



ORGANIZACIÓN PARA LA PROHIBICIÓN DE LAS ARMAS QUÍMICAS



Trabajando juntos por un mundo sin armas químicas

La actividad de la Autoridad Nacional Española en el marco de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas, por Nieves Gómez Sainz de Aja

Una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios, por Manuela Martín Sánchez, Gabriel Pinto Cañón y María Teresa Martín Sánchez

Utilización de dióxido de carbono como fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos, por José A. Castro-Osma

Entidades colaboradoras



Socios Corporativos

- Aldrich Química
- Bruker
- Cepsa
- Janssen Cilag
- Feique
- Lilly España

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 Ikerbasque

Juan José Lucena
Universidad Autónoma de Madrid

Sonsoles Martín Santamaría
Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC

Inés Pellón González
ETS de Náutica y Máquinas Navales UPV/EHU

Mariona Sodupe i Roure
Universidad Autónoma de Barcelona

Carmen Redondo
Colegio Estudio

María C. de la Torre
Instituto de Química Orgánica General del CSIC

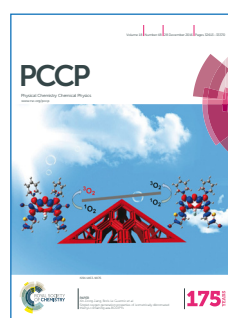
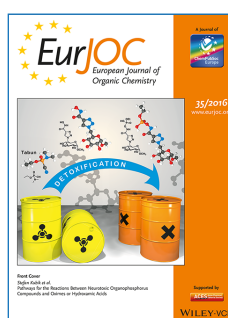
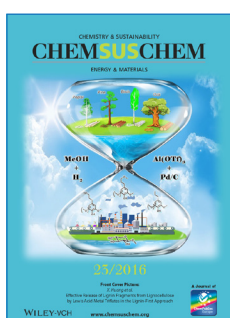
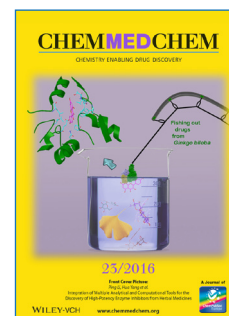
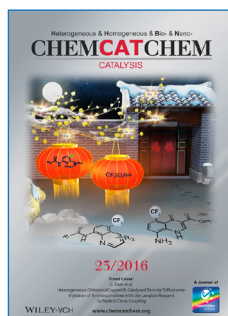
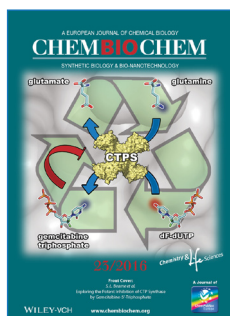
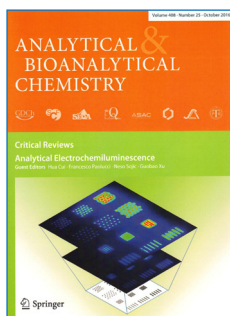
Secretaría Editorial

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. Fax (+34) 915 433 879



Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química



Sumario



Composición y producción:

Moisés Fernández
Edinnova Taller Editorial

Editorial	197
<i>Miguel Ángel Sierra</i>	
Carta del Presidente	199
<i>Jesús Jiménez Barbero</i>	
Cartas al editor	
Divulgación <i>Open Access</i> en <i>El Mundo</i>	200
<i>Pedro Merino</i>	
Las Olimpiadas de Química: Una propuesta de mejora	201
<i>Sergio Menargues Irlés, José Luis Rodríguez Blanco</i>	
Nombres y símbolos en español de los elementos con números atómicos 113, 115, 117 y 118 aceptados por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016	202
<i>Miguel Ángel Ciriano, José Elguero, Javier García-Martínez, Pilar Goya, Pascual Román Polo</i>	
Opinión	
Palabras en nombre de los galardonados con la “Medalla de los cincuenta años” de la Real Sociedad Española de Química	205
<i>Manuel Martín-Lomas</i>	
Investigación Química	
Utilización de dióxido de carbono como fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos	207
<i>José A. Castro-Osma</i>	
Colaboración científica en la investigación química española: análisis de artículos de química publicados en revistas de impacto	216
<i>Jesús H. Busto, Joaquín León, Marta Magriñá</i>	
Química y Sociedad	
La actividad de la Autoridad Nacional Española en el marco de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas	225
<i>Nieves Gómez Sainz de Aja</i>	
Historia de la Química	
Una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios	231
<i>Manuela Martín Sánchez, Gabriel Pinto Cañón, María Teresa Martín Sánchez</i>	
Enseñanza de la Química	
¿Qué tiene que ver la piezoelectricidad con la inteligencia?	242
<i>Pilar Amo-Ochoa</i>	
Noticias de la RSEQ	249
Reseñas de libros	264
Normas de publicación	266
Índice de autores	268

Anales de Química está disponible en versión impresa. Para más información, por favor contactar con pyanezs@ucm.es

Miguel Ángel Sierra

Hace ya tiempo que observo con preocupación cómo nuestros estudiantes en todos los niveles (desde el grado al doctorado pasando por el máster), se distancian cada vez más de lo que se les explica en clase y entienden con mayor dificultad conceptos básicos de química. Esto resulta en un aprendizaje que es, por decirlo de forma políticamente correcta, poco satisfactorio. Como siempre lo más sencillo es atribuir esta situación a que “los estudiantes de ahora no son como los de antes” y “antes sí que estudiábamos”.

Nada más cierto. Los estudiantes de ahora no son como los de antes, afortunadamente. Los que sí somos como los de antes somos nosotros, los profesores. Y puede que ahí resida el problema.

Muchos de nosotros estudiábamos cuando el PC no tenía disco duro y una transparencia era un alarde de tecnología (las diapositivas eran para las presentaciones de las tesis doctorales y costaban un ojo de la cara). Cuando llegaron los ordenadores portátiles y el “powerpoint”, lo que hicimos, en un alarde tecnológico, fue pasar nuestros apuntes, en muchas ocasiones heredados de nuestros mentores, al ordenador y proyectarlos en clase. Mientras tanto, nuestros alumnos jugaban con sus PlayStations, habían cambiado la peonza por una “game boy”, y muchos empezaban a usar sistemáticamente la web.

Unos años después llegó “Bolonia”. Y digo llegó “Bolonia” porque el Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), sus directrices, normas y procedimientos de enseñanza poco tienen que ver con lo que en este país se conoce como “Bolonia”. El cambio educativo que acarreeó “Bolonia” fue una revelación para muchos docentes de este país. Algunos incluso evolucionaron hacia un nivel superior de consciencia. Como me apasiona el cine, yo comparo ese momento con el que debió de sentir el homínido al tocar el monolito negro de la película de Kubrick. El sistema docente se “modernizó” con conceptos como tormenta de ideas, tutorías, mentorías, guías docentes, evaluación continuada, proyectos de innovación educativa, etc. Todo ello soportado y avalado por las siempre interesantes evaluaciones del Programa



DOCENTIA o de alguna de sus múltiples variantes locales y autonómicas.

