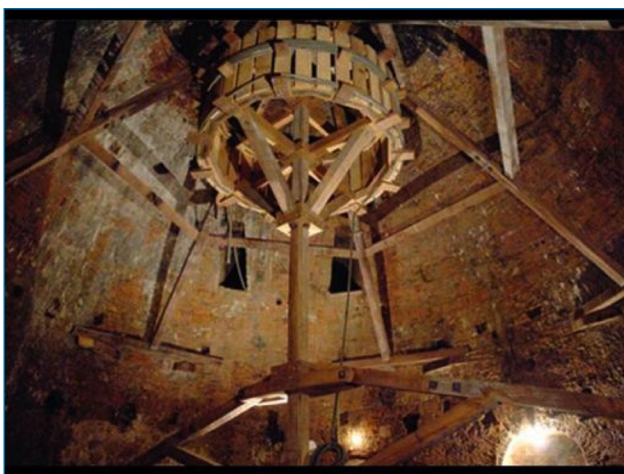


Imagen 9. Baritel y Malacate de San Andrés

laboreo de hurtos, testers, etc.), y los trabajos del siglo XIX y XX (Imagen 8), llegarían a la joya de la visita, el baritel de San Andrés con su majestuoso torno

(Imagen 9), la capilla Sixtina del patrimonio minero de Almadén y la galería de los trabajadores forzados por la que se llevaba a los convictos a trabajar en la mina desde la prisión (Real Cárcel de Forzados). Posteriormente, a través del pozo de San Teodoro (Imagen 10), se accede a una galería más alta, donde un tren minero transporta al grupo a la superficie.

Entrada la primavera se desarrollará una jornada en Almadén en la que la ciudadanía de Almadén estará invitada a ampliar a través de dos conferencias divulgativas su conocimiento del mercurio y de su propia historia; a lo largo de la jornada se hará entrega material de la placa que reconoce a minas de la localidad como Hito Histórico de la química europea.

AGRADECIMIENTOS

Junto a las instituciones que apoyaron la nominación, los autores quieren agradecer a las mujeres y los hombres de Almadén y su comarca que con su trabajo durante tantos siglos han hecho posible este reconocimiento.

Entrega de Premios RSEQ y Distinciones 2020

El pasado día 4 de noviembre tuvo lugar la ceremonia telemática, dada la situación epidemiológica actual, de entrega de los Premios y Distinciones de la RSEQ correspondientes a la edición anual 2020. En este acto también se entregaron las medallas y menciones honoríficas a los alumnos ganadores de la XXXIII Olimpiada Nacional de Química, las distinciones a los socios con 45 años de servicio a la RSEQ y un cariñoso homenaje póstumo a socios que han fallecido recientemente, pero con una larga trayectoria en la RSEQ.

Contó con la participación de 212 asistentes conectados desde 9 países, entre ellos 16 premiados, 11 socios con 45 años en la Sociedad, 9 miembros del cuadro de honor de la Olimpiada y 7 representantes de nuestros socios corporativos. En nombre de *Bruker Española* asistió Víctor García Pidal; por *Merck*, Pablo Recacha; por *BASF*, José María Carracedo; por *Janssen-Cilag*, Jesús Alcázar; por *Fundación CEPSA*, Juana María Frontela y por *UCB Biopharma*, Teresa de Haro.

A continuación se transcriben los discursos de la ceremonia.

DISCURSO DE APERTURA DEL ACTO

Presidente de la RSEQ, queridos amigos y compañeros. Buenos días.

Bienvenidos a este entrañable acto de entrega de premios y distinciones 2020 de la Real Sociedad de Química.

Estoy aquí invitada a la apertura de este acto como presidenta de la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE) y me gustaría exponer las líneas básicas de lo que es y hace la COSCE.

La COSCE, en sus 16 años de historia, ha conseguido agrupar a más de 80 sociedades científicas españolas entre las que se encuentran las de mayor prestigio y dimensión de nuestro país (como es la RSEQ). En su conjunto, representan a más de 40.000 científicos que desarrollan sus carreras profesionales en universidades, centros de investigación públicos, hospitales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) y empresas del sector privado.

La COSCE tiene entre sus principales objetivos el contribuir al desarrollo científico y tecnológico de España, actuando como interlocutor cualificado y unificado, tanto ante la sociedad civil como ante los poderes públicos, en asuntos que afecten a la ciencia y promoviendo



Dña. Perla Wahnón, presidenta de la COSCE

el papel de ésta como un elemento necesario e imprescindible de la cultura, lo que constituye un ingrediente intrínseco de la sociedad del conocimiento.

Todos somos conscientes de que la ciencia se ha convertido en la principal fuente de conocimiento, por lo que el conocimiento científico está en el foco de la inmensa mayoría de los debates que, a nivel global, se están produciendo, a pesar de que el sistema español de ciencia adolece de muchas carencias debido en gran parte a las deficientes políticas científicas desarrolladas en los últimos años.

Entre las actividades específicas de la COSCE está la de influir sobre los distintos niveles de la administración para conseguir sus objetivos y, con ello, hacer oír la voz de miles de científicos españoles de los más diversos campos del conocimiento. Al representar a más de 40.000 científicos, la COSCE es la agrupación más numerosa de toda Europa. Además, estos objetivos han sido un aliciente para el establecimiento de convenios y alianzas con entidades del mundo de la ciencia, como FACME (Federación de Sociedades Científicas Médicas), CRUE y SOMMa.

En estos momentos en los que España se enfrenta a los devastadores efectos económicos y sociales surgidos de la crisis de la COVID-19, tiene una especial relevancia impulsar los cambios en el Sistema Español de Ciencia, Tecnología e Innovación (SECTI) reclamados insistentemente por el colectivo científico en general y por la COSCE en particular.

La sociedad se ha concienciado de que la Ciencia y los científicos son imprescindibles para el desarrollo de la salud de la sociedad. Pero se ha de concienciar también de que esto depende del desarrollo de la Ciencia

Todas las noticias deberán enviarse a Elena Sáez Barajas elenasz@ucm.es
Su publicación es discrecional al Comité Editorial de *Anales*.

en todos sus ámbitos y de su financiación continuada y sostenida; no sólo de una parte de ella, la biosanitaria, crítica en el momento actual, sino de la totalidad de la Ciencia. Las aportaciones a corto plazo a las disciplinas biomédicas son totalmente comprensibles y necesarias, pero las distintas ramas de la Ciencia están relacionadas, por lo que es necesario para el avance de cualquier disciplina una inversión equilibrada en su conjunto.

Es, por tanto, necesario realizar una serie de reformas en el sistema de ciencia e innovación que dé apoyo al personal investigador: estabilidad a la carrera de los científicos de todas las áreas de conocimiento; apoyo a la atracción de talento; reducción de las trabas burocráticas; interacción eficaz con el sector productivo impulsando la transferencia de conocimiento y la colaboración público privada, de forma que permita alcanzar la excelencia en la investigación, proporcionándole la capacidad para retener y orientar el talento y responder de forma eficaz a las necesidades de la sociedad española.

El Gobierno presentó el viernes pasado el proyecto de los Presupuestos Generales del Estado para 2021. Después de años de recortes, la partida destinada a investigación y ciencia consolida el cambio de tendencia iniciado en los presupuestos anteriores, pues el gasto previsto para I+D parece aumentar en un 5,1% respecto al presupuesto de 2020. Es un avance, pero sigue siendo insuficiente. Realmente necesita de una continuidad y un compromiso si queremos recuperar todo lo que hemos perdido.

La COSCE presentará y enviará próximamente a todas sus sociedades un informe sobre los PGE 2021 dedicado a I+D+i. Este estudio se enmarca en los proyectos, estudios e iniciativas en políticas científicas que realiza la COSCE habitualmente y entre los que se encuentran, además:

- El análisis y seguimiento de las políticas científica del Gobierno (Proyectos DECIDES) generando informes que estimulen el análisis crítico de las políticas científicas y formulando propuestas para su optimización.
- Los encuentros y debates con políticos y parlamentarios (Programa Conoceros) extendido actualmente a encuentros con europarlamentarios y creación de oficinas independientes de asesoramiento científico y tecnológico en el Gobierno y en el Parlamento (en el ejecutivo y el legislativo)
- Acciones como los debates electorales o las jornadas de sociedades anuales, como la que se realiza mañana en la COSCE dedicada a el planeta y que os animo a todos a participar telemáticamente.
- Análisis de la actividad científica desde una perspectiva ética: acuerdo de transparencia para el uso de animales.
- Y el Proyecto ACIERTAS, para facilitar la enseñanza de las ciencias en edades tempranas, mediante el uso de redes transversales colaborativas. Iniciativa que incide en el retorno social que la ciencia debe ofrecer. Y en el que participan muchos profesores miembros de esta sociedad.

No quiero terminar sin decir que la COSCE interactúa continuamente, mediante notas y comunicados de actualidad científica que nos afectan, con todas las sociedades miembros y, como no, con la RSEQ.

Felicito a todos los ganadores de los reconocimientos, premios y distinciones y es para mí un placer como química estar hoy aquí.



Antonio M. Echavarren, presidente de la RSEQ

Buenos días y bienvenidos a la celebración de los Premios de la Real Sociedad Española de Química en un año en el que estamos sufriendo la pandemia del coronavirus SARS-CoV-2. Desgraciadamente, por múltiples razones cuya discusión llevaría demasiado tiempo, España sigue siendo uno de países con mayor número de enfermos y muertos y en el que el impacto de la crisis económica provocada por la pandemia está siendo más severo.

Tampoco invita mucho al optimismo el que la ciencia siga estando infra financiada en nuestro país, que una buena parte de los jóvenes químicos con más talento decidan emprender carreras científicas en el extranjero por la simple razón de que aquí resulta mucho más difícil llevarla a cabo o que nadie se acuerde de la ciencia cuando se habla de mantener las actividades esenciales durante los confinamientos. Así, muy pocos se han cuestionado que nuestras universidades permanecieran cerradas durante meses, junto con sus laboratorios, mientras que el debate nacional se focalizaba en la apertura de bares y terrazas. En lo que se refiere a la Química, si algo está demostrando esta crisis es lo urgente que resulta para nuestra sociedad el disponer de mejores fármacos y, por lo tanto, de una mayor inversión en química médica y en industria farmacéutica.

Por otra parte, este es un acto de entrega de Premios y, por tanto, de celebración, por lo que el tono de esta presentación debe ser otro. Poniendo al “mal tiempo buena cara”, queremos agradecer con actos como este tantos que diariamente realizan la “feina ben feta” (el trabajo bien hecho) en el ámbito profesional de la química, ya sea en la frontera de la investigación, en la docencia o en la industria química.

Querría aprovechar este acto para, muy brevemente, recordar las líneas principales del trabajo de nuestro Equipo de Gobierno en los últimos tres años:

- Hemos querido dotarnos de mayor transparencia económica, así como de austeridad en el gasto. Para ello se han establecido medidas que mejoran el reparto de los fondos a Grupos y Secciones Territoriales, en línea con el carácter descentralizado de nuestra sociedad.
- Hemos modernizado nuevos estatutos adaptándolos a las necesidades de la RSEQ para los próximos años.
- Hemos emprendido acciones dirigidas a mejorar la implantación nacional de la RSEQ mediante el fortalecimiento de las secciones territoriales.
- Se ha abordado la creación de nuevos grupos, lo que se ha concretado en la constitución del Grupo de Química y Computación y, más recientemente, con un nuevo Grupo de Ciencia y Tecnologías (Bio)analíticas.
- Hemos querido fortalecer las relaciones con las Reales Sociedades de Matemáticas y de Física, más afines a nuestra sociedad, canalizando, por otra parte, las actuaciones de política científica a nivel nacional preferentemente a través de la COSCE.
- Consolidación de nuestra vocación europea e internacional a través de Chemistry Europe, Euchems y la IUPAC.
- Constitución de la Comisión de Olimpiadas para dar cauce a la organización por parte de la RSEQ de las Olimpiadas de Química tanto a nivel local, nacional como internacional.
- Creación del ciclo de conferencias RSEQ, inaugurado en octubre de este año.
- Hemos realizado un importante esfuerzo en mejorar los Premios de la RSEQ que han pasado de estar dotados en 2018 con una cuantía total de 21.000€ a 47.000€ en 2020 y se ha incrementado el número de premios a Jóvenes investigadores, creando dos categorías diferenciadas: Líderes de Grupo e Investigadores Postdoctorales. También hemos decidido que todos los premios se otorguen en una ceremonia única.

Por hacer las cosas bien hechas, quiero agradecer personalmente a los miembros de la Comisión de Premios que, como sabéis, de forma independiente a la Junta de Gobierno, seleccionan cada año a los mejores de entre decenas de candidatos. También quiero agradecer a los que, coordinados por nuestra Comisión de Olimpiadas, realizan la tarea de selección de los mejores estudiantes a nivel local. Este año, por primera vez en la historia de la RSEQ, celebramos en un acto único los premios de investigación y de tareas educativas junto a las medallas y menciones honoríficas de la Olimpiada Nacional de Química.

Naturalmente, también quiero agradecer a todos nuestros Socios Corporativos: Bruker Española, Lilly, Janssen-Cilag, BASF Española, Fundación CEPESA, Merck y UCB Biopharma por el apoyo que prestan a la Química.

Finalmente, es evidente que todo lo que hemos realizado hubiera sido imposible sin contar con un excelente Equipo de Gobierno coordinado por nuestra Secretaria General, la Dra. Sonsoles Martín Santamaría. Quiero agradecer también a Ruth Pérez, coordinadora de la web y comunicaciones, y, de forma especial, la dedicación y buen hacer de las personas que integran la secretaría técnica de la RSEQ: Patricia Yáñez-Sedeño, Coral Bastos e Ivett Aportela.