En aquellos años tuve la oportunidad de aprender de primera mano (de los profesionales que desarrollaron este sistema, entre los que no había, al contrario de lo que se cree, un exceso de pedagogos) las directrices y métodos del EEES (Bolonia si queréis). Os puedo garantizar que el sistema que se ha impuesto en nuestras universidades, incluyendo el cambio de lenguaje (por ejemplo, llamar a la pizarra “panel de expresión vertical” o a las tizas de colores “elementos policromáticos de expresión gráfica”), no tiene nada que ver con la modernización de la enseñanza, y mucho menos con el espíritu de integración y cambio implícito a la declaración de Bolonia (esta vez sin comillas) de 1999. Mientras interpretábamos el espíritu de la declaración de Bolonia a la manera española, nuestros alumnos estaban ya conectados al chat instantáneo (SMS y chat Blackberry en aquellos tiempos, WhatsApp ahora). Además, ya se movían sin dificultad alguna por la web y las redes sociales emergentes. Videojuegos como “el Call of Duty, el Medal of Honor, el Warcraft, los Heroes of Might

and Magic, etc.”, causaban furor entre nuestros estudiantes (y, ejem, algún que otro profesor), sobre todo en sus versiones interactivas multijugador.

En mi opinión fue en este punto cuando perdimos los docentes la conexión maestro-discípulo con nuestros alumnos (excepto honrosas excepciones, que alguna habrá). Como no supimos reaccionar a tiempo hicimos lo que siempre se hace en este país: cortar por arriba. De esta forma, manteniendo la misma forma de enseñar (puedo afirmar que en muchas universidades todavía se siguen usando los mismos apuntes que cuando yo estudiaba en los años 80), recortamos contenidos y nos dedicamos a enseñar lo mismo que antes, pero diluido y más rápido (¿contracineética?). Bajamos el nivel requerido para aprobar y, mira qué bien, las estadísticas de alumnos aprobados se mantuvieron y se mantienen. Lo que demuestra el éxito del sistema es que la generación actual de graduados es la mejor preparada de la historia (no lo digo yo, lo dicen los ministros de los últimos gobiernos y sin que les tiemble la voz).

Como dijo un colega en una oposición ante una pregunta del tribunal que consideró ofensiva “La química se dé con tiza, por televisión o cantando”. Nada más cierto. La Química es Química. Lo que ha cambiado es a quién va dirigida esta Química. Lo que ha cambiado son los alumnos a los que enseñamos. Nuestros estudiantes tienen toda la información del mundo a un golpe de tecla. ¿Qué sentido tiene entonces enseñar básicamente casuística? ¿Y aprobar asignaturas haciendo trabajos? (en Bolonia se hablaba de ensayos críticos, no de soltar como un papagayo algo que has copiado del *rincón del vago* de turno. Por cierto, esto nos lleva al tema de la copia y el plagio en el mundo académico, pero hoy no toca). No tiene ningún sentido. Los alumnos de 2016 no son ni menos listos ni más pasotas que los de 1981. Simplemente son diferentes y les motivan cosas diferentes. Por tanto, no se les puede enseñar igual que hace 35 años, pero si se les debe exigir como hace 35 años. El error de bajar el

nivel de conocimientos necesario para aprobar (no el de memoria, para eso está la web) y mantener las estadísticas en niveles aceptables, hace que la preparación de nuestros estudiantes sea cada vez peor (y eso, a pesar de que se trata de la generación mejor preparada, yo sí me sonrojo al decir esto).

La solución es reciclarnos como profesores y después volver a reciclarnos como profesores. No haciendo cursos estúpidos (yo he asistido a algunos que no menciono por pudor). El reciclaje es asumir que ha llegado el momento de cambiar nuestra forma de enseñar Química. Adaptarla no a las nuevas tecnologías (eso es fácil, incluso trivial) sino a la forma de pensar y actuar de las nuevas generaciones que estamos formando. No se trata de jugar a las tres en raya con un benceno en una pantalla electrónica. Se trata, por ejemplo, de usar la potencia de la web y la tecnología para eliminar la casuística y la fenomenología de nuestras aulas, e intentar una educación conceptual, transversal y personalizada (vaya, me ha salido Bolonia, pero la de verdad). Enseñar Química del siglo XXI, no del siglo XIX (y esto no se refiere precisamente a la última reacción que haya aparecido en la literatura). Y hacer ver a nuestros estudiantes que sin estudiar no se aprende. No es que no se apruebe, es que no se aprende, que es diferente. Y, si fuese todavía posible, reeducar a los “bolonizados” amantes de las guías docentes, las estadísticas y demás o, al menos, dejarles en posiciones en las que no puedan hacer demasiado daño. Ya han hecho bastante.

Hablar de cómo se debería formar el nuevo profesorado para hacer frente al reto que se les viene encima es otro problema. Lo dejaré para el año que viene.

Feliz año 2017.

Gracias por leer

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

Jesús Jiménez Barbero

Queridos amigos y colegas,

Lo primero que quiero hacer con estas líneas es agradecer el esfuerzo de todos aquellos que hacen posible que cada nuevo número de *Anales de Química* sea un evento esperado por muchos de nosotros. Creo que el nuevo giro de la revista en los últimos años ha supuesto un avance significativo que, de manera general, es apreciada en nuestra comunidad y que el paso al formato electrónico ha sido bien recibido. El ahorro generado al tomar esta medida ha permitido seguir aumentando los fondos disponibles para realizar las actividades de los Grupos Especializados y Secciones Territoriales que ya suman casi 200 mil euros anuales. En la próxima Junta de Gobierno se asignarán las cantidades correspondientes a el año 2017.

Como sabéis, en junio de 2017 celebraremos nuestra Reunión Bienal, en Sitges. El programa científico es extraordinario con un centenar de Conferenciantes Plenarios e Invitados de prestigio mundial. No me cabe duda de que será un éxito de organización, de asistencia y de discusión. Espero encontrarme y hablar personalmente allí con muchos de vosotros.

El pasado mes de noviembre celebramos nuestra entrega de Premios 2017 en una ceremonia que, personalmente, siempre me produce una ilusión especial. No solamente felicitamos a los galardonados del año, sino que también honramos a muchos de los que han hecho posible la existencia de la RSEQ y que la Química española se sitúe en el lugar que ocupa en la actualidad. Desde el punto de vista de investigación fundamental, en el séptimo lugar en número de citas (WoS), tras EE. UU., Japón, Alemania, China, Reino Unido y Francia. Un lugar extraordinario, dada la situación actual respecto a la inversión en I+D en nuestro país, tanto pública como privada, muy lejos de lo deseado y necesario para un país moderno. Ahí seguimos, trabajando con todas nuestras fuerzas.



La ceremonia fue presidida por la doctora Marina Villegas, directora de la Agencia Estatal de Investigación. Anunció que el año será difícil en términos de inversión pública, con un más que probable retraso en la mayoría de convocatorias de los proyectos del Plan Estatal. Esperemos que el retraso no sea excesivo y que aquellos que solicitáis proyecto en esta convocatoria tengáis la oportunidad a lo largo del primer semestre.

Termino esta carta con el deseo de que al año próximo os sea muy propicio en todos los aspectos.

Hasta pronto,
Jesús

JESÚS JIMÉNEZ BARBERO
Presidente de la Real Sociedad Española de Química

Divulgación *Open Access* en *El Mundo*

El pasado viernes 25 de noviembre recibí una llamada del diario *El Mundo* en la que un amable periodista me solicitó mantener una entrevista acerca de las actividades y proyectos en curso de nuestro grupo de investigación, con motivo de un suplemento especial I+D+i que se publicaría el 30 de enero de 2017. No es la primera vez que se publica un suplemento de ese tipo en un diario de tirada nacional mostrando grupos líderes en diversos campos de la ciencia. Por eso mismo, la llamada me sorprendió, porque, si bien es cierto, este año no nos ha ido nada mal en productividad científica, hay otros grupos bien reconocidos a nivel nacional e internacional que, sin duda, merecen más estar en los medios representando a la Química Orgánica, Biológica y no digamos a la Química en general. Pero uno tiene su “corazoncito” y seguí escuchando las loas que hacía de nuestras actividades y lo importante que era para *El Mundo* contar con nuestra presencia y que divulgáramos nuestras actividades. En estas que yo no salía de mi asombro acerca de cómo sabía tanto de nosotros (había hecho bien su trabajo de investigación) fue cuando llegó el verdadero motivo de la llamada, de que me diera cuenta que aún podía sorprenderme más y, en definitiva, la razón de esta carta. Únicamente había una pequeña condición, y es que, al ser un suplemento serio de ciencia e investigación, no pensaban poner publicidad y, por ello –cito literalmente la carta que me enviaron–:

Debido al carácter divulgativo de la publicación, cada entidad referente asume su exclusividad divulgativa, que será el coste físico de producción del diario según el formato que elijan.

El coste físico, a elegir, era de 2.450 euros media página, 4.100 euros página completa o 6.100 euros doble página, una gran oportunidad, según mi interlocutor

porque una página de publicidad de *El Mundo* rondaba los 30.000 euros.

Así que cuando veáis el suplemento el próximo 30 de enero pensad en el coste de las contribuciones y que cuando digan que –vuelvo a citar textualmente–:

El objetivo de esta publicación especial es informar ampliamente sobre la actualidad en el área de nuevas tecnologías, nuevos desarrollos e innovación en diferentes campos en nuestro país”

Sin desmerecer a los que aparezcan que serán grupos y entidades muy notables, no me cabe duda, en realidad aparecerán aquellos que tengan disponibilidad o hayan derivado parte de sus presupuestos a este nuevo modelo de divulgación *Open Access* que hasta hoy yo hubiera llamado simple y llanamente “publicidad”. Nuestro grupo no estará porque preferimos dedicar nuestros –siempre limitados– recursos a investigar, pero también porque, aunque sea una actividad legal y comercial, me parece, a nivel personal, una actitud poco ética a la hora de informar, y como dije en una conocida red social, por encima de mi amor a la investigación está mi estima a no perder la dignidad. El que quiera saber más acerca de nuestras actividades ahí tiene nuestra web <http://bioorganica.unizar.es>, modesta pero hecha por nosotros, soportada por nuestra Universidad de Zaragoza y sin ningún coste adicional. No quiero terminar esta carta sin agradecer a Esteban Urriolabeitia (CSIC, ISQCH, Zaragoza) la idea para el título de la misma asociando esta situación al *Open Access* del que tantos quieren aprovecharse y según parece, ahora también un diario de tirada nacional.

PEDRO MERINO
Universidad de Zaragoza

Las cartas al editor no requieren invitación y deben enviarse directamente a Miguel Á. Sierra: sierraor@ucm.es

Las Olimpiadas de Química: Una propuesta de mejora

Las Olimpiadas de Química representan una excelente plataforma para la difusión y el reconocimiento de la Química entre los estudiantes de bachillerato. Estas olimpiadas, organizadas por la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y la Asociación Nacional de Químicos de España (ANQUE), se han venido celebrando con carácter local desde finales de los años 80. En ellas se escoge a los tres mejores estudiantes de cada distrito universitario, que más tarde compiten en la Olimpiada Nacional, en la que se selecciona a los participantes en las Olimpiadas Internacional e Iberoamericana. Los distintos países que compiten en estas Olimpiadas dedican recursos, tiempo y esfuerzos para que sus alumnos alcancen el mayor número posible de medallas y para fomentar las distintas ciencias entre sus jóvenes más brillantes. Desgraciadamente, los cambios que el Ministerio de Educación ha introducido de forma arbitraria en los últimos años sobre cuál de las dos instituciones, RSEQ o ANQUE, debe estar al frente de la organización de las Olimpiadas de Química y la inseguridad sobre la asignación de los recursos, han motivado numerosos problemas de entendimiento y organización, e incluso en ocasiones discrepancias, entre los diferentes colectivos vinculados a las Olimpiadas: ANQUE, RSEQ, MECD y profesores comprometidos con las mismas, que parecen estar dando lugar a una pérdida de parte del prestigio que antes tenían. Tras una reflexión sobre las posibles causas y consecuencias de esta situación, los firmantes proponemos una serie de actuaciones que podrían ayudar a solucionar estos problemas

y hacer que las olimpiadas recuperen el reconocimiento y la participación de su mejor época.

A juicio de los firmantes, se debería crear una comisión mixta ANQUE-RSEQ que integrara el mismo número de profesores de secundaria y universidad, que fuera la encargada de mantener las relaciones con el MECD, establecer el temario y el tipo y formato de la prueba nacional, proponerla y corregirla, así como de publicar los criterios de corrección, soluciones y resultados de la misma, los cuales aparecerían en las páginas web de ANQUE y RSEQ. Lamentablemente, este último aspecto ha suscitado controversias y desacuerdos entre los autores de las pruebas y los profesores y representantes de las delegaciones locales en más de una ocasión. Por todo ello, y con el objetivo adicional de adoptar en España los criterios internacionales en la preparación, corrección y publicación de los resultados y para dar mayor transparencia a todo el proceso, los abajo firmantes proponen la creación de la citada comisión mixta, de la que formen parte las instituciones que participan en las Olimpiadas de Química, para mejorar la coordinación de actividades y para que sea el organismo único y estable de comunicación y organización de esta importante actividad.