Queríamos empezar recordando a los miembros de nuestra sociedad fallecidos durante 2019 y 2020, que en varios casos hubieran completado este año los 45 años de servicios a la RSEQ:

- Alfredo Pérez Rubalcaba. Profesor de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid.
- José Antonio Campo Santillana Catedrático de Universidad Química Inorgánica (Vicerrector de Calidad de la UCM).
- Emilio Morán, Catedrático de Química Inorgánica en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense de Madrid.
- Enrique Pedroso Muller, Catedrático Emérito de Química Orgánica de la Universidad de Barcelona.

En nombre la Junta de Gobierno de la RSEQ quiero dar un abrazo a Pilar Goya (viuda de Alfredo Pérez Rubalcaba), Carmen López Isern (viuda de Emilio Morán) y a sus hijas y a Anna Grandas (viuda de Enrique Pedroso) y demás familiares y amigos que estén siguiendo este acto.



Alfredo
Pérez Rubalcaba



Emilio
Morán Miguélez

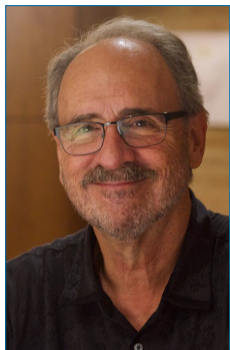


Enrique
Pedroso Muller



José Antonio
Campo Santillana

La **Medalla de la RSEQ** se ha concedido al Dr. Santiago Álvarez Reverter de la Universidad de Barcelona. Está patrocinado por Bruker Española y es entregado por su Director General D. Víctor García Pidal.



Para mí es un gran honor recibir este galardón que agradezco a la RSEQ, al jurado, patrocinadores y a quienes me propusieron. Al mismo tiempo, es un acicate para mantener la ilusión en estos tiempos de confusión y amenazas en los que hemos perdido a socios destacados y amigos a los que se les rinde un homenaje en este acto, al cual me sumo desde el fondo de mis sentimientos.

También me produce una gran alegría compartir este ciberespacio con los veteranos reconocidos hoy, colegas, amigos e incluso entrañables compañeros de aula, así como con los premiados por sus carreras académicas e investigadoras, una muestra de la buena química que se extiende por toda la “pell de brau” (la piel de toro) de Salvador Espriu. Igual que me alegra de manera superlativa ver en los jóvenes premiados una inmejorable representación de las generaciones que están ya tomando brillantemente el relevo a los que nos vamos jubilandos, desbordando nuestras fronteras geográficas y científicas. Esa joven generación de investigadores, con una indiscutible presencia de mujeres, ha derrochado inteligencia y dedicación dignas de un sistema de ciencia mejor dotado y más justo que ponga fin a los mecanismos que mantienen a muchos de ellos haciendo investigación de excelencia en situaciones de interinidad y con salarios indignos durante años.

En las circunstancias actuales, nuestra sociedad está convencida de que se merece una política científica que permita afrontar, con el arsenal de la ciencia, los grandes retos en sanidad, sostenibilidad, energía... Yo añadiría que ese arsenal debe partir de la raíz, no olvidando la importancia de la ciencia básica. Se le debe a la sociedad en su conjunto y muy especialmente a aquellos de las generaciones más jóvenes que empiezan a cultivar su interés por la ciencia, personalizados en este acto en los premiados de la XXXIII Olimpiada de Química, a los cuales felicito sinceramente.

Después de mirar hacia el futuro, permítidme ahora que haga un flash-back y comparta con vosotros algunas reflexiones sobre mi carrera científica, la que hoy recibe esta medalla de la RSEQ. Sin falsa modestia, nunca he tenido la sensación de estar haciendo grandes descubrimientos. Me he limitado a ir alimentando mi ilusión por aprender, por entender cómo son las moléculas, por qué son como son, por qué unas son más robustas que otras y tienen diferentes

formas, por qué son diferentes sus propiedades, espoleado por las dudas generadas al trasladar algunos conceptos desde los manuales a las aulas. En ese camino he puesto esfuerzo y muchas horas de pensar y analizar datos. Pero los pequeños descubrimientos, las reglas generales que rigen en diferentes familias de moléculas, estaban en el camino esperando a que alguien pasara por allí.

Quizá los hallazgos que me han proporcionado más satisfacción intelectual tienen que ver con la búsqueda de analogías entre algunos conceptos de la química y otros de campos muy diferentes pero próximos al común de los mortales. Así he intentado explicar algunos aspectos de la estereoquímica usando mapas como los geógrafos, y las interacciones no covalentes entre moléculas haciendo estudios estadísticos de estructuras cristalinas, no muy diferentes a un análisis sociológico de las personas que viajan en el mismo tren, autobús o avión, lo que me gusta llamar “sociología molecular”, que bebe en las fuentes de las correlaciones estructurales estudiadas por los cristalógrafos Bürgi y Dunitz.

Por simple honestidad, debo reconocer que para andar por ese camino han sido más importantes que mi propio trabajo quienes me pusieron al principio de la senda, quienes han llenado mi mochila de provisiones, quienes me han acompañado en trechos más o menos largos, quienes se han ocupado del reavituallamiento. A todos ellos, mis “circunstancias orteguianas”, les corresponde la mayor parte de esta medalla. Es obligado, por tanto, que en este momento agradezca públicamente las principales contribuciones:

De mis primeros contactos con el fascinante mundo de los orbitales, con la formación de cristales, mis primeros ensayos con pólvora y mis primeros (y últimos) cohetes lanzados a alturas muy discretas, así como de fomentar mi curiosidad, debo dar gracias a mi entorno familiar inmediato y a mis profesores de bachillerato en Panamá.

De aprovechar al máximo la formación con lagunas que nos ofrecía la universidad y de aprender a no olvidar a las personas y el entorno social en aras de la química, debo agradecer a compañeros de curso y profesores en la Universidad de Barcelona en el período convulso de 1968 a 1973.

Por mis primeras investigaciones teóricas en tiempos poco propicios, sin la ayuda de un grupo establecido, debo dar las gracias a Enric Canadell y Juan Novoa, con quienes compartí la emoción de excavar en el fértil territorio de las estructuras electrónicas de sólidos y moléculas.

Por haberme acogido durante más de 50 años y permitido desarrollar toda una carrera académica en un entorno propicio y estimulante, estoy agradecidísimo a la Universidad de Barcelona, compañeros de departamento y personal de bibliotecas y de servicios informáticos.

Por trabajar para consolidar una política de financiación de la investigación que ha permitido un desarrollo espectacular de la ciencia en España en las últimas décadas, debemos agradecer a personas como Juan Rojo, Luis Oro y Pedro Pascual. De esos esfuerzos parten las políticas que me proporcionaron la financiación de los correspondientes ministerios y de la Generalitat de Catalunya.

Por obsequiarme con su maestrazgo, con su personalidad y finalmente con su amistad, estoy agradecido a Roald Hoffmann, David Avnir y Michel Verdaguer, que han iluminado cada una de las tres principales líneas de mi investigación.

Por aceptarme como preceptor, hacerme aprender más de lo que yo les he podido enseñar y ser autores de gran parte de la investigación que he firmado, doy las gracias, por orden cronológico, a mis doctorandos Conchi López, Pere Alemany, Eliseo Ruiz, Gabriel Aullón, Ana Palacios, Maria Àngels Carvajal, David Casanova, Jordi Cirera, Jorge Echeverría, Toni Ruiz y Andrés Falceto, así como a un puñado de visitantes e investigadores postdoctorales.

Por acogerme con afecto en cuantas reuniones y conferencias he participado en esta Sefarad de nuestras cuitas y alegrías, es obligado agradecer a todos los colegas de esta Real Sociedad. La medalla que hoy me concede es sobre todo un símbolo de ese otro premio que he ido recibiendo a porciones a lo largo de todos estos años, el premio del estímulo, el intercambio de ideas y la amistad.

Por estar a mi lado y asumir mis ausencias físicas, y a veces mentales, y por llenar mi vida de infinidad de momentos gratos, agradezco a Marga, Marcos y Daniel, así como a Laia, Laura, Joana y Lua.

Como la medalla que se me concede deberá repartirse en tantos trocitos, me conformaré tan solo con la cinta que suele acompañar toda medalla. Para resumir, no se me ocurre nada mejor que parafrasear a Balzac diciendo que «me he dedicado a la química y he sido el hombre más feliz del mundo». Muchas gracias.

Los Premios Reconocimiento a Carreras Investigadoras Distinguidas, recayeron en el Dr. José Luis Alonso Hernández, de la Universidad de Valladolid, y en el Dr. Antonio Laguna Castrillo, de la Universidad de Zaragoza.



Logo of RSEQ (Real Sociedad Española de Química) and a circular portrait of Dr. José Luis Alonso Hernández.

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO DE RECONOCIMIENTO A UNA CARRERA DISTINGUIDA 2020

al Dr. José Luis Alonso Hernández

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.



Logo of RSEQ (Real Sociedad Española de Química) and a circular portrait of Dr. Antonio Laguna Castrillo.

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO DE RECONOCIMIENTO A UNA CARRERA DISTINGUIDA 2020

al Dr. Antonio Laguna Castrillo

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.

Los Premios a la Excelencia Investigadora que fueron entregados por los patrocinadores.



Logos of RSEQ, Janssen, and OTORGAN EL, and a circular portrait of Dr. Arjan W. Kleij.

La Real Sociedad Española de Química y

PREMIO A LA EXCELENCIA INVESTIGADORA 2020

al Dr. Arjan W. Kleij

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.

Jesús Alcázar de Janssen-Cilag fue quien felicitó y se dirigió al Dr. Arjan W. Kleij del Instituto Catalán de Investigación Química



Logos of RSEQ, BASF, and OTORGAN EL, and a circular portrait of Dr. Daniel Maspoch Comamala.

La Real Sociedad Española de Química y

PREMIO A LA EXCELENCIA INVESTIGADORA 2020

al Dr. Daniel Maspoch Comamala

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.

D. José M. Carracedo de BASF Española se dirigió al Dr. Daniel Maspoch Comamala del Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología ICN2-CSIC/UAB



Logos of RSEQ, Fundación Cepso, and OTORGAN EL, and a circular portrait of Dr. David Mecerreyes Molero.

La Real Sociedad Española de Química y

PREMIO A LA EXCELENCIA INVESTIGADORA 2020

al Dr. David Mecerreyes Molero

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.

En nombre de la Fundación CEPESA, Dña. Juana María Frontela hizo lo propio con el Dr. David Mecerreyes Molero del Centro Polymat de la Universidad del País Vasco



Logos of RSEQ, UCB, and OTORGAN EL, and a circular portrait of Dra. Cristina Nevado Blázquez.

La Real Sociedad Española de Química y

PREMIO A LA EXCELENCIA INVESTIGADORA 2020

a la Dra. Cristina Nevado Blázquez

Madrid, 4 de noviembre de 2020

El Presidente Antonio M. Echevarren and La Secretaria General Sosolés Martín Santamaría.

Dña. Teresa de Haro de UCB Biopharma se encargó de conceder el último reconocimiento de esta categoría a la Dra. Cristina Nevado Blázquez de la Universidad de Zúrich



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química y

MERCK

OTORGAN EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Líder de Grupo” 2020

al Dr. David Balcells Badia

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química y

MERCK

OTORGAN EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Líder de Grupo” 2020

a la Dra. Patricia Horcajada Cortés

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química y

MERCK

OTORGAN EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Líder de Grupo” 2020

a la Dra. Mónica H. Pérez Temprano

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química y

MERCK

OTORGAN EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Líder de Grupo” 2020

a la Dra. Olalla Vázquez Vázquez

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría

Premios a Jóvenes Investigadores en la modalidad **Líder de Grupo**. Todos los premios fueron entregados por D. Pablo Recacha en representación de Merck. Se reconoció el trabajo del Dr. David Balcells Badia de la Universidad de Oslo (arriba izquierda), de la Dra. Patricia Horcajada Cortés del Instituto IMDEA Energía (arriba derecha), de la Dra. Mónica H. Pérez Temprano del Instituto de Investigación Química de Cataluña (abajo izquierda) y de la Dra. Olalla Vázquez Vázquez de la Universidad de Marburg (abajo derecha)



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Investigador Postdoctoral” 2020

a la Dra. Ruth Dorel Bruscas

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Investigador Postdoctoral” 2020

al Dr. Antonio Franconetti García

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Investigador Postdoctoral” 2020

al Dr. Juan del Pozo del Valle

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría



Real Sociedad Española de Química

La Real Sociedad Española de Química

OTORGA EL

PREMIO JOVEN INVESTIGADOR
“Investigador Postdoctoral” 2020

a la Dra. Jessica Rodríguez Villar

Madrid, 4 de noviembre de 2020




El Presidente
Antonio M. Echavarren



La Secretaria General
Soledad Martín Santamaría

En cuanto a la **modalidad de Investigador Postdoctoral**, fueron reconocidos la Dra. Ruth Dorel Bruscas de la Universidad de Groningen (arriba izquierda); el Dr. Antonio Franconetti García de CIC bioGUNE (arriba derecha), el Dr. Juan del Pozo del Valle del Boston College (abajo izquierda) y la Dra. Jessica Rodríguez Villar del CNRS/Universidad Paul Sabatier (abajo derecha). Estos premios fueron entregados por D. Gonzalo Jiménez Osés, Presidente del Grupo de Jóvenes Investigadores Químicos de la RSEQ, y D. Antonio M. Echavarren

El Premio a Tareas Educativas y Divulgativas de Enseñanza Preuniversitaria recayó en el Dr. Juan Quílez Pardo del IES Lluís Vives, Valencia.