SERGIO MENARGUES IRLES

Profesor del colegio HH. Maristas de Alicante

JOSÉ LUIS RODRÍGUEZ BLANCO

Catedrático Jubilado

Nombres y símbolos en español de los elementos con números atómicos 113, 115, 117 y 118 aceptados por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016

El 8 de junio de 2016, la IUPAC (*International Union of Pure and Applied Chemistry*) presentó los símbolos y nombres de los elementos 113, 115, 117 y 118 adoptados provisionalmente y que sometió a exposición pública durante cinco meses para su aprobación definitiva el 8 de noviembre de 2016. Tras la revisión de un gran número de propuestas y sugerencias enviadas por distintos colectivos, el 28 de noviembre de 2016, la IUPAC ha aceptado definitivamente los nombres y símbolos propuestos por sus descubridores.^[1,2] En la Tabla 1, junto con la propuesta de la IUPAC, se incluye la traducción al español que distintos organismos e instituciones ya han publicado en la web, como Webelements,^[3] Wikipedia,^[4] el Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC)^[5] y la Fundación del Español Urgente (Fundéu BBVA).^[6] El *Diccionario de la lengua española* (DLE) no facilita los nombres de los citados elementos ni tampoco sus símbolos. TERMCAT (centro de terminología)^[7] ha propuesto los nombres y símbolos en español (Tabla 1); sin embargo, la Dirección General de Traducción de la Unión Europea, ha resuelto posponer su traducción hasta la aprobación definitiva por parte de la IUPAC de estos nombres y símbolos. La Real Sociedad Española de Química (RSEQ) ha decidido crear un grupo de trabajo sobre terminología química para traducir los nombres de los cuatro nuevos elementos. La propuesta de este grupo de trabajo aparece en negrita en la Tabla 1.

La traducción de *nihonium* (símbolo Nh, Z = 113) debe ser nihonio y no niponio, ya que este último nombre se había utilizado con anterioridad para denominar al elemento de número atómico 43, hoy conocido como tecnecio (Tc). En 1908, el químico japonés Masataka Ogawa anunció el descubrimiento del elemento de número atómico 43 al que llamó niponio (de *Nippon* en japonés, uno de los nombres empleados para designar al Japón) y símbolo Np. Años más tarde, se comprobó que el mineral estudiado por Ogawa contenía el elemento renio (Z = 75). El símbolo Np se empleó para designar al elemento neptunio (símbolo Np, Z = 93). Por ello, los descubridores del elemento de número atómico 113 propusieron el nombre de *nihonium* (de *Nihon* en japonés, otro de los nombres para designar al Japón y cuyo significado literal es “la Tierra del Sol Naciente”) y símbolo Nh. Por todo ello, se ha decidido traducir el nombre de este elemento al español como nihonio.

La traducción al español del elemento de número atómico 115 (*moscovium* en inglés) no tiene dificultad, su nombre es moscovio y su símbolo Mc. Sus descubridores propusieron este nombre para honrar a la capital de Rusia y a la región de Moscú donde se halla el **Instituto Central de Investigaciones Nucleares** (JINR de sus siglas en inglés) en Dubna.

Las dificultades vuelven a aparecer con los nombres de los elementos de números atómicos 117 y 118. La IUPAC, con muy buen criterio decidió mantener la terminación *-ine* en inglés (-o en español) para el elemento del grupo 17 (Z = 117) y la desinencia *-on* en inglés (-ón en español) para el elemento del grupo 18 (Z = 118).^[8]

Los descubridores del elemento 117 quisieron honrar al Estado y a la Universidad de Tennessee donde realizaron gran parte de sus investigaciones y propusieron el nombre de *tennessium* y símbolo Ts. El término moderno *Tennessee* se atribuye a James Glen, el gobernador de Carolina del Sur, que utilizó este nombre en su correspondencia oficial alrededor de 1750. Esta palabra se escribe en español *Tennessee*, tal y como aparece en diversos diccionarios y recomienda la Fundación del Español Urgente.^[9] Por lo tanto, no parece apropiado la eliminación de las dobles n y s en el nombre del elemento de número atómico 117 y, por ello, la traducción propuesta en español es *tennesso*.

El elemento de número atómico 118 fue descubierto por investigadores rusos y norteamericanos que propusieron el nombre en inglés de *oganesson* (símbolo Og) para honrar al físico nuclear de descendencia armenia Yuri Tso-lákovich Oganesián (Yuri Tsolakovich Oganessian, en inglés) nacido el 14 de abril de 1933 en Rostov del Don, que ha jugado un papel esencial en el descubrimiento de los elementos más pesados de la tabla periódica. En la actualidad cuenta con 83 años. Tras haber tenido en cuenta todos estos aspectos, se ha optado por traducir este elemento al español como oganesson. En este caso se ha consultado la forma en que este científico firma la mayoría de sus publicaciones en inglés en las que aparece como Yu. Ts. Oganessian.^[10] En este caso, también se ha seguido la recomendación de la IUPAC en lo que se refiere a que los nombres en otros idiomas sean lo más parecidos posible al nombre en inglés: “*It is obviously desirable that the names used in any language resemble these names as closely as possible*”.^[8]

En la Tabla 2 se muestran los números atómicos, nombres y símbolos de los dieciséis últimos elementos químicos (del 103 al 118) en inglés y su traducción al español con el fin de clarificar sus nombres donde puede haber alguna confusión. Se aprecia que únicamente en las páginas web de Webelements y TERMCAT se ofrecen todos los nombres en español, aunque con algunos errores. El *Diccionario de la lengua española* solo recoge los nombres de los elementos de números atómicos 103, 104, 105, 107, 108 y 109; para el elemento de número atómico 103 indica dos nombres: laurencio o lawrencio. Los restantes elementos no aparecen en el DLE. La web Wikipedia en español ofrece el nombre de todos los elementos químicos de números atómicos entre el 103 y el 118 a excepción del 115. Además, asigna dos nombres a los elementos de números atómicos 103 y 110: laurencio o lawrencio y darmstadio o darmstadtio, respectivamente. La Fundación del Español Urgente (Fundéu BBVA) únicamente recoge el nombre del laurencio ($Z = 103$). Esta institución aclara que “Los **nombres** de los elementos químicos, ya sean naturales o sintéticos, se escriben con **minúscula** inicial y **adaptados** a las diferentes lenguas: *hidrógeno, cloro, tecnecio*. Sus **símbolos** internacionales, por el contrario, se escriben con **inicial mayúscula** (*H, Cl, Tc*).”^[11] Por otra parte, la Real Academia Española (RAE) advierte de que entre los nombres que no deben escribirse con mayúsculas se hallan: “Los nombres de los elementos y compuestos químicos, así como las unidades de medida: *oxígeno, mercurio; newton, metro*”.^[12] En la propuesta de la RSEQ y siguiendo las normas de la IUPAC solo se indica un único nombre para cada elemento.

CONCLUSIÓN

El grupo de trabajo sobre terminología química de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) ha resuelto traducir al español los nombres de los elementos químicos de números atómicos **113, 115, 117 y 118** adoptados definitivamente por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016 como

nihonio (Nh), moscovio (Mc), tennesso (Ts) y oganesson (Og), respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (a) L. Öhrström, J. Reedijk, Names and Symbols of the Elements with Atomic Numbers 113, 115, 117 and 118, bit.ly/2e3SiAh, visitada el 21/10/2016. (b) L. Öhrström, J. Reedijk, Names and Symbols of the Elements with Atomic Numbers 113, 115, 117 and 118 (IUPAC Recommendations 2016), *Pure Appl. Chem.* 2016; preprint. Accepted November 28, 2016. DOI 10.1515/pac-2016-0501, bit.ly/2g5i6xx, visitada el 30/11/2016.
- [2] (a) IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117 and 118, IUPAC recent posts, 30/11/2016; bit.ly/2fPyFQg, visitada el 30/11/2016. (b) IUPAC announces the names of the elements 113, 115, 117 and 118, IUPAC recent posts, 30/11/2016. For Immediate Release 30 November 2016, Formato PDF, bit.ly/2gEUbs5, visitada el 30/11/2016.
- [3] Webelements, bit.ly/1HPViSI, visitada el 30/11/2016.
- [4] Wikipedia en español, bit.ly/2dYLsgg, visitada el 30/11/2016.
- [5] Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC), bit.ly/1S7dpOb, visitada el 30/11/2016.
- [6] (a) Elementos químicos, Fundéu BBVA, bit.ly/2gJtd3E, visitada el 24/11/2016. (b) *Téneso y oganesson*, mejor que *tenesino y oganesson*, Fundéu BBVA, bit.ly/2gHMocM, visitada el 02/12/2016.
- [7] TERMCAT (centre de terminologia), Diccionari de química. Química orgànica i inorgànica, bit.ly/1S7dpOb, visitada el 30/11/2016.
- [8] W. H. Koppenol, J. Corish, J. García-Martínez, J. Meija, J. Reedijk, How to name new chemical elements (IUPAC Recommendations 2016), *Pure Appl. Chem.* **2016**; 88(4): 401–405, bit.ly/2epNOBc, visitada el 30/11/2016.
- [9] Tennessee, Fundéu BBVA, bit.ly/2eouNTv, visitada el 30/11/2016.
- [10] Yuri Oganessian, *Pure Appl. Chem.*, **2006**, 78(5) pp. 889-904 y referencias allí citadas, bit.ly/2dJcPQi, visitada el 30/11/2016.
- [11] Errores escritura, ESTILO. Manual de estilo para los nuevos medios, Fundéu BBVA, bit.ly/2eAEGxQ, visitada el 30/11/2016.
- [12] RAE: Ortografía básica de la lengua española, 2010, bit.ly/1wpMZR3, visitada el 30/11/2016.

Tabla 1. Propuesta de nombres y símbolos de la IUPAC para los elementos 113, 115, 117 y 118. Traducción al español.

	Propuesta provisional de la IUPAC 08/06/2016		Propuesta definitiva de la IUPAC 28/11/2016 ^[1,2]		Webelements en español	Wikipedia en español	Servicio de Información y Noticias Científicas (SINC)	DLE	Fundéu BBVA	TERMCAT	DGT-UE PuntuyComa	RSEQ
Z	Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
113	nihonium	Nh	nihonium	Nh	nihonio	nihonio	nihonio	No figura	<i>nihonio</i>	nihonio	No figura	nihonio
115	moscovium	Mc	moscovium	Mc	moscovio	No figura	moscovio	No figura	<i>moscovio</i>	moscovio	No figura	moscovio
117	tennessine	Ts	tennessine	Ts	tenesino	tenesino	tenesino	No figura	<i>teneso</i>	tenesino	No figura	tennesso
118	oganesson	Og	oganesson	Og	oganessio	oganesón	oganesón	No figura	<i>oganesón</i>	oganesón	No figura	oganesón

Notas: DGT-UE: Dirección General de Traducción-Unión Europea. DLE: Diccionario de la lengua española. Fundéu BBVA: Fundación del Español Urgente.

Tabla 2. Nombres y símbolos de la IUPAC para los elementos 103 al 118 y su traducción al español.

Z	Propuesta definitiva de la IUPAC 08/11/2016		Webelements en español	Wikipedia en español	DLE	Fundéu BBVA	TERMCAT	RSEQ
	Nombre	Símbolo	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre	Nombre
103	lawrentium	Lr	lawrencio	laurencio o lawrencio	laurencio o lawrencio	laurencio	laurencio o lawrencio	lawrencio
104	rutherfordium	Rf	rutherfordio	rutherfordio	rutherfordio	No figura	rutherfordio	rutherfordio
105	dubnium	Db	dubnio	dubnio	dubnio	No figura	dubnio	dubnio
106	seaborgium	Sg	seaborgio	seaborgio	No figura	No figura	seaborgio	seaborgio
107	bohrium	Bh	bohrio	bohrio	bohrio	No figura	bohrio	bohrio
108	hassium	Hs	hassio	hassio	<i>hassio</i>	No figura	hassio	hassio
109	meitnerium	Mt	meitnerio	meitnerio	meitnerio	No figura	meitnerio	meitnerio
110	darmstadtium	Ds	darmstadtio	darmstadío o darmstadtio	No figura	No figura	darmstadtio	darmstadtio
111	roentgenium	Rg	roentgenio	roentgenio	No figura	No figura	roentgenio	roentgenio
112	copernicium	Cn	copernicio	copernicio	No figura	No figura	copernicio	copernicio
113	nihonium	Nh	nihonio	nihonio	No figura	<i>nihonio</i>	nihonio	nihonio
114	flerovium	Fl	flerovio	flerovio	No figura	No figura	flerovio	flerovio
115	moscovium	Mc	moscovio	No figura	No figura	<i>moscovio</i>	moscovio	moscovio
116	livermorium	Lv	livermorio	livermorio	No figura	No figura	livermorio	livermorio
117	tennessine	Ts	tenesino	tenesino	No figura	<i>téneso</i>	tenesino	tenesso
118	oganeson	Og	oganesio	oganesón	No figura	<i>oganesón</i>	oganesón	oganesón

Notas: DLE: Diccionario de la lengua española. Fundéu BBVA: Fundación del Español Urgente.

MIGUEL ÁNGEL CIRIANO

JOSÉ ELGUERO

JAVIER GARCÍA-MARTÍNEZ

PILAR GOYA

PASCUAL ROMÁN POLO

Grupo de trabajo sobre terminología química
de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ).