Julio Álvarez-Builla, Profesor Emérito, Universidad de Alcalá

«Lamento que la Física y la Química hayan ido perdiendo relevancia en la Educación Secundaria [...]. Estimo que se debería promover el estudio de estas disciplinas desde la base», reivindicó.



El Profesor Emérito Julio Álvarez-Builla portavoz en el **Reconocimiento a los socios con 45 años de servicio a la RSEQ**. Entrega el premio Antonio M. Echavarren.

Querida presidenta de la COSCE, querido presidente de la RSEQ, hoy tengo el honor de actuar de portavoz de los socios que hemos cumplido 45 años como tales.

Compañeros todos, en primer lugar hay que decir que ya el hecho de que hayamos cumplido un período tan largo de nuestra vida profesional dedicada a la química, e integrados en la Real Sociedad, indica que en todos nosotros la profesión, la pasión y el aprendizaje continuo han ido unidos, a lo largo de toda nuestra vida profesional, y que la Sociedad nos ha permitido la relación y el intercambio de conocimientos, así como ha sido vehículo de expresión y formación a través de sus actividades y de publicaciones como *Anales de Química*.

El que cumplamos 45 años como socios quiere decir que empezamos en 1975. Podríamos recordar ahora algunos datos que indican como ha cambiado el país y nuestra ciencia.

En 1975, el premio Nobel de Química se concedió a J. Cornforth y a V. Prelog, un premio a la estereoquímica. En 2020 se le ha concedido a J. Doudna y E. Charpentier por los desarrollos sobre la técnica CRISPR como herramienta de edición genética, que había sido descubierta hace años por el microbiólogo español F. Mojica. Los tiempos cambian y la química cambia también.

En 1975 nuestro país invirtió un 0,2% anual de su PIB en I+D; en 2019, España ha invertido 1,2%. De entonces a hoy, aunque la situación haya mejorado mucho, España aún sigue invirtiendo un bajo porcentaje de su PIB en I+D+i, pero es un buen productor de ciencia competitiva. Ha aumentado su presencia en los listados de científicos más citados, tiene grupos de investigación de primer nivel y, en nuestro panorama científico, la química es uno de los sectores en los que destacamos internacionalmente. Sin embargo, y con alguna excepción como Avelino Corma, nuestro país es todavía un productor moderado de patentes, pero es una potencia industrial relevante en el entorno europeo y mundial. Con todo esto, y aunque con el panorama que tenemos delante de pandemia y crisis asociada no podemos dar una visión excesivamente optimista del futuro inmediato, no cabe duda de que los problemas que nos acechan son típicos de los países del primer mundo, a diferencia de los que teníamos delante cuando empezábamos nuestra andadura profesional en el año 1975.

Haber vivido el cambio de nuestro país y haberlo hecho como actores que hemos contribuido con nuestro trabajo al avance de la ciencia y de la sociedad en su conjunto, es, sin duda, un esfuerzo que bien merece una vida.

Jacqueline Barton, cuando recibió la medalla Priestley de la ACS, dijo: «The next time someone asks you what you do, and you say “chemistry”, and they say “ugh,” please stop and tell them what you do, and what you are excited about» (Caltech’s Jacqueline K. Barton, 2015 recipient of the Priestley medal, the American Chemical Society’s highest honor. Citado en *Chem. & Eng. News* 21 Dic 2015, pág 27).

Gracias a la RSEQ por su generosidad al reconocer nuestra persistencia. Y enhorabuena a todos los senior, entre los que me incluyo, que cumplimos 45 años asociados. Muchas gracias.



En esta edición 2020, como novedad, se integró la entrega de las medallas y menciones honoríficas a los alumnos **ganadores de la XXXIII Olimpiada Nacional de Química**. Para la ocasión, se contó con las intervenciones de D. Jesús Arsuaga, Presidente de la Comisión de Olimpiadas; Dña. Leticia de Frutos Sastre, representante del Ministerio de Educación y Formación Profesional y Dña. Carmen Ramírez de Arellano, Presidenta de la Sección Territorial de Valencia, a cargo del Comité Organizador Local. D. Óscar Rodríguez Montoro, como Coordinador de las Olimpiadas, presentó a los ganadores.

A continuación, el discurso de Dña. Leticia de Frutos Sastre, representante del Ministerio de Educación y Formación Profesional.



Leticia de Frutos

En primer lugar, quería dar las gracias por haberme invitado a participar en este acto. Me siento muy honrada de estar rodeada de insignes investigadores y doctores que me recuerdan mi época en la universidad. Os felicito también por haber incluido en este acto la entrega de medallas de la Olimpiada Nacional de Química, ya que considero que para los jóvenes alumnos es gran un estímulo ver hasta dónde pueden llegar.

También quería dar las gracias al equipo de las Olimpiadas nacionales de Química, a Antonio, Jesús y Óscar, por la colaboración tan estrecha que han mantenido con el Ministerio, para hacer que sea posible la celebración de una Olimpiada con la que me siento muy involucrada al haber compartido con ellos la edición del año pasado.

Quisiera sobre todo felicitar a los alumnos que han participado este año en las Olimpiadas. No solamente a los ganadores, sino a todos los que se han esforzado por prepararse en unas circunstancias realmente complejas. Animarles porque, precisamente debido a lo difícil que

ha sido tener que afrontar la participación este año, es motivo aún de más para seguir con esa ilusión. Es momento de fomentar las capacidades y aptitudes que tienen y que están desarrollando gracias al apoyo de sus profesores, sus tutores, de la Real Sociedad Española de Química. En definitiva, el futuro, como han dicho ya otros que me han precedido, depende en gran parte de ellos, de su ilusión y de las ganas de seguir investigando y de intentar hacer este mundo un poco mejor.

Como representante del Ministerio de Educación y Formación Profesional quiero trasladaros el apoyo de la Ministra, Isabel Celaá, que ya en el acto de reconocimiento del año pasado dijo expresamente cómo era voluntad expresa la de apoyar este tipo de Olimpiadas para fomentar el espíritu crítico y la vocación científica de los alumnos y, especialmente, de las alumnas. Fomentar que cada vez haya más chicas que se dedican a los estudios STEM. También quiero trasladar el apoyo del Secretario de Estado de Educación, Alejandro Tiana, y del Director General de Planificación y Gestión Educativa, Diego Fernández Alberti, con el que trabajo estrechamente, y que de manera muy personal ha intentado apoyar en todo momento las Olimpiadas. Este año ha sido necesario modificar la resolución porque, evidentemente, no se podía celebrar de manera presencial, y ha tenido que celebrarse telemáticamente gracias al esfuerzo tremendo que han hecho desde la RSEQ y mis compañeros de la Unidad de Apoyo.

En 2021 intentaremos hacerlo mejor, proponiendo en la resolución una opción mixta que permita cubrir ambas circunstancias: presencial y telemática. Ojalá podamos volver a celebrarlo de manera presencial y compartir esos días que tanto enriquecen personalmente a los alumnos.

Muchísimas gracias a todos y felicidades a los premiados.



Valeri Gabriel Salov Draganov

Valeri Gabriel Salov Draganov (IES Juan de Herrera, San Lorenzo de El Escorial, Madrid) ganador de la **Medalla de Oro y ganador de la OEQ 2020**, nos ofreció el siguiente discurso de agradecimiento:

Quiero empezar dando gracias a mis padres, quienes consiguieron despertar en mí un gran interés por la ciencia a muy temprana edad y por inculcarme buenos valo-

res, gracias a mis hermanos y amigos, por influenciarme, motivarme y apoyarme siempre. Especiales gracias a mi querida profesora y entrenadora para esta olimpiada, Pilar Torres, por jamás limitarse a dar solo el temario “que entra en el examen”, por llevar a toda la clase al laboratorio para enseñar lo que hay más allá de las páginas del libro, por intentar llevar cada año la gran optativa como es ampliación de física y química, que despierta el interés en cualquiera y a los más interesados los convierte en fanáticos, por transmitir cada día sus conocimientos y amor a la ciencia y por dedicar tantas horas extra para prepararme para la Olimpiada, que sepas que eres una espectacular profesora, Pilar.

También he de agradecer a todos los organizadores de esta competición, por haberla hecho realidad, que aunque que eran malos tiempos para la lírica, jamás tiraron la toalla y lograron organizar una gran olimpiada online.

Sobre todo quiero agradecer este triunfo a Dios, por permitirme disfrutar haciendo ciencia, el lenguaje de la naturaleza. Es un inmenso privilegio descubrir y poder ver lo bella qué es la química, y la ciencia en general.

Mi gusto a la ciencia se remonta a la niñez, ya desde el primer día en el colegio mi asignatura favorita era la matemática. Me divertía resolver rompecabezas, sudokus, y todo tipo de juegos de ingenio. Sin embargo todo podría haber acabado en la simple y desafortunadamente común frase “de pequeño me gustaba la ciencia pero acabé por otro camino”. Pero tuve suerte y en vez de cesar mi apetito, este se convirtió en hambre gracias a EsTalMat, proyecto de desarrollo del talento matemático dedicado a chicos y chicas entre 12 y 15 años. Me motivaron a apuntarme a concursos regionales y aunque al principio no siempre conseguía quedar entre los primeros, sabía que era solo cuestión de tiempo y esfuerzo combinado con entusiasmo

y ganas. Fue en segundo de bachiller cuando tomé la decisión de participar en las tres olimpiadas científicas, química, mates y física, con el simple objetivo de convertir un año de mucho estrés y nervios en algo más sobrecogedor. En vez de pensar en la selectividad fui afortunado de agarrarme a algo más apasionante, atar mi vida a un meta que estaba a mi alcance, para así vivir cada día con un fin, esperar poder ir a las nacionales y soñar con viajar a alguna internacional, que aunque por desgracia no va a poder ser, estoy más que satisfecho y agradecido.

Pese a que ahora sea un estudiante de primer grado en la Universidad Complutense de Matemáticas, tengo la total certeza de que me cruzaré con la Química en el futuro: las Mates tienen mucho que contribuir a esta ciencia: probablemente la “matematización de la Química” podría dar lugar a grandes avances. Pero las aportaciones entre matemáticas y química no son unidireccionales, no es solo que mates ayuda a química, en muchas ocasiones la química ha sido una gran inspiración para los matemáticos, cuyas teorías han surgido inspiradas en fenómenos químicos. Con esto quiero decir que vayamos donde vayamos, estudiemos lo que estudiemos, la química siempre estará presente, al igual que ya lo está en mi corazón.

Muchas gracias.

La sesión finalizó con la conferencia “We are UCB. Inspired by patients. Driven by science” impartida por la Dra. Teresa de Haro, Principal Scientist, Medicinal Chemistry, de UCB Biopharma.

La sesión fue clausurada por D. Antonio M. Echavarrén, presidente de la RSEQ.

ELENA SÁEZ

Nazario Martín

Premio Nacional de Investigación Enrique Moles 2020

El profesor Nazario Martín León ha sido reconocido con el Premio Nacional de Investigación Enrique Moles, en el área de Ciencia y Tecnología Químicas por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

El Dr. Martín León ha recibido este premio por su contribución científica en el área de los materiales moleculares y de nanoformas de carbono, y por las aplicaciones de estas investigaciones en el campo de la electrónica molecular. Asimismo, el jurado ha resaltado la relevancia internacional de su trabajo científico, su labor de mentor y de impulsor de nuevas generaciones de investigadores, su implicación en puestos de responsabilidad científica y de gestión de la investigación y, en definitiva, la aportación que su actividad ha supuesto para el progreso de la Química en España.

Nazario Martín León es Catedrático de Química Orgánica en la UCM y Director Adjunto del Instituto IMDEA-Nanociencia de la Comunidad de Madrid. Es Doctor Honoris Causa por las Universidades de La Habana (Cuba) 2012 y Castilla La Mancha (España) 2016.

Su investigación abarca diferentes tópicos con especial énfasis en la química de nanoestructuras de carbono: fullerenos, nanotubos de carbono, nanografenos y puntos cuánticos de carbono, cables moleculares, y moléculas electroactivas en el contexto de quiralidad, procesos de transferencia electrónica, aplicaciones fotovoltaicas y nanociencia.

Ha dirigido 46 Tesis Doctorales y es co-editor de 6 libros y de 14 números especiales en revistas de prestigio internacional. Ha sido Editor General de la revista *Anales de Química* (2000-2005), Editor regional para Europa de la revista *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* y actualmente es miembro del comité editorial de la revista *The Journal of Organic Chemistry* (ACS), del comité científico internacional de *ChemPlusChem*, *Chemistry*, *An Asian Journal* y *ChemNanoMat* (Wiley-VCH) y miembro del comité asesor de las revistas *Chemical Society Reviews* y *Chemical Communications* (RSC). Es editor de la revista *Scientific Reports* del grupo *Nature Publishing*.

Desde 1998 es miembro de Executive Committee for the Fullerenes Division of the Electrochemical Society (EE.UU.).

El Profesor Martín es *Fellow* of the Royal Society of Chemistry (UK) y académico correspondiente de la Real Academia de Doctores de España. Desde 2015 es académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias



El profesor Nazario Martín León

Exactas, Físicas y Naturales de España. Ha escrito numerosos artículos de opinión en diarios nacionales y en revistas nacionales e internacionales. Además, ha impartido 440 conferencias plenarias e invitadas. Nazario Martín ha sido Presidente de la RSEQ (2006-2012). Desde 2018 es miembro de la Academia Europaea y distinguido como *Chemistry Europe Fellow* (Wiley). Presidente electo de la Confederación de Sociedades Científicas de España (COSCE), en 2015-2019.

El Prof. Martín ha recibido numerosos premios de gran prestigio nacional e internacional y se encuentra entre los químicos españoles más citados. Tras haber disfrutado de la ERC "Advanced Grant", en 2020 se le ha concedido un proyecto Synergy-ERC (TOMATTO).