C-e: pascual.roman@ehu.es

Palabras en nombre de los galardonados con la «Medalla de los cincuenta años» de la Real Sociedad Española de Química

Manuel Martín-Lomas

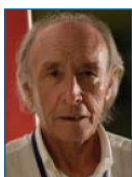
Nuestro presidente me pidió hace algunas semanas que dijese unas palabras en nombre de los que hoy hemos recibido la medalla por los cincuenta años de permanencia en la Real Sociedad. Yo le advertí, entonces, sin conocer la lista de los que íbamos a recibirla, que no creía ser el más indicado para hacerlo y, ahora que la conozco, estoy absolutamente seguro de ello. No obstante él insistió y yo finalmente accedí, aunque haciéndole aceptar el compromiso de responsabilizarse de cualquier incidente que hoy pudiera ocurrir aquí, como consecuencia de mi intervención.

Mi principal reticencia a tomar la palabra en este acto se debe, sencillamente, a que mi relación con la Sociedad durante el medio siglo que llevo en ella ha sido muy escasa, muy distante y, ocasionalmente, muy crítica. Para muchos de los de mi generación –o, por lo menos, para muchos de los que estudiamos e hicimos nuestras tesis doctorales en universidades de provincias en los años 60 del siglo pasado, inmersos en el ambiente universitario rebelde, contestatario e inconformista de la época– la Real Sociedad fue siempre una entidad lejana, una vieja institución madrileña en manos de los que tenían el poder, que se dedicaba a organizar reuniones de cuando en cuando y que editaba una revista que aparecía de modo muy irregular, pero siempre con muchos meses o incluso años de retraso, en la que se publicaban unos artículos escandalosamente plagados de errores tipográficos. Para-

dójicamente era en esa revista en la que nuestros maestros –sobre todo aquellos que, como el mío, ya ocupaban sus cátedras antes de la guerra civil– solían publicar la mayor parte de sus trabajos. Para ellos la Real Sociedad seguía siendo la vieja y venerable sociedad de los químicos españoles, que tanto había contribuido a la institucionalización de la química en España, desde principios del siglo xx, y los *Anales* el órgano natural de difusión en lengua castellana de las investigaciones de sus miembros. Tanto es así que cuando empezábamos a hacer nuestras tesis doctorales nos aconsejaban que nos hiciéramos socios y como en aquellos años, pese a nuestra rebeldía y a nuestro inconformismo, los consejos de los maestros eran órdenes, casi todos ingresamos muy jóvenes en la Real Sociedad. Pero para mí y para muchos de nosotros la Real Sociedad era una institución pobre, atrasada y decadente en consonancia con la irrelevancia de la química española y con el entorno científicamente subdesarrollado en que nos tocó empezar a trabajar.

Luego, en la década de los 70, unos años mayores, con una perspectiva más amplia después de una estancia posdoctoral en el extranjero, nuestra consideración de la Real Sociedad y nuestra relación con ella no mejoraron en absoluto. A ello contribuyó en buena medida nuestro convencimiento, una vez que perdimos el pelo de la dehesa, de que ni las Bienales ni los *Anales* eran los instrumentos adecuados para darnos a conocer y dar a conocer nuestros trabajos y que, para ello, debíamos acudir a foros internacionales con mayor difusión.

En las siguientes décadas tuvo lugar un importante cambio político y social en España con una profunda repercusión en todos los ámbitos de nuestras vidas y, naturalmente, en nuestro sistema de ciencia y tecnología que experimentó la mayor transformación en toda su historia. Un nuevo marco normativo y un esfuerzo financiero sin precedentes nos permitieron entonces desarrollar nuestras carreras como investigadores independientes y con-



M. Martín-Lomas

Founding Director
CIC biomaGUNE

C-e: mmartinlomas@cicbiomagune.es

Recibido: 10/11/2016. Aceptado: 21/11/2016.

solidarlas en unas condiciones y con unos medios que no tuvieron las generaciones anteriores. Siendo aún bastante jóvenes tuvimos la oportunidad única, por lo insólito de la situación, de participar activamente –ser protagonistas en mayor o menor medida, cada uno según sus circunstancias y sus capacidades– en la transformación del sistema. La Real Sociedad no estuvo entonces entre nuestras prioridades y se mantuvo prácticamente ausente en todo este proceso, ajena al cambio, porque a nosotros mismos no nos interesó hacer el esfuerzo de incorporarla. Seguimos siendo socios, perteneciendo a los grupos especializados existentes y entrando en alguno de los nuevos que se fueron creando –yo, que nunca he tenido vocación ni capacidad asociativa, pertenezco a los de Química Orgánica, Hidratos de Carbono, Resonancia Magnética Nuclear y Química Biológica– pero la Real Sociedad siguió siendo ajena a nuestras vidas y a nuestro desarrollo como profesionales.

La transformación de la Real Sociedad naturalmente se ha producido, pero mucho después y muy lentamente y, en este proceso, no creo que los de nuestra generación hayamos jugado un papel activo; han sido gentes de generaciones posteriores los verdaderos protagonistas. La transformación ha sido difícil porque no ha consistido únicamente en adaptarse a la nueva situación de la química en España sino que, como todas las sociedades científicas del mundo, ha tenido que adaptarse también a los profundos cambios impuestos por las nuevas directrices en política científica, la revolución que ha supuesto la irrupción de los nuevos medios que internet ha capacitado y la creciente privatización y comercialización de los medios de comunicación científica. Hoy la Real Sociedad sigue viva pero es una sociedad esencialmente distinta de aquella en la que nos inscribimos en los años 60 del siglo pasado por consejo de nuestros maestros: ha llegado al momento actual conservando su condición de centenaria y venerable sociedad de los químicos españoles y es una sociedad independiente, pero integrada en la familia de las sociedades científicas de España y de las sociedades químicas europeas; además, ya no tiene un órgano propio para publicar las investigaciones originales de sus socios porque *Anales* se ha transformado tras fusionarse con las publicaciones de la mayor parte de las sociedades químicas europeas que han corrido la misma suerte.

A estas alturas y con toda esta historia, uno puede hacerse en un día como hoy, algunas reflexiones acerca de lo

que es la Real Sociedad en los tiempos que corren y lo que debe ser, si es que debe ser algo, en los tiempos por venir.

Uno se pregunta si en una época de creciente internacionalización como la actual, en la que el investigador tiene que competir cada día por la financiación y está sometido a un proceso permanente de evaluación, la Real Sociedad puede hacer algo que vaya más allá de lo que atañe a su propia estrategia institucional –que, prácticamente, se circunscribe a la programación de reuniones y a la política de premios– que redunde en beneficio de sus miembros.

Ahora que la política científica hace tiempo que ha dejado de ser lo que los expertos han llamado una “política para la ciencia” –que fomentaba esencialmente la investigación básica y dejaba gran parte la gestión en manos de los científicos–, para convertirse en una “política por la ciencia”, cuyos objetivos están en el ámbito de la investigación aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación, uno se pregunta si la Real Sociedad puede jugar un papel activo de asesoramiento o como grupo de presión en la elaboración de esas políticas; si en una situación como la que desde el año 2009 viene sufriendo la financiación de la investigación pública en España y ante la práctica desaparición de la ciencia entre las prioridades de nuestros gobernantes, tiene la Real Sociedad predicamento suficiente frente a las autoridades responsables para hacer oír su voz y contribuir a revertirla.

Uno se pregunta si, en relación con las controversias que actualmente socavan la confianza del público, en los avances y las consecuencias de la investigación y la industria química, está la Real Sociedad en posición privilegiada para crear foros de debate serio y tender puentes entre ciencia y sociedad.

Finalmente, uno se pregunta también si, ahora que la ciencia oscila entre las tensiones opuestas de la hiperespecialización y la interdisciplinariedad, sigue teniendo sentido mantener sociedades científicas disciplinarias como la Real Sociedad.

Yo no tengo respuesta a estas preguntas ni puedo predecir el futuro. Así que sólo me queda, en nombre de todos los que hemos sido ahora galardonados, aceptar la responsabilidad que nos corresponda por no haber sido capaces de dejar una Real Sociedad más fuerte e influyente y agradecer la distinción que hoy hemos recibido por haber permanecido fieles, pagando religiosamente nuestras cuotas, durante medio siglo.

Madrid, 10 de noviembre 2016

Utilización de dióxido de carbono como fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos

José A. Castro-Osma

Resumen: La transformación química de dióxido de carbono en productos químicos de alto valor añadido o en materiales poliméricos de múltiples prestaciones mediante procesos catalíticos eficientes es uno de los mayores retos para las próximas décadas. En este trabajo se ofrece una visión global de la problemática y se invita al lector a considerar el dióxido de carbono como una fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos.

Palabras clave: Dióxido de Carbono, Catálisis, Química Sostenible, Carbonatos Cíclicos, Química Organometálica.

Abstract: Chemical fixation of carbon dioxide into high-value added chemical products or versatile polymeric materials through highly efficient catalytic processes is one of the biggest challenges for the next few decades. This work gives us a global vision for a better understanding of the problem, and proposes the use of carbon dioxide as sustainable carbon source for the synthesis of cyclic carbonates and polycarbonates.

Keywords: Carbon Dioxide, Catalysis, Sustainable Chemistry, Cyclic Carbonates, Organometallic Chemistry.

INTRODUCCIÓN

Los recursos fósiles son el recurso natural más empleado para la obtención de energía^[1] y de una amplia variedad de materiales, entre ellos, una diversidad de productos químicos, como por ejemplo los combustibles y las poliolefinas. A pesar de las numerosas ventajas que ofrecen los recursos fósiles, su empleo genera varios inconvenientes muy importantes, como son, el no ser renovables,^[2] la necesidad de la eliminación de los plásticos no biodegradables de alta durabilidad y la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera como subproducto de la combustión de los mismos.^[1] El nivel máximo de consumo de los combustibles fósiles se va a alcanzar en los próximos años (Figura 1),^[3] por lo que es necesario desarrollar nuevas tecnologías basadas en recursos energéticos renovables para prevenir el aumento de los niveles de gases contaminantes como el CO₂.

El CO₂ es uno de los principales contaminantes responsables del cambio climático. En los últimos años se está produciendo un aumento de sus emisiones a la atmósfera (Figura 2),^[3] por lo que para disminuirlas actualmente se

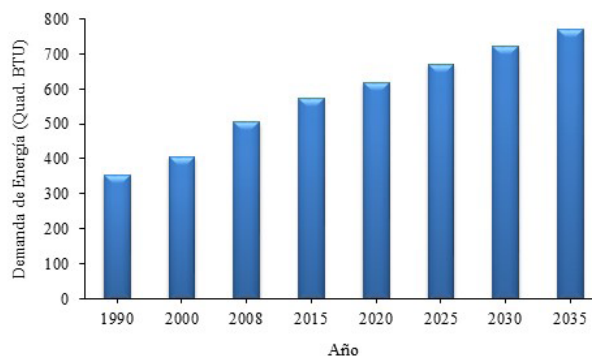


Figura 1. Perspectiva futura de la demanda energética

desarrollan diversos tipos de energías alternativas a los recursos fósiles,^[4] y se diseñan diferentes tipos de sistemas capaces de capturar y almacenar el CO₂, que, aunque son efectivos, requieren mucha energía.^[5]

Su empleo como materia prima en procesos de síntesis de compuestos químicos de alto valor añadido sería una alternativa interesante y complementaria a su captura y almacenamiento. Ello produciría una reducción de las emisiones atmosféricas de CO₂ netas y proporcionaría una materia prima barata y renovable a las industrias químicas.^[6] Sin embargo, actualmente, hay muy pocos procesos químicos que utilicen el dióxido de carbono como materia prima, debido a su baja reactividad. Así, el CO₂ a nivel industrial se ha conseguido activar: 1) con reactivos de partida de alta energía como el hidrógeno, compuestos insaturados o compuestos organometálicos, 2) en la síntesis de moléculas de baja energía, 3) en procesos en



J. A. Castro-Osma

Departamento de Química Inorgánica, Orgánica y Bioquímica
Centro de Innovación en Química Avanzada (ORFEO-CINQA)
Universidad de Castilla-La Mancha
Avda. Camilo José Cela, 10, 13071 Ciudad Real, España
C-e: JoseAntonio.Castro@uclm.es

Recibido: 04/10/2016. Aceptado: 28/11/2016.

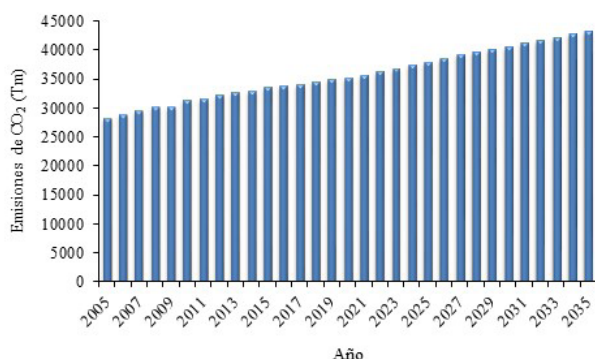
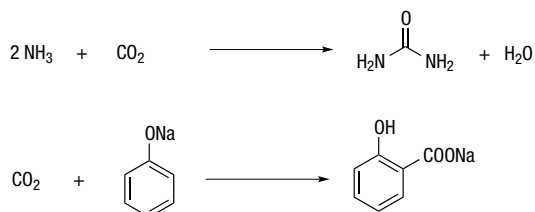