Para más información:

<http://www.nazariomartingroup.com/>

ELENA SÁEZ

Tomás Torres

Premio Luso-Español “Conferência Lourenço-Madinaveitia 2020”

La Sociedad Portuguesa de Química ha decidido, por unanimidad, conceder el Premio luso-español “Conferência Lourenço-Madinaveitia 2020” al profesor Tomás Torres, de la Universidad Autónoma de Madrid, en reconocimiento a su trabajo e impacto en la comunidad científica. Destacando su contribución a la colaboración entre Portugal y España en el ámbito de la Ciencia.

El Premio Luso-Español de Química, instituido por la Sociedad Portuguesa de Química (SPQ) y la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), se otorga anualmente, y alternativamente, a químicos portugueses y españoles con proyección internacional.

Tomás Torres es Director del Instituto de Investigación Avanzada en Ciencias Químicas (IAdChem), Catedrático de Química de la UAM y Científico Senior Asociado de IMDEA-Nanociencia. Ha trabajado en síntesis orgánica, desde la química farmacéutica hasta el desarrollo de nuevos materiales y sus aplicaciones. Dirige un grupo de 25 personas. Torres tiene más de 550 publicaciones y 44 patentes. Ha supervisado 54 doctorandos, ha impartido más de 340 conferencias, y ha participado como IP en más de 50 proyectos. Posee un índice H (WoS) de 85. Desde 2015 Torres pertenece al Editorial Board de *Chemical Society Reviews* (RSC, Reino Unido), es miembro del Consejo Asesor de *Chem. Commun* (desde 2012) y recientemente ha sido nombrado Co-Chair del Editorial board de *ChemPlusChem*, Wiley. Ha sido cofundador, y es socio, de “NanoInnova Technologies” (desde 2010), una *spin-off* dedicada al desarrollo de instrumentación y superficies nanoestructuradas. Ha sido Profesor Invitado de la Sociedad Japonesa para la Promoción de la Ciencia (2001 y 2017, JSP), Profesor Visitante en las Universidades de Tohoku, Sendai, Japón (2001), Technion, Instituto de Tecnología de Israel (2008), de Texas en El Paso, EE. UU. (2012), de Estrasburgo, Francia (2015), de Kuwait (2017) y de Kyoto (2017). Ha recibido el Premio JANSSEN CILAG de Química Orgánica (2005), Premio



El profesor Tomás Torres

a la Investigación y Medalla de Oro de la Real Sociedad Española de Química (2013) y el Linstead Career Award por la Society of Porphyrins and Phthalocyanines (2016) y el Premio Miguel Catalán de la Comunidad de Madrid. Es *Fellow* de la Royal Society of Chemistry (FRSC), UK (2014) y de la Electrochemical Society (EE. UU.) (2018), y Premio Elhuyar-Goldschmidt de la Gesellschaft Deutscher Chemiker, Alemania (2018). Torres ha sido distinguido como “Highly Cited Researcher” por *Clarivate Analytics* (2018) y *Fellow of Chemistry Europe* (2019). Es Doctor Honoris Causa por la Universidad de Química y Tecnología de Ivanovo (ISUCT), Rusia en 2009, y por la Universidad Miguel Hernández (Elche) en 2016.

Para más información:

<https://www.phthalocyanines.es/index.html>

ELENA SÁEZ

La reescritura del código de la vida, al alcance

Las investigadoras Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna han sido galardonadas con el premio Nobel de Química de 2020 por el desarrollo de la herramienta CRISPR/Cas9, que abre la puerta a la edición del genoma. Emmanuelle Charpentier (Juvisy-sur-Orge-Francia, 1968) es una microbióloga y bioquímica francesa que dirige el “Max Planck Institute for Infection Biology” en Berlín desde 2015. Jennifer Anne Doudna (Washington-EEUU, 1964) es una bioquímica estadounidense, investigadora principal en los Institutos Gladstone y la Universidad de California en San Francisco e investigadora Howard Hughes (HHMI) desde 1997.

La tecnología CRISPR/Cas9 es una herramienta molecular diseñada para editar y corregir el genoma de cualquier célula. La primera parte del nombre proviene del inglés (*Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats*), mientras que la segunda parte hace referencia a una serie de proteínas, mayormente nucleasas, denominadas Cas (*CRISPR associated system*). La combinación de ambas ha creado una aplicación revolucionaria que abre la puerta a la reescritura del código de la vida y que podría contribuir decisivamente a hacer realidad el sueño de curar las enfermedades congénitas.

Los primeros CRISPR fueron detectados hace 30 años en *Escherichia coli* por Yoshizume Ishino (Universidad de Kyushu).^[1] En 1993, se observaron por primera vez CRISPR en arqueas, y posteriormente se detectaron en

un número creciente de genomas bacterianos y de arqueas.^[2] La conservación de estas secuencias en dos de los tres dominios de la vida fue fundamental para apreciar su importancia. A principios de la década de 2000, Francis Mojica (Universidad de Alicante) identifica la función de CRISPR como sistema inmunológico alternativo, basándose en la similitud de secuencia entre las regiones espaciadoras de CRISPR y las secuencias de bacteriófagos, virus de arquea y plásmidos.^[3] A partir de aquí, las cosas se aceleran: en 2011, Emmanuelle Charpentier, cuando era investigadora principal del “Molecular Infection Medicine Sweden-(MIMS), publica en la revista *Nature* un trabajo en el que se demuestra cómo dos moléculas de ARN interactúan para hacer funcionar el sistema antiviral bacteriano.^[4] Ese mismo año, Charpentier y Doudna, microbióloga y bióloga estructural respectivamente, se conocen y empiezan a colaborar. Fruto de este esfuerzo coral y tan solo un año después, ambas publican sus resultados en la revista *Science* donde describen una endonucleasa programable por RNA obtenida del sistema de inmunidad bacteriana.^[5] Con este trabajo se han sentado las bases para la reescritura del código de la vida.

El sistema CRISPR/Cas es equivalente a unas tijeras moleculares que son capaces de cortar cualquier molécula de ADN de una manera muy precisa y totalmente dirigida y controlada. Esa capacidad de cortar el ADN es lo que permite corregir, modificar y editar su secuen-



Emmanuelle Charpentier y Jennifer A. Doudna

cia, eliminando o insertando nuevo ADN. El sistema se basa en un mecanismo de defensa natural. Cuando un virus infecta una bacteria, éste toma el control de su maquinaria celular, interactuando con los distintos componentes bacterianos. Por contra, las bacterias que tienen este sistema de defensa poseen un complejo formado por una proteína Cas unida al ARN producido a partir de las secuencias CRISPR. Si el material genético del virus interactúa con este complejo, es desenmascarado, inactivado y posteriormente degradado. Además, las proteínas Cas capturan parte del ADN viral y lo integran dentro del conjunto de secuencias sensibles al CRISPR. De esa forma, la bacteria infectada y su descendencia *recuerdan* el primer encuentro con el material genético viral que, en una hipotética segunda infección, inactivarán de forma mucho más eficiente. Constituye, por tanto, un verdadero sistema inmune bacteriano, dotado de memoria.

Al descubrir el mecanismo de acción del CRISPR, las primeras estrofas de una bella melodía ya quedan escritas, tan solo resta ya añadir notas a la partitura para convertir este descubrimiento en una obra magistral, en una herramienta molecular de carácter universal que, siguiendo con el símil, pudiera ser tocada en todos los laboratorios. El artículo en *Science* de 2012 hace exactamente esto al demostrar cómo convertir esa maquinaria natural bacteriana en una herramienta de edición programable, que permite cortar cualquier cadena de ADN *in vitro*. Se podía programar el sistema para que se dirigiera a una posición específica de un ADN cualquiera.

El procedimiento de edición genómica con CRISPR/Cas9 incluye dos etapas. En una primera etapa el ARN guía (diseñado previamente) se asocia con el enzima Cas9. Este ARN guía es específico de una secuencia concreta del ADN nucleótidos y se unirá a esa secuencia y solo a esa secuencia. En este punto, la endonucleasa Cas9 corta el ADN. En una segunda etapa se activan al menos dos mecanismos naturales de reparación del ADN cortado previamente. El primero hace que después del sitio de corte aparezca un hueco en la cadena o se inserte un fragmento más de cadena. Esto tiene como resultado la pérdida de la función original del segmento de ADN cortado. Un segundo mecanismo permite la incorporación de una secuencia concreta, de manera más precisa y exactamente en el sitio original de corte. Dado que am-

bos mecanismos se pueden controlar y modular, se disponen de todas las herramientas necesarias para la edición de cualquier genoma.

Con la tecnología CRISPR/Cas9 se inaugura una nueva época en la ingeniería genética en la que se puede editar, corregir, reescribir el genoma de cualquier célula de una manera fácil, rápida, asequible y, sobre todo, altamente precisa. Cambiar (de manera controlada) el genoma significa dominar la esencia más constitutiva e íntima de los organismos vivos. Se abre la puerta a la cura de enfermedades cuya causa genética se conozca y que hasta ahora eran incurables. Las aplicaciones más futuristas ya están probándose en el laboratorio. No hay duda de que esta técnica ha venido para quedarse.

- [1] Ishino Y., Shinagawa H., Makino K., Amemura M., Nakata A. Nucleotide sequence of the *iap* gene, responsible for alkaline phosphatase isozyme conversion in *Escherichia coli*, and identification of the gene product. *J Bacteriol.*, **1987**, *169*, 5429-5433.
- [2] Mojica M. J., Juez G., Rodríguez-Valera F. Transcription at different salinities of *Haloferax mediterranei* sequences adjacent to partially modified PstI sites. *Mol Microbiol.*, **1993**, *9*, 613-621.
- [3] Mojica F. J. M., Díez-Villaseñor C., García-Martínez J., Soria E. 2005. Intervening sequences of regularly spaced prokaryotic repeats derive from foreign genetic elements. *J Mol Evol*, **2005**, *60*, 174-182.
- [4] Deltcheva E., Chylinski K., Sharma C. M., Gonzales K., Chao Y., Pirzada ZA, Eckert MR, Vogel J, Charpentier E. CRISPR RNA maturation by trans-encoded small RNA and host factor RNase III. *Nature*. **2011** *471*(7340), 602-7.
- [5] Jinek M., Chylinski K., Fonfara I., Hauer M., Doudna J. A., Charpentier E. A programmable dual-RNA-guided DNA endonuclease in adaptive bacterial immunity. *Science*. **2012**, *337*(6096), 816-21.

FERNANDO LOPITZ-OTSOA y OSCAR MILLET
Precision Medicine and Metabolism Lab, CIC bioGUNE

Chris Abell (1957-2020)

In memoriam

Consternados ante el repentino fallecimiento el 26 de octubre, a la edad de 62 años, del profesor Chris Abell de la Universidad de Cambridge (Reino Unido), miembro del comité científico asesor del CiQUS, y gran amigo de muchos profesores del Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Santiago de Compostela (USC).

El profesor Abell mantuvo desde hace más de 25 años una colaboración científica y personal muy estrecha con diversos profesores del Departamento de Química Orgánica, que se inició a raíz de los estudios postdoctorales realizados por la profesora Concepción González-Bello en su grupo de investigación durante 1994-1996 en el marco del proyecto europeo ENABC–European Network on Antibody Catalysis, así como en posteriores estancias como profesora visitante. El profesor Abell visitó por primera vez la USC y el Departamento de Química Orgánica en 1995, como conferenciante plenario en el “First International Symposium on New Horizons of Organic Chemistry in Biomedicine” organizado por el profesor Luis Castedo. Se enamoró de Galicia, de sus gentes y su gastronomía, y realizó numerosas visitas posteriores que sentaron las bases de fructíferas colaboraciones científicas y del establecimiento de un vínculo de amistad entrañable con muchos profesores del CiQUS. Dentro del programa “Iberdrola Visiting Professorship” liderado por el profesor Luis Castedo realizó estancias cortas en el Departamento durante los años 1999, 2000 y 2001. En 2009 fue uno de los conferenciantes plenarios en el congreso “Prospects in Chemical Sciences” organizado por el profesor Mascareñas y otros miembros del Departamento en el que se celebró el 70 cumpleaños del profesor Castedo, así como en su segunda edición “Prospects in Chemical Sciences II” a finales del 2018. Sin duda, Santiago de Compostela y la USC ha sido su segunda casa habiendo



El profesor Chris Abell

participado en el ciclo de conferencias organizadas por el CiQUS y en nuestra famosa “Carreira Pedestre de Santiago de Compostela (2012)”, deporte al que era un gran aficionado, así como otros relacionados con la naturaleza como el senderismo. Hay que decir que en realidad la pedestre se le quedaba corta..., porque él era más bien de maratones.

El profesor Chris Abell, nacido en el seno de una familia de granjeros en York en 1957, se graduó en Ciencias Naturales en 1979 en el St John’s College de la Universidad de Cambridge. En 1982 se doctoró por la misma universidad tras la realización de estudios doctorales sobre

la biosíntesis de policétidos bajo la dirección del profesor James Staunton del Departamento de Química. En 1984, después de una estancia postdoctoral en la Universidad de Brown, Providence (EE. UU.), bajo la dirección del profesor David E. Cane, se incorporó al Departamento de Química y al Christ's College de la Universidad de Cambridge, ocupando sucesivamente diversos puestos académicos, y convirtiéndose en 2002 en catedrático de Química Biológica. Fue el director de estudios en química del Christ's College, en 2012 entró a formar parte de "The Academy of Medical Sciences" y en 2016 de "The Royal Society". Recientemente fue galardonado con el premio interdisciplinario 2020 de la "The Royal Society of Chemistry".

El profesor Abell fue una figura muy destacada a nivel mundial en el campo de la química biológica, así como en el estudio del mecanismo de acción de enzimas clave en enfermedades relevantes como la tuberculosis, la fibrosis cística o el cáncer. Sus investigaciones en la catálisis enzimática fue la fuente de inspiración de un nuevo concepto en el diseño de fármacos de la que es pionero, el denominado diseño basado en fragmentos en el que utilizó la difracción de rayos-X de proteínas como herramienta de identificación de los potenciales fármacos. Esta metodología la trasladó al mercado en 1999 a través de la empresa Astex Therapeutics, una de las spin-off de mayor éxito en Cambridge y líder mundial del sector. Desde el inicio, la empresa estableció múltiples convenios con las principales compañías farmacéuticas, incluidas AstraZeneca, Novartis, Jassen y GSK, y actualmente, después de fusionarse con SuperGen (2011), fue adquirida en 2013 por Otsuka, cotizando desde hace muchos años en el NASDAQ. Actualmente la estrategia basada en fragmentos ha sido implementada de forma generalizada en la industria farmacéutica y en muchos laboratorios académicos. Realizó también contribuciones muy importantes en el desarrollo de una plataforma de microfluidos para la realización y el seguimiento de reacciones a pequeña escala, con relevantes aplicaciones en biología y ciencia de los materiales. Esta tecnología se explota comercialmente desde 2010 a través de la *spin-off* Sphere Fluidics con base también en Cambridge y de la que es co-fundador. En 2013 participó en la creación de la empresa Aqdot,

basada en la aplicación de la química supramolecular a la captura, retención y liberación de compuestos cuando sea necesario, como por ejemplo olores o fragancias, con relevantes aplicaciones industriales en el campo de la alimentación, droguería y la calidad del aire.

El profesor Abell también tuvo tiempo para implicarse en labores de gestión universitaria, contribución de la que se sentía particularmente orgulloso como fan incondicional de la Universidad de Cambridge, que según comentaba en muchas ocasiones con una sonrisa "era mejor que la de Oxford". Fue el director fundador de Cambridge Enterprise, empresa subsidiaria de la Universidad de Cambridge, creada en 2006 para apoyar a académicos, investigadores, personal y estudiantes en la transferencia del conocimiento a la sociedad. Fue además el director fundador de la oficina de asuntos postdoctorales de la Universidad de Cambridge (2013), dedicada a dar soporte a los estudiantes postdoctorales que se incorporan a esta universidad, algo que no existía hasta entonces en Cambridge y que sin duda ha supuesto una gran mejora estructural. Sus magníficas cualidades como científico y emprendedor, con una indiscutible visión de futuro, y su capacidad en gestión le llevaron en 2016 a ser nombrado Vicerrector de Investigación, cargo que ejercía actualmente.

Chris Abell ha sido una figura muy destacada a nivel internacional en el campo de la química biológica, un científico con cualidades emprendedoras abrumadoras, y un brillante gestor y trabajador incansable, pero por encima de todo se ha ido un gran hombre, de una personalidad fascinante, noble, leal a sus principios, cercano, simpático. La muerte de Chris es una gran pérdida. Nos sentimos muy cerca de su esposa, la doctora Katherine Abell, su hijo Daniel, y de todos los amigos y colegas del Departamento de Química. Aquellos que hemos tenido la inmensa suerte de conocerle, nos considerábamos amigos de él, le echaremos mucho de menos.

Descase en paz.

CONCEPCIÓN GONZÁLEZ BELLO
CiQUS, Departamento de Química Orgánica
Universidad de Santiago de Compostela

Profesor Paul C. J. Kamer

In memoriam

El 19 de noviembre de 2020 recibimos la triste y dolorosa noticia del fallecimiento del profesor Paul C. J. Kamer. Esta noticia ha sido un duro golpe en la comunidad científica española donde Paul contaba con buenos amigos. Supo ganarse la admiración, el respeto y el cariño de todos aquellos que tuvimos la suerte de conocerle y que, con mucha tristeza, despedimos ahora a un gran científico y a una gran persona.

En reconocimiento a sus importantes contribuciones en el ámbito de la química organometálica, Paul fue invitado a participar en el programa de conferenciantes itinerantes organizado por el Grupo de Química Organometálica (GEQO) de la RSEQ, en 2016. En esa ocasión, Paul visitó diferentes centros de investigación y universidades de nuestro país. Así, muchos tuvieron la oportunidad de conocer en persona al químico de referencia, pero sobre todo de descubrir su faceta más humana. Paul dejará huella entre nosotros no sólo por la innegable calidad científica de su trabajo, sino porque supo ganarse el respeto y el cariño de todos aquellos que tuvieron la oportunidad de disfrutar del Paul más distendido y cercano.

Paul nació en Hilversum (Holanda), donde pasó su infancia. Tras completar la licenciatura y máster en química en la Universidad de Ámsterdam, se trasladó a la Universidad de Utrecht para realizar la tesis doctoral en el grupo del profesor W. Drenth y el profesor R. J. M. Nolte. El trabajo de su tesis se centraba en la polimerización enantioselectiva de isocianuros catalizada por complejos de níquel(II). En 1988, y gracias a una beca de la Fundación Holandesa para el Cáncer (KWF), se incorporó como investigador postdoctoral al grupo del profesor P. B. Dervan en Caltech (*California Institute of Technology*, Pasadena). Durante esta etapa postdoctoral, Paul trabajó en la síntesis de compuestos modelo del antibiótico y antitumoral neocarzinostatina para la ruptura selectiva del ADN. En 1989, y todavía financiado por KWF, regresó a Holanda, al grupo del profesor Dr. J. H. van Boom y del profesor Dr. G. A. van der Marel en la Universidad de Leiden, para trabajar en la modificación de oligonucleótidos como potenciales inhibidores antisentido de la ex-



El profesor Paul C. J. Kamer

presión génica. Con esta trayectoria, no es sorprendente que muchos recordemos a Paul como un maestro de la síntesis orgánica.

Sin embargo, su etapa científica más conocida (y reconocida) por muchos de nosotros comenzó en 1990 cuando se incorporó como *Assistant Professor* al grupo recién creado del profesor Piet W. N. M. van Leeuwen (HomKat) en la Universidad de Ámsterdam. En aquella época, un joven Paul hacía fruncir el ceño a los estamentos de la universidad cuando entraba en sus despachos para discutir sobre las necesidades del nuevo grupo. Su carácter era tal vez demasiado directo, pero siempre honesto y armado con argumentos contundentes sobre el tema que hubiese a debate. Esa dureza aparente la aderezaba con su peculiar sentido del humor y con una sonrisa que era capaz de desarmar y reconciliar a aquellos que habían estado en desacuerdo durante años. El gran

número de colaboraciones que Paul creó y en las que participó a lo largo de su carrera reflejan este carácter conciliador.

Paul fue uno de los primeros miembros de HomKat para terminar liderándolo durante un breve espacio de tiempo, tras ser promocionado a *Full Professor* en Catálisis Homogénea en 2004. Uno de los sellos distintivos del grupo fue el concepto del *bite angle*, del que él era ferviente defensor y protagonista. Fue Paul quien sintetizó Xantphos por primera vez, y lo hizo un viernes por la tarde porque no podía esperar a que los demás lo hiciesen la semana siguiente. De hecho, Paul fue quien presentó los primeros resultados en Brighton, en 1994, en una *Dalton Conference*.

En 2005, tras conseguir una prestigiosa Marie Curie Excellence Grant, se trasladó a la Universidad de St. Andrews, en Escocia, donde se estableció como *Full Professor* de Química Inorgánica. Allí comenzó una línea de investigación propia centrada en el desarrollo de enzimas artificiales basadas en metales de transición, y catálisis biomimética, sin dejar de lado estudios de mecanismos de reacción en química organometálica. Durante este período, Paul fue coordinador de la red europea ITN (Subicat, 2013-2016) centrada en la conversión de biomasa en la que participaban diferentes universidades e industrias.

Finalmente, en 2017, Paul emprendió la que sería su última aventura científica, dejando atrás Escocia para trasladarse al LIKAT (*Leibniz-Institut für Katalyse*), en Rostock, como director del Departamento *Bioinspired Homo- & Heterogeneous Catalysis*.

Paul recibió, numerosos reconocimientos tanto por su labor científica como académica. Además de la *Marie Curie Excellence Grant*, mencionada anteriormente, recibió el reconocimiento como profesor invitado en el *International Master of Catalysis, Molecules, and Green Chemistry* por la universidad de Rennes en 2018, y fue profesor invitado también en otras universidades y centros de investigación tales como ICIQ (2009), Universidad de

Ámsterdam (2005-2010), Caltech (2010), en la Universidad de Milán (2016) o en la Universidad Tecnológica de Eindhoven (2012), entre otras. Además, fue Editor Asociado de la revista *Catalysis Science & Technology* (RSC) desde 2010.

Paul no solo fue un científico brillante, también destacaba como un gran docente. Tenía un carácter entusiasta y siempre alegre que contagiaba a todos sus colaboradores, alumnos y estudiantes en prácticas. Los que aprendimos o tuvimos la suerte de trabajar con él recordamos al Paul tajante con sus listas de *do's and do not's* que no dejaban lugar a dudas y hacían que el laboratorio funcionase como un reloj perfectamente engranado. Paul podía parecer distante, no concebía charlas banales en el trabajo. En realidad, movido por su entusiasmo, pensaba que la mejor manera de animar una pausa para el café era una pequeña discusión de síntesis orgánica. No todos compartíamos siempre tanta devoción, pero también sabíamos era presa fácil si se le tentaba con alguna de sus otras pasiones: cervezas, whiskies o todavía mejor sus *Labrador Retrievers* que eran miembros imprescindibles de su familia. Hablar de ellos le hacían brillar los ojos y sonreír como un padre orgulloso.

Pero de lo que realmente disfrutaba Paul eran de largas conversaciones distendidas siempre frente a un buen whisky y con el aroma de un puro. De esos momentos inolvidables de discusiones apasionadas mezcladas con bromas irrepetibles, no sólo surgieron grandes ideas y proyectos, también se fraguaron colaboraciones y amistades que durarán eternamente. Sus amigos le recordaremos como era, directo, apasionado, honesto, incondicionalmente leal y con una generosidad sin límites.

PIET W. N. M. VAN LEEUWEN, *emeritus*

ZORAIDA FREIXA

Profesora de Investigación Ikerbasque
Universidad del País Vasco (UPV-EHU)

El alfabeto del universo

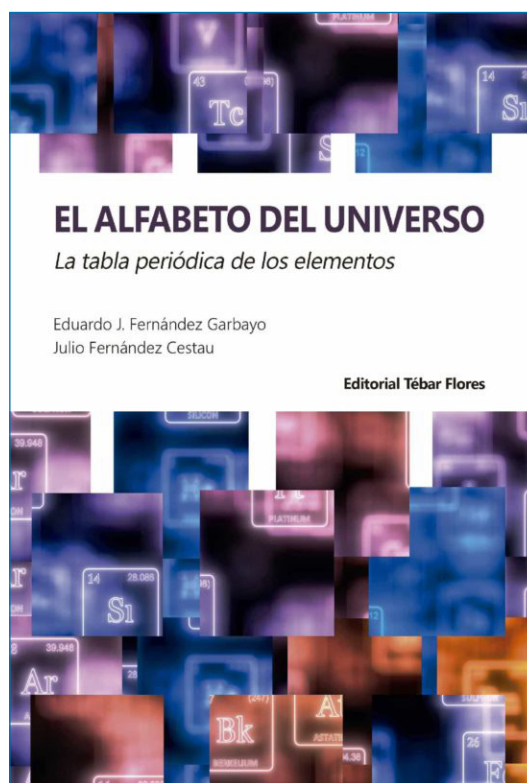
La tabla periódica de los elementos químicos

UN AMENO PASEO POR LA HISTORIA DE LA TABLA PERIÓDICA

Durante 2019 la ciencia conmemoró el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos. Aunque los “años internacionales” son significativos para acercar la ciencia a la sociedad, también es importante dar continuidad para consolidar los logros conseguidos. En 2020 tendríamos que haber seguido difundiendo los logros de la Química que benefician al ser humano y el valor de la tabla periódica, a través de las numerosas actividades previstas (ciclos de conferencias, cursos, exposiciones, concursos, etc.). Sin embargo, la pandemia que estamos sufriendo ha hecho que los planes se derrumbasen, especialmente los que suponían interacción directa de los participantes. Por esta razón, debemos aprovechar los escasos medios de comunicación de los que disponemos para poner en valor la tabla periódica, su significado y su historia.

En este contexto se enmarca el presente libro, en el que en su breve tamaño (130 páginas) se expone de manera detallada la historia de la tabla periódica de los elementos químicos, especialmente a través de los protagonistas de la misma.

El libro está dividido en 10 capítulos y estructurado como si fuera un árbol genealógico. En el prefacio se aborda una introducción general sobre los lenguajes de la ciencia y de la Química, incidiendo especialmente en el significado de la tabla periódica. El breve (2 páginas) primer capítulo es una reflexión muy interesante de la “paternidad” de la tabla periódica. En el siguiente capítulo se hace un repaso a los intentos de sistematización de la Química, desde la época de Boyle hasta Dalton. El capítulo 3 lleva por título “Los abuelos” y en él se describen las contribuciones de diversos científicos, como Döbereiner, Cooke, Lemsens, Gmelin y Kremers. En éste, como en el resto de los capítulos, aparte de la contribución de cada científico en el desarrollo de la tabla periódica y la sistematización química, se hacen breves reseñas biográficas de cada científico.



E. J. Fernández Garbayo y J. Fernández Cestau
Editorial Tébar Flores
Madrid, 2019
ISBN: 978-84-7360-724-7
12,50 €

El recorrido histórico del desarrollo de la tabla periódica continúa con los denominados “tíos y otros parientes”, entre los que debemos destacar las propuestas de Odling, de Chancourtois y Newland, entre otros. En este capítulo se presentan algunas disposiciones bastante curiosas de los elementos químicos conocidos. La mayoría de estas propuestas no fueron bien recibidas por la comunidad científica, lo que se describe con cierto detalle en este capítulo.

Un momento culminante en la historia de la Química fue la celebración del congreso de Karlsruhe en septiembre de 1860. El capítulo 5 del libro está dedicado a este hito, que supuso el comienzo de la sistematización moderna de la Química, destacando especialmente el impacto que Cannizzaro tuvo sobre los químicos de su época.

El siguiente capítulo es el más extenso del libro y está dedicado a Meyer y Mendeléiev, “los padres de la tabla periódica”. Aparte de las reseñas biográficas, también se relatan aspectos colaterales, como las disputas, las profecías, la no-concesión del premio Nobel a Mendeléiev o el nombre del elemento 101 en honor al científico ruso. También se describen los desarrollos posteriores de la tabla (y la ley) periódica, especialmente el descubrimiento de los gases nobles, con las contribuciones de Ramsay, Rayleigh y Travers.

El capítulo 7 está dedicado a las aportaciones de la Física al desarrollo de la tabla periódica con el descubrimiento del número atómico, la auténtica clave del ordenamiento de los elementos químicos. Los autores dedican unas páginas a van del Broeck, considerado un “físico aficionado”, que hizo importantes contribuciones al concepto de número atómico y que ha sido injustamente olvidado por la historia de la ciencia. El capítulo termina con una extensa sección dedicada al gran Henry Moseley, describiendo con detalle su vida y su obra científica.

Los últimos tres capítulos son breves, dedicándolos a la situación actual, alguna propuesta y las conclusiones. El libro termina con cuatro páginas dedicadas a un

cronograma que, de manera rápida, permite hacerse una idea del desarrollo de la tabla periódica.

Los autores hacen una propuesta interesante para nombrar un elemento químico en honor de Moseley. Para no adelantar demasiada información del libro, no voy a desvelar su propuesta, con la que este revisor está de acuerdo. Espero que esta petición llegue a la IUPAC.

El libro es muy ameno, bien explicado y redactado. Los autores han hecho un trabajo excelente de recopilación de citas originales de algunos de los protagonistas de la ciencia, citando numerosas referencias originales –un reconocimiento necesario para los científicos implicados–, que frecuentemente se han completado con enlaces a páginas web para facilitar la búsqueda.

También hay que destacar que este revisor ha encontrado muy pocos errores –el descubridor “oficial” del cromo fue Vauquelin y no Collet Descotils (página 21), se “coló” Vanadio en vez de vanadio (página 21), en el pie de figura 42 aparece una “Y” en vez de “y”; y la referencia que se cita en la página 113 es la 97 y no la 95–. Tan pocos errores (la mayoría tipográficos) es un hecho destacable en un libro con tanta información; lo que demuestra que los autores han revisado cuidadosamente el texto.

En definitiva, un libro que debe estar en la biblioteca de todos los amantes de la Química y, especialmente, de la tabla periódica.

BERNARDO HERRADÓN

Instituto de Química Orgánica General (IQOG-CSIC)
b.herradon@csic.es

Fluorescent bicolour sensor for low-background neutrinoless double β decay experiments

Nature 583, 48-54 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2431-5>

Iván Rivilla, Borja Aparicio, Juan M. Bueno, David Casanova, Claire Tonnelé, Zoraida Freixa, Pablo Herrero, Celia Rogero, José I. Miranda, Rosa M. Martínez-Ojeda, Francesc Monrabal, Beñat Olave, Thomas Schäfer, Pablo Artal, David Nygren, Fernando P. Cossío y Juan J. Gómez-Cadenas

Fernando P. Cossío, Donostia International Physics Center (DIPC), San Sebastián/Donostia, Spain. Department of Organic Chemistry I, University of the Basque Country (UPV/EHU), Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA), San Sebastián/Donostia, Spain.

Juan J. Gómez-Cadenas, Donostia International Physics Center (DIPC), San Sebastián/Donostia, Spain. Ikerbasque, Basque Foundation for Science, Bilbao, Spain.

¿Por qué nuestro universo está hecho de materia? ¿Por qué existe todo tal y como lo conocemos? Estas preguntas están relacionadas con uno de los problemas más importantes sin resolver en física de partículas. Dicho problema es el de la naturaleza del neutrino, que podría ser su propia antipartícula, tal como aventuró el malogrado genio italiano Ettore Majorana hace casi un siglo. Si ello fuera así, podría explicarse la misteriosa asimetría cósmica entre materia y antimateria.

En efecto, sabemos que el Universo está hecho casi exclusivamente de materia. Sin embargo, la teoría del Big Bang predice que el Universo primigenio contenía la misma cantidad de partículas de materia y antimateria. Esta predicción es consistente con los “pequeños Big Bang” que se forman en las colisiones de protones en el gigantesco acelerador LHC del CERN, donde siempre se observa una producción simétrica de partículas y antipartículas. ¿Dónde fue, entonces, a parar la antimateria del Universo temprano? Un posible mecanismo apunta a la existencia de neutrinos pesados que fueran su propia antipartícula y por lo tanto pudieran desintegrarse tanto a materia como a antimateria. Si se da un segundo fenómeno, denominado violación de carga y paridad (esto es, si el neutrino favorece ligeramente en sus desintegraciones la producción de materia sobre la de antimateria), entonces habría podido inyectar un exceso de la primera

sobre la segunda. Después de que toda la materia y la antimateria del universo se aniquilaran (con la excepción de este pequeño exceso), el resultado sería un cosmos hecho sólo de materia, de las sobras del Big Bang. Podríamos decir que nuestro universo son los restos de un naufragio.

Es posible demostrar que el neutrino es su propia antipartícula observando un raro tipo de proceso nuclear llamado desintegración doble beta sin neutrinos ($bb0\nu$), en el que simultáneamente dos neutrones (n) del núcleo se convierten en protones (p) y se emiten además dos electrones (e) que se escapan fuera del átomo. Este proceso puede darse en algunos isótopos raros, como el Xenón-136, que tiene en su núcleo 54 p y 82 n , además de 54 e en su forma neutra. El experimento NEXT (dirigido por J. J. Gómez-Cadenas, del DIPC e Ikerbasque y D. Nygren, de la Universidad de Texas en Arlington), sito en el laboratorio subterráneo de Canfranc (LSC), busca estas desintegraciones utilizando cámaras de gas a alta presión.

Cuando un átomo de Xe-136 sufre una desintegración espontánea de tipo $bb0\nu$, el resultado del proceso es la producción de un catión de Bario-136, con 54 e y un núcleo formado por 56 p y 80 n , y dos electrones ($Xe \rightarrow Ba^{2+} + 2e$). La desintegración buscada es extremadamente rara y la señal esperada del orden de

Los artículos reseñados en esta sección deben dirigirse directamente al editor: sierraor@ucm.es
El Comité Editorial de *Anales de Química* seleccionará las reseñas para su publicación

una desintegración $bb0\nu$ por tonelada de gas y año de exposición. Esta señal tan débil puede quedar completamente enmascarada por el ruido de fondo debido a la omnipresente radioactividad natural. Sin embargo, si además de observarse los dos electrones se detecta el átomo ionizado de bario, el ruido de fondo puede reducirse a cero, ya que la radioactividad natural no produce este ion. Observar un catión de Ba^{2+} en un gran detector de $bb0\nu$ es tan extremadamente difícil que hasta hace poco se consideraba impracticable. Pero una serie de trabajos recientes, entre los que destaca uno recientemente publicado (*Nature* **2020**, *583*, 48-54) demuestra que la hazaña podría conseguirse en un plazo de tiempo razonable.

El trabajo, concebido y dirigido por los investigadores Fernando P. Cossío, Catedrático de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y director científico de Ikerbasque, y Juan J. Gómez-Cadenas, Profesor Ikerbasque del Donostia International Physics Center (DIPC), cuenta con un equipo que incluye científicos del DIPC, la UPV/EHU, Ikerbasque, el Laboratorio de Óptica de la Universidad de Murcia (LOUM), el Centro de Física de Materiales (CFM, centro mixto CSIC-UPV/EHU), POLYMAT, y la Universidad de Texas en Arlington (UTA). Gómez-Cadenas destaca:

El resultado de esta colaboración interdisciplinar que combina entre otras disciplinas, física de partículas, química orgánica, física de superficies y óptica, es un claro ejemplo de la apuesta que recientemente ha hecho el DIPC por abrir nuevas líneas de investigación. El objetivo no es solo generar conocimiento en otros campos, distintos a los habituales del centro, sino también de buscar terrenos híbridos y crear proyectos interdisciplinares que, en muchas ocasiones, como esta, pueden ser los más originales.

El estudio parte de la idea, propuesta por uno de los autores del artículo, el prestigioso científico D. Nygren (UTA), inventor de tecnología de cámaras de proyección temporal (TPCs) en las que se basan numerosos experimentos de física de partículas (entre ellos NEXT). En 2016 Nygren propuso la posibilidad de capturar el Ba^{2+} con una molécula capaz de formar un complejo supramolecular con este y de proporcionar una señal característica cuando esto ocurre, a modo de indicador molecular. En trabajos posteriores, Nygren y su grupo han diseñado un tipo de indicadores llamados “interruptores” capaces de brillar más intensamente cuando capturan un ion Ba^{2+} .

El grupo de Cossío y Gómez-Cadenas ha seguido una estrategia diferente, diseñando un indicador capaz de capturar selectivamente el Ba^{2+} y que no sólo brilla más intensamente al atrapar el ion, sino que cambia de color (Figura 1), contribuyendo así a una clarísima observación de la señal sobre el ruido de fondo. El diseño se basa en un macrociclo de aza-éter corona y dos sistemas aromáticos (un sistema tetracíclico de benzo[*a*]imidazo[5,1,2-*cd*]indolizina y un fenilo para-sustituido) que, en presencia

del catión complejado con el éter corona, se desacoplan mediante una rotación del grupo *para*-fenileno debida a la coordinación entre el catión y el sistema pi. La síntesis de este indicador molecular bicolor, denominado FBI (las siglas en inglés de Fluorescent Bicolor Indicator), se ha realizado bajo el liderazgo del investigador Iván Rivila del DIPC y conlleva reacciones de doble adición, acoplamiento $C(sp^2)-N(sp^3)$ y cicloadiciones (8+2). Si se ilumina con luz ultravioleta una molécula FBI sin bario, esta emite fluorescencia en el rango de la luz verde, con un espectro de emisión estrecho de alrededor de 550 nm. En cambio, cuando esta molécula captura Ba^{2+} , su espectro de emisión se desplaza hacia el azul (420 nm). Esto hace posible identificar, prácticamente sin ruido de fondo, la presencia de Ba^{2+} a partir de la observación de una molécula FBI azul.

Es de destacar que los sistemas experimentales de microscopía multifotónica utilizados en el LOUM por el grupo de Pablo Artal para la detección espectral verde/azul se basan en los desarrollados previamente para obtener imágenes de la córnea del ojo humano en vivo. Es un ejemplo de entrelazado de uso de una tecnología única en el mundo para aplicaciones biomédicas en un problema fundamental de física de partículas.

Tal y como ha explicado Cossío:

Lo más complicado de la parte química del trabajo fue diseñar una nueva molécula que cumpliera los estrictos (casi imposibles) requisitos impuestos por el experimento NEXT. Esta molécula debía brillar mucho, capturar bario con extrema eficacia (el $bb0\nu$ es un evento rarísimo y ningún catión podía desperdiciarse) y emitir una señal específica que permitiera detectar la captura sin ruido de fondo. Además, la síntesis química del nuevo sensor FBI debía ser eficiente para poder tener muestras ultrapuras en cantidad suficiente para su instalación en el detector. La parte más gratificante fue comprobar que, tras muchos esfuerzos por parte de este equipo multidisciplinar, efectivamente, nuestro sensor FBI específico y ultrasensible funcionaba tal y como estaba previsto.

Además del diseño y caracterización de FBI, el artículo ofrece la primera demostración de la formación de complejos supramoleculares en medio seco. Este hito se ha conseguido preparando una capa de moléculas FBI sobre una pastilla comprimida de sílice y evaporando sobre esta capa una sal de perclorato de Bario. Zoraida Freixa, profesora Ikerbasque asegura: “la preparación de FBI sobre sílice ha sido una solución rápida para esta prueba de concepto. Un poco de alquimia casera nunca viene mal”. La evaporación en vacío ha sido realizada por la investigadora Celia Rogero del CFM y su estudiante de doctorado Pablo Herrero-Gómez. Rogero, una experta en física de superficies, asegura: “fue uno de esos momentos Eureka, cuando nos dimos cuenta de que disponíamos del *know-how* para demostrar por primera vez que una molécula es capaz de atrapar un dicatión en medio seco. Pusimos manos a la obra y salió bien casi al primer intento”.

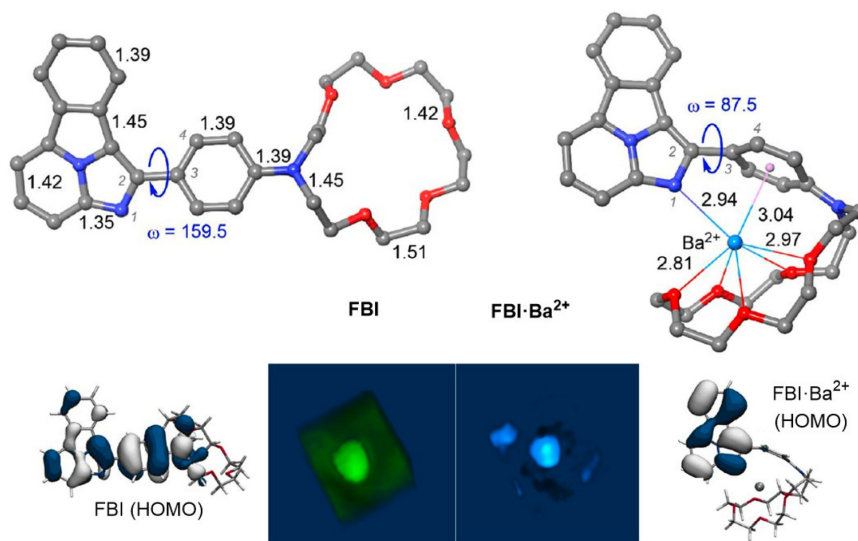


Figura 1. Estructuras del sensor fluorescente bicolor en estado libre (FBI) y coordinado con un catión bario (FBI·Ba²⁺). Se muestran también los HOMOs de ambos estados y la emisión fluorescente en una bifase silicagel-gas tras excitación a 250 nm

El siguiente paso de este proyecto será construir un detector basado en FBI, para lo que Gómez-Cadenas y Francesc Monrabal del DIPC junto a David Nygren y sus colaboradores de UTA ya están desarrollando la propuesta conceptual. Este futuro experimento, que podría estar en marcha en unos pocos años sería capaz de buscar sucesos $\bar{\nu}_n$ libres de ruido de fondo gracias a la identificación de los dos electrones y

el átomo de bario producidos en la reacción y tendría un gran potencial para descubrir si el neutrino es su propia antipartícula, lo que permitiría responder a preguntas fundamentales sobre el origen del Universo, incluyendo la de por qué estamos aquí.

Remitido por FERNANDO P. COSSÍO
(9 de diciembre de 2020)

Burbujas

Javier de Mendoza

El diseño racional de un medicamento requiere un conocimiento profundo de las interacciones implicadas entre la molécula a fabricar y su objetivo biológico, como enlaces de hidrógeno, atracciones y repulsiones electrostáticas, fuerzas hidrofóbicas, forma, volumen y demás sutilezas, además de garantizar una vía de acceso posible hasta el centro activo, una ausencia de efectos secundarios y falta de toxicidad. En definitiva, el éxito del proceso se basa en poseer el máximo de información estructural y funcional antes de ponernos a pensar, de otro modo dejaría de ser racional. Aun así, y a pesar de los avances espectaculares en las herramientas utilizadas, como espectroscopía, cristalografía o métodos computacionales, todo el bagaje puesto al servicio de nuestra creatividad es a menudo insuficiente para garantizar el éxito.

La naturaleza actúa de forma radicalmente distinta. No es una provocación decir que la naturaleza no es sabia, ni siquiera inteligente. Su éxito se basa en la selección evolutiva, no en el diseño racional. Y la selección ocurre por mutaciones genéticas, de carácter aleatorio, sin que la mayoría de ellas aporten ningún beneficio para el individuo o la especie afectada, por lo que no prosperan. Pero con los años, muchísimos años, a veces millones de años, aparecen mutaciones “productivas”, y los seres resultantes adquieren caracteres que mejoran la especie, haciéndola más competitiva en su entorno. Así van surgiendo criaturas cada vez más complejas, con funciones y capacidades admirables, de las cuales, en estos momentos, somos los seres humanos el máximo exponente. Al ver los logros de la evolución, no es de extrañar que nos esforcemos en imitar, a base de diseño racional, esas maravillas naturales, con resultados más bien mediocres, si bien meritorios, dados los pocos años empleados frente a los millones que requiere el método evolutivo.

Cuando una mutación proporciona ventajas, la especie implicada tiende a crecer y proliferar hasta producir lo que en términos sociológicos denominaríamos una “burbuja” que, al final, acaba colapsando y muriendo literalmente de éxito. A la naturaleza todo ello le resulta indiferente, si una especie desaparece, otra ocupará su lugar, y un nuevo equilibrio se establecerá. Entre los humanos, las burbujas tienen un efecto parecido, y de ello nuestro país es un experto a escala planetaria. Además del cava, a los españoles parece que nos encantan las bur-

bujas, y tanto nos da si son inmobiliarias, viviendas, residencias secundarias que alicatan nuestras costas, polideportivos en poblaciones minúsculas, aeropuertos vacíos, o mareantes rotondas encadenadas por nuestras ciudades (posible explicación, se contabilizan como zonas verdes), como si proceden de las ayudas públicas o de organismos supranacionales al cultivo del lino o de cualquier otro producto agrícola, o a programas de formación descontrolados. Todas ellas terminaron colapsando, como era previsible, al igual que los grandes depredadores de la prehistoria. Cuando en España alguna actividad se desarrolla muy por encima de lo que lo hace entre nuestros vecinos, hay que esperar que la cosa termine mal. Sin embargo, algunas de esas burbujas todavía sobreviven, como centros comerciales que seguimos construyendo, compitiendo entre ellos por un mercado ya saturado y abastecido, a pesar de que en Estados Unidos, donde nacieron, están quedando relegadas a simples centros de ocio, víctimas del comercio electrónico dominante. Otras han surgido por mera voluntad política, como la creación de universidades por todas las provincias y autonomías, sin tener en cuenta la población y los medios disponibles, sólo por no ser menos que sus vecinas. Por fin, algunas burbujas, las más graves, como el calentamiento global, la sobre-explotación de los recursos o la superpoblación, que no son privativas de nuestro país, siguen presentes entre nosotros y continuarán hasta su inevitable colapso, dada la escasa reacción mundial ante ellas.

De todas las burbujas autóctonas, hay una a la que tampoco se le ve un final cercano y sobre la que me gustaría centrar el resto de este comentario. Me refiero a la burbuja política y administrativa. He leído por algún lado que en España hay más de 400.000 políticos. Según otras fuentes, la cifra supera los 450.000. Ahí se incluyen los cargos de designación directa, no elegidos por los ciudadanos, desde ministros, secretarios de estado, subsecretarios, consejeros, asesores, etc., muchos de cuyos nombres ni siquiera son comunicados al pueblo llano al que se supone que sirven. Y lo mismo a nivel autonómico. Teniendo en cuenta que la misión principal (debería añadir única) que han de desempeñar, junto a los políticos, es velar por el progreso y bienestar de la población, mediante una correcta gestión de los recursos disponibles, no parece que seamos muy eficaces al respecto. Por el contrario, el número de científicos, médicos y personas relacionadas con el mundo de la ciencia en España es de unos 3.000 por millón de habitantes, uno por cada 4 políticos aproximadamente, ocupando el puesto 26 del ranking mundial.

Si miramos por el lado de los funcionarios, empleados del estado encargados de la buena gestión de la administración y con puestos permanentes, y por ello más fáciles de localizar e identificar, la cifra resulta también asombrosa. Fijémonos en los ayuntamientos. En España



J. de Mendoza

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

hay algo más de 8.000 ayuntamientos, todos con sus alcaldes y muchos con una larga corte de concejales y consejeros detrás. Sólo 400 ciudades con ayuntamiento pasan de 20.000 habitantes, la cifra mínima recomendada por nuestros vecinos europeos, que consecuentemente han ido reducido drásticamente el número de sus municipios. Por ejemplo, Gran Bretaña (60 millones de habitantes), ha pasado de 1.500 a 400, Alemania (80 millones), de 25.000 a 8.400, Bélgica (11 millones), de 2.359 a 596, e incluso la mediterránea Grecia, de mentalidad más comparable a la nuestra, se atrevió a reducir los municipios desde 5.300 a poco más de 1.000. Esa reducción, en la era de los ordenadores, las redes sociales y las gestiones *online*, parece de lo más razonable pero, a pesar de que también usamos ordenadores y las gestiones desde casa son cada vez más frecuentes, se habla en España menos del tema que en la UE, que nos lo recuerda con insistencia cuando nos dirigimos a ella en busca de ayudas.

Resulta además bastante desagradable que muchos de los cargos públicos, a menudo cobran dietas que complementan sus salarios, fijados no por baremos nacionales sino por ellos mismos a través de sus representantes. Si a los municipios sumamos las diputaciones, los cabildos, los consejos comarcales e insulares, etc. (hasta siete niveles administrativos, con frecuencia superpuestos o redundantes), salen cifras ingentes que nuestro país no se puede permitir, y menos ahora. Pensemos que Francia ha reducido hace poco sus 22 regiones metropolitanas a 13 con el fin de ahorrar. ¿Se imaginan la que se organizaría si alguien propusiera algo similar con respecto a nuestras 17 autonomías, algunas de ellas uniprovinciales?

Está claro que tiempo atrás esa burbuja administrativa y política guardó relación con la creación del estado de las autonomías, pero las cifras han seguido creciendo. En tiempos de Adolfo Suárez y Leopoldo Calvo Sotelo el número de 760.000 funcionarios heredado en 1975 se convirtió en 1,77 millones (1983), por la creación de las 17 autonomías mencionada, pero Felipe González lo elevó a 2,33 millones (1996), José María Aznar a 2,79 millones (2004), Y José Luis Rodríguez Zapatero a 3,23 millones (2011). No he encontrado las cifras de Mariano Rajoy ni de Pedro Sánchez, pero me temo que la tendencia no ha cambiado. Tal parece que cada presidente que pasó por Moncloa añadió a la administración pública medio millón de empleos. No se me ocurren fórmulas sencillas y no traumáticas que permitan pinchar esa burbuja, pero hay que recordar que la banca, que tiene mucho más trabajo ahora que hace 40 años, ha pasado de 250.000 empleados a menos de 150.000, gracias a la informática y a una gestión moderna y eficaz. Obviamente, no estoy proponiendo mandar a cientos de miles de personas directamente al paro, pero una reconversión gradual de nuestro modelo productivo y social que limite el número excesivo de personas dependientes del estado es una necesidad urgente. Si hubiéramos comenzado en la transición, ahora el problema se habría mitigado.

Se afirma con insistencia que muchos de los políticos actuales no tienen nivel. Son conocidos los casos de

quienes se han dedicado a la política toda su vida, no habiendo trabajado jamás en otros campos, con currículos frecuentemente hinchados cuando no directamente fabricados, con tesinas y tesis plagiadas con total impunidad, ante la indiferencia general y la irritación de quienes sabemos lo que cuesta hacer un doctorado. Y esa burbuja no se pincha jamás, porque los políticos son siempre jueces y parte, fijan sus propios salarios, promulgan leyes electorales a medida, que les perpetúan en el poder, y olvidan rápidamente sus promesas al alcanzar el mismo. En una democracia consolidada las elecciones suelen poner a cada uno en su sitio, pero aquí parece que la memoria de los ciudadanos es de corto alcance (y de eso se ocupan también con ardor los políticos y sus medios afines), y la historia se repite una y otra vez, como un bucle sin fin, un día de la marmota sin esperanza.

¿Cómo podría pincharse esta burbuja? Volvamos al principio de esta crónica. El diseño racional nos sugiere que habría que buscar y convencer a la gente más preparada, a los mejores gestores, a quienes defiendan ideales más puros y generosos, para que dediquen parte de sus vidas (pero sólo una parte) a servir a sus semejantes desde la esfera política, para después regresar a sus puestos de trabajo habituales. Desgraciadamente, esta vía falla aquí, por diversos motivos. Los partidos políticos tienen especial cuidado en limitar las iniciativas de sus militantes más brillantes y preparados, cercenando todo tipo de debate interno que ponga en riesgo la supervivencia política de sus dirigentes, con la excusa de la unidad de acción. Eso lleva a arrinconar, o directamente a expulsar, a quienes se atreven a discrepar, si no se han ido ya por iniciativa propia, hartos de mediocridad. Si, a pesar de ello, alguno prospera, es fácil que caiga en los vicios del poder, no necesariamente corrupción, pero sí dilución “pragmática” y paulatina de sus ideales, que hace que una vez alcanzada la cima, esa persona no se parezca ya en nada a quien era cuando comenzó. Sobran ejemplos.

Pero no perdamos la esperanza. Acudamos al método de la naturaleza, la selección natural. Para que un joven político brillante, limpio y abnegado, que piense más en el bienestar de sus ciudadanos y su país que en el de su partido o el suyo propio, aparezca y prospere, es imprescindible que la muestra donde seleccionar sea muy abundante, como ocurre en la naturaleza con las mutaciones. Las bacterias crean rápidamente resistencia a los antibióticos porque son muy numerosas y tienen ciclos de vida muy breves, por lo que la frecuencia de mutaciones es mayor que en otros seres vivos. Y en nuestra clase política, con más de 400.000 ejemplares en donde elegir, la esperanza es que la vía de la selección natural acabe abriéndose paso con el tiempo. Eso sí, bastante tiempo, tal vez mucho tiempo. Paciencia...

JAVIER DE MENDOZA

Catedrático jubilado de Química Orgánica (UAM)
Profesor Emérito, Instituto Catalán de Investigación Química
(ICIQ, Tarragona)



ENSAYO

• Cossío, Fernando P.

Rolf Huisgen (1920-2020) y las reacciones 1,3-dipolares: una perspectiva muy personal • 2020, 116 (2), 63-68.

• Koester, Vera

What do we do about fake news? • 2020, 116 (3), 131.

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

• Arroyo, Maribel

Dióxido de carbono, sus dos caras • 2020, 116 (2), 81-87.

• Cid, Ramón

Una aproximación a la espectrometría en Educación Secundaria • 2020, 116 (1), 25-30.

• González-Fernández, Daniel

Véase, Cid, Ramón.

• Martínez Pons, José Antonio

Algunas reflexiones sobre tablas periódicas, algo periódicas y nada periódicas • 2020, 116 (1), 31-37.

Química en un museo ferroviario • 2020, 116 (3), 181-190.

• Ramírez Monroy, Armando

Véase, Arroyo Maribel.

• Val-Castillo, Otilia

Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. Propuesta didáctica • 2020, 116 (2), 88-98.

Elaboración de una tabla periódica. Proyecto cooperativo y motivador para el área de química • 2020, 116 (3), 173-180.

INVESTIGACIÓN QUÍMICA

• Dorel, Ruth

Fotointerruptores moleculares basados en dobles enlaces para el control de la actividad catalítica • 2020, 116 (4), 223-232.

• Esteve-Adell, Iván

Aplicaciones del grafeno en sistemas de almacenamiento de energía • 2020, 116 (4), 233-240.

• García-Pellicer, Marta

Véase, Esteve-Adell, Iván.

• G. Campaña, Araceli

Véase, Míguez-Lago, Sandra.

• Gil-Agustí, Mayte

Véase, Esteve-Adell, Iván.

• Guitián, Enrique

La química de los arinos. Una perspectiva personal • 2020, 116 (1), 7-15.

• Gutiérrez, Gemma

Véase, Matos, María.

• Luque, Susana

Véase, Matos, María.

• Matos, María

Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos • 2020, 116 (2), 69-80.

• Míguez-Lago, Sandra

Nanografenos imperfectos: perfectos en la búsqueda de nuevas propiedades quirópticas • 2020, 116 (3), 132-145.

- **Mijangos, Carmen**

100 años de Ciencia de Polímeros en el mundo, 73 años en nuestro país. Avances en la academia y en la industria • **2020**, *116 (4)*, 214-222.

- **Moliner, Vicent**

Bioquímica computacional: una potente herramienta para desvelar el origen de la reactividad enzimática • **2020**, *116 (1)*, 16-24.

- **Quijano-López, Alfredo**

Véase, Esteve-Adell, Iván.

- **Ruiz Bermejo, Marta**

Una pincelada azul en el lienzo del origen de la vida • **2020**, *116 (3)*, 154-163.

- **Sánchez, Luis**

Polímeros supramoleculares. Estructuras organizadas, complejas y funcionales • **2020**, *116 (3)*, 146-153.

- **Zubizarreta Sáenz de Zaitegui, Leire**

Véase, Esteve-Adell, Iván.

HISTORIA DE LA QUÍMICA

- **Díez Barra, Enrique**

Véase, Rodríguez García, Antonio M.

- **Herrero, María Antonia**

Véase, Rodríguez García, Antonio M.

- **Mansilla, Luis**

Véase, Rodríguez García, Antonio M.

- **Martín Sánchez, Manuela**

Véase, Pinto Cañón, Gabriel.

- **Pinto Cañón, Gabriel**

Iniciativas del Ayuntamiento de Madrid para resaltar la labor de Andrés Manuel del Río, el madrileño que descubrió el vanadio • **2020**, *116 (1)*, 38-42.

El Año Internacional de la Tabla Periódica desde la filatelia: implicaciones didácticas y divulgativas • **2020**, *116 (3)*, 164-172.

- **Prolongo, María Luisa**

Véase, Pinto Cañón, Gabriel.

- **Rodríguez, Óscar**

La presencia de la Química en los billetes bancarios • **2020**, *116 (4)*, 241-252.

La Química en las Finanzas • **2020**, *116 (4)*, 253-263.

- **Rodríguez García, Antonio M.**

EuChemS reconoce el primer Historical Landmark en España: las Minas de Almadén • **2020**, *116 (4)*, 264-296.

LA QUÍMICA ESPAÑOLA VISTA POR SUS PROTAGONISTAS

- **Forniés, Juan**

Los orígenes del Departamento de Química Inorgánica de Zaragoza • **2020**, *116 (4)*, 210-213.

- **Laguna, Antonio**

Véase, Forniés, Juan.

RADICALES (MUY) LIBRES

- **De Mendoza, Javier**

Petróleo • **2020**, *116 (1)*, 49.

I have a dream! • **2020**, *116 (2)*, 123.

Ciencia y cultura • **2020**, *116 (3)*, 195.

Burbujas • **2020**, *116 (4)*, 292-293.

Normas de publicación de la revista *Anales de Química* de la RSEQ

INSTRUCCIONES A LOS AUTORES

La revista *Anales* se edita trimestralmente. Los artículos se publican en español y deben tener (utilizando la plantilla de *Anales de Química*, ver abajo) una extensión máxima de 8 páginas, 5 si son de las áreas Enseñanza y Didáctica de la Química, Aula y Laboratorio o Historia de la Química.

Los manuscritos se enviarán en un solo archivo pdf conteniendo el texto, las figuras, tablas, esquemas y gráficos integrados en el texto. Para la preparación de los manuscritos se recomienda el empleo de la plantilla Word disponible en la web ([Plantilla Manuscritos Anales](#) - 95.95 kB). En la web de *Anales de Química* también existe a disposición de los autores un artículo que puede emplearse como modelo para la preparación de manuscritos ([Artículo Modelo](#) 755.71 kB).

Los manuscritos deben ir acompañados de una carta al Editor (en formato pdf) en la que se incluya la información de contacto del autor principal y el tipo de contribución a *Anales de Química* (Investigación Química, Aula y Laboratorio, Historia de la Química). Adicionalmente, deben sugerirse cuatro revisores competentes en la materia, indicando su nombre y su correo electrónico. En esa misma carta deberá explicitarse que el artículo remitido es original, que no se ha publicado previamente y que no se está considerando para su publicación en otra revista.

Es responsabilidad del autor principal informar al resto de autores acerca del estado de recepción, revisión o publicación del manuscrito.

Una vez aceptado el manuscrito, para la confección final del artículo, las figuras, tablas, esquemas, gráficos y fotografía/s del/los autores deberán remitirse en formato original, cada una como un archivo independiente y todo ello en un archivo tipo zip.

Se recomienda a los autores que envíen propuestas atractivas para la portada de la revista (con una calidad mínima de 600 dpi) y formato original o EPS.

PREPARACIÓN DE LOS MANUSCRITOS

Se recomienda la preparación de manuscritos empleando la plantilla de *Anales de Química*. Los manuscritos deben respetar las siguientes secciones: título, filiación de los autores, fotografía de los autores, resumen (español e inglés), palabras clave (español e inglés), introducción, exposición del trabajo, conclusiones, agradecimientos y bibliografía.

Primera Página. En esta página debe aparecer el título del manuscrito, los nombres de los autores, sus fotografías, filiación, dirección postal completa, y dirección de correo electrónico del autor principal o de contacto, que se puede identificar mediante un asterisco. También se incluirán en esta primera página cinco palabras clave y un resumen de un máximo de 100 palabras, en español y en inglés.

Texto. Deberá incluir referencias relevantes al tema que se presenta y su exposición se hará de modo que resulte atractivo y divulgativo. En la mayoría de los artículos se sugiere a los autores comenzar con una visión global del tema tratado para finalizar considerando los aspectos más particulares de la investigación presentada.

Tablas. Deben numerarse consecutivamente y situarse a continuación del texto donde se mencionan. En la parte superior de cada tabla, debe aparecer un título que describa su contenido, sin necesidad de recurrir al texto. Si se necesita especificar algún detalle se puede indicar como nota al pie de Tabla.

Figuras. Las fotografías y figuras serán originales y sin derechos de reproducción. Las fórmulas se enviarán en formato Chemdraw siguiendo los ajustes ACS. Todas las figuras o esquemas deben situarse detrás del párrafo de texto en el que se mencionan, y deben numerarse en orden consecutivo. Cada figura debe presentar al pie una leyenda que indique el número de figura correspondiente y una pequeña descripción, preferiblemente menor de cuatro líneas. Las figuras se deben preparar para un formato de una columna (8,5 cm de anchura) o de dos columnas (17,5 cm de anchura máxima).

Bibliografía. Como norma general, se evitarán, dentro de lo posible, referencias a la Wikipedia, o enlaces web que no sean fuentes de solvencia contrastada. En el texto, los números deben aparecer como superíndices (por ejemplo, Wittig¹) y, si procede, después de las marcas de puntuación (por ejemplo, Correa.²). Los nombres de las revistas deben abreviarse de acuerdo al Chemical Abstracts Service Source Index (CASSI) [en caso de duda, consúltese: www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html] y deben seguir el estilo general de las revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química, como se muestra en los siguientes ejemplos:

Artículos de revistas:

- ¹ a) B. M. Trost, *Chem. Eur. J.* (1998, 4, 2405-2412);
 b) S. Grimme, *Angew. Chem. Int. Ed.* 2006, 45, 4460-4464.
² J. García-Martínez, *An. Quím.* 2006, 102(1), 11-18.

Libros:

³ D Tullius en *Comprehensive Supramolecular Chemistry*, Vol. 5 (Eds.: J. L. Atwood, J. E. D. Davies, D. D. MacNicol, F. Vögtle, K. S. Suslick), Pergamon, Oxford, 1996, pp. 317-343.

Cartas al Editor. Las cartas al editor deben tener una extensión máxima de medio A4 escritas a 1.5 espacios y paso 12. Estas cartas se publicarán sin editarse y no serán sometidas a revisión, excepto si se refieren a personas o instituciones de forma ofensiva.

Artículos de Opinión. Los artículos de opinión tendrán una extensión máxima de cuatro A4 escritas a 1.5 espacios y paso 12. Serán revisados por el Editor General y dos Editores Asociados y se aprobarán para su publicación por el comité editorial. Adicionalmente, el equipo editorial podrá solicitar artículos de opinión si lo estima oportuno. En este caso será el editor asociado el responsable de aceptar o rechazar el artículo.

Se rechazarán todos los artículos que incumplan estas normas



ENVÍA TUS ARTÍCULOS A
www.analesdequimica.es



Anales de Química
 Revista de la Real Sociedad Española de Química

Anales de Química
 La revista de la Real Sociedad Española de Química
 segunda época

www.rseq.org/anales volumen 116 número 3 julio-septiembre 2020

PLAYA QUIRALIDAD

Nanografenos imperfectos: perfectos en la búsqueda de nuevas propiedades quiróticas, Sandra Míguez-Lago y Araceli G. Campaña
 Polímeros supramoleculares. Estructuras organizadas, complejas y funcionales, Luisa Sánchez
 Química en un museo ferroviario, José Antonio Martínez Pons

RSEQ
 Real Sociedad Española de Química
 El Sitio de la Química en España

SYNTHIA™

Retrosynthesis Software

Imagine what's possible.
Test what's probable.
Pioneer the pathway.

SYNTHIA™ draws from a profound database of advanced organic synthesis rules and algorithms. Quickly and efficiently scan millions of data points and pathways to help you identify viable pathways. Successfully synthesize target molecules based on your requirements and preferences.

- Accelerate the rate of pathway discovery from weeks to minutes
- Explore the most cost-effective routes to chemical targets
- Generate new ideas and intellectual property for drug discovery

Flexible Floating Licenses



Customizable packages based on

- # of Search Tokens
- # of Named Users
- License term (12-36 months)



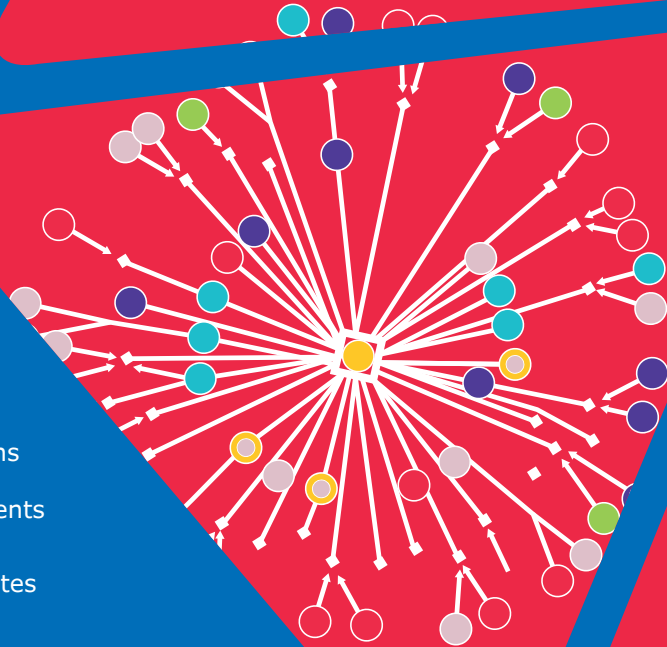
Service

- Training & tutorials
- Technical support
- Secured access



Optional Add-Ons

- Inventory integration
- On-site workshops
- Consultation Services



LICENSING PACKAGES FOR
ACADEMIA NOW AVAILABLE

Evaluation License

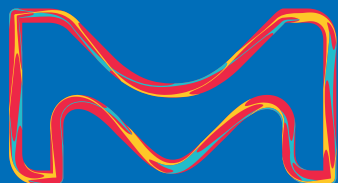


- Explore all features to determine how to customize your full-term license
- 3 months duration

Pioneer your pathway discovery with SYNTHIA™

Ready to save time and reduce costs?

Visit our website: www.sigmaaldrich.com/SYNTHIA
Or contact us today at: synthia@milliporesigma.com



©2020 Merck KGaA, Darmstadt, Germany and/or its affiliates. All Rights Reserved. Merck, Sigma-Aldrich and Synthia are trademarks of Merck KGaA, Darmstadt, Germany or its affiliates. All other trademarks are the property of their respective owners. Detailed information on trademarks is available via publicly accessible resources.

Lit. No. MK_FL5684EN Ver. 1.0 03/2020