Figura 2. Perspectiva futura de las emisiones anuales de CO₂

los que se desprende un subproducto fácilmente eliminable, desplazándose el equilibrio hacia la formación de los productos, o 4) en reacciones en las que se emplea una gran cantidad de energía a través del suministro de electricidad o luz.^[7] Teniendo en cuenta lo comentado, en la actualidad, la industria química emplea menos de un 1% de las emisiones totales de CO₂ como materia prima, principalmente para la síntesis de urea y ácido salicílico (Esquema 1).^[7]



Esquema 1. Principales procesos industriales que utilizan CO₂ como materia prima

Uno de los procesos químicos que más interés ha despertado recientemente es la transformación catalítica de CO₂ en moléculas de baja energía, como son los carbonatos. Éstos se pueden clasificar en carbonatos inorgánicos, si presentan un metal, y carbonatos orgánicos, que a su vez se pueden dividir en carbonatos cíclicos (1), carbonatos lineales (2) y policarbonatos (3) (Figura 3).^[6]

La preparación de derivados heterocíclicos y materiales poliméricos mediante procesos catalíticos con excelente economía atómica, constituye en la actualidad un reto de gran interés en los campos de la síntesis orgánica y el diseño de nuevos materiales.^[8,9] En los últimos años se han desarrollado numerosos estudios sobre procesos de síntesis de carbonatos cíclicos^[8] y policarbonatos,^[9] por adición catalítica de CO₂ a heterociclos de geome-

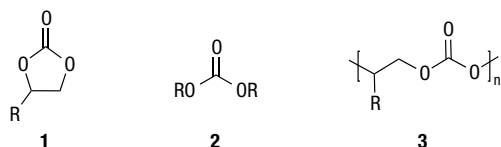
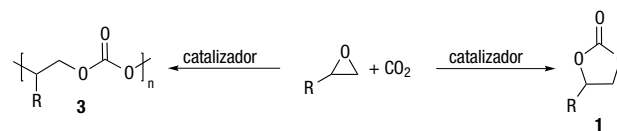


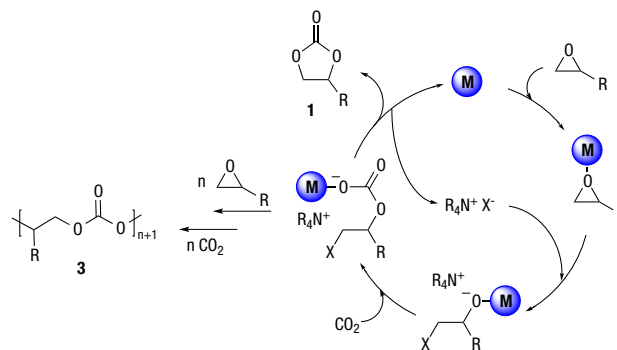
Figura 3. Estructura de los carbonatos orgánicos: cíclicos (1), lineales (2) y policarbonatos (3)



Esquema 2. Síntesis de policarbonatos y carbonatos cíclicos

tría restringida como epóxidos y oxetanos, debido a sus implicaciones para la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera y los beneficios económicos asociados. De esta forma, los carbonatos cíclicos y los policarbonatos, que tienen gran importancia comercial, pueden ser obtenidos por reacción entre epóxidos y CO₂ empleando diferentes tipos de complejos organometálicos como catalizadores (Esquema 2).^[8,9]

En general, en el proceso catalítico es necesaria la presencia de una sal de amonio o fosfonio cuaternaria, que suministra un haluro como nucleófilo y actúa como cocatalizador. En estos sistemas catalíticos, el centro metálico actúa como ácido de Lewis activando al epóxido, lo que favorece el ataque nucleofílico del haluro proporcionado por el cocatalizador al epóxido, que provoca la apertura del anillo. A continuación, el CO₂ se inserta en el enlace M-O, generando un carbonato metálico, que puede ciclar generando el carbonato cíclico, o el policarbonato tras sucesivas incorporaciones de un epóxido y CO₂ (Esquema 3).



Esquema 3. Mecanismo general para la síntesis de carbonatos cíclicos o policarbonatos catalizada por complejos organometálicos

Tanto los carbonatos cíclicos como los policarbonatos, se han comercializado con éxito y los más importantes a nivel industrial son el carbonato de etileno (1a), el carbonato de propileno (1b), el policarbonato de propileno (3a) y el policarbonato de ciclohexeno (3b) (Figura 4).^[8,9] Los carbonatos cíclicos son el producto termodinámico de la reacción y tienen numerosas aplicaciones

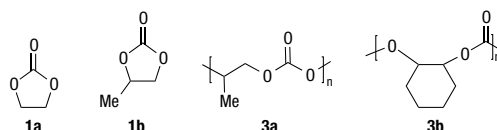


Figura 4. Estructura de los carbonatos orgánicos y policarbonatos más importantes

como electrolitos para baterías de ion litio,^[10] disolventes verdes^[10,11] e intermedios químicos.^[12] Por otra parte, los policarbonatos presentan importantes aplicaciones para la producción de poliuretanos^[13] y para la producción de materiales poliméricos rígidos.^[9,14] Los procesos comentados abren un campo amplio que puede tener unas elevadas repercusiones comerciales y medioambientales para el empleo de este tipo de compuestos químicos.

SÍNTESIS DE CARBONATOS CÍCLICOS

La síntesis de carbonatos cíclicos es un proceso catalítico comercial desde hace más de 50 años^[15] y es actualmente un campo de intensa actividad investigadora debido a los altos valores de temperatura y presión (100-200°C y 20-100 bar) que se necesitan en los procesos comerciales, en los cuales, se utilizan sales de amonio cuaternarias (R_4NX) como catalizadores.^[15,16] Por lo tanto, se hace necesario el desarrollo de nuevos catalizadores eficientes para que la síntesis de carbonatos cíclicos pueda ser llevada a cabo a temperatura ambiente y baja presión de CO_2 , ya que de esta forma se podrá minimizar el coste de la producción a escala industrial. En este sentido, en la última década diferentes grupos de investigación han trabajado activamente en el desarrollo de catalizadores eficientes para este proceso, incluyendo complejos organometálicos, especialmente de Zn(II), Mg(II), Fe(III), Cr(III), Co(III) y Al(III), entre otros metales^[8a,b] y organocatalizadores.^[8c]

Debido al gran interés que existe en este campo en la actualidad, la búsqueda de sistemas catalíticos que combinen una baja o nula toxicidad del metal empleado y coste, que sean válidos para un amplio rango de sustratos y que presenten alta actividad bajo condiciones suaves de reacción continúa siendo un reto importante. Teniendo en cuenta el cumplimiento de estos requisitos, en este apartado, se describirán los catalizadores basados en aluminio, que han mostrado una mayor actividad catalítica en procesos de síntesis de carbonatos cíclicos.^[8]

De entre los compuestos de aluminio, hay que destacar los bimetalicos con ligandos tipo SALEN (4) y tipo ACEN (5) como los mostrados en la Figura 5, desarrollados por el grupo de investigación del profesor North.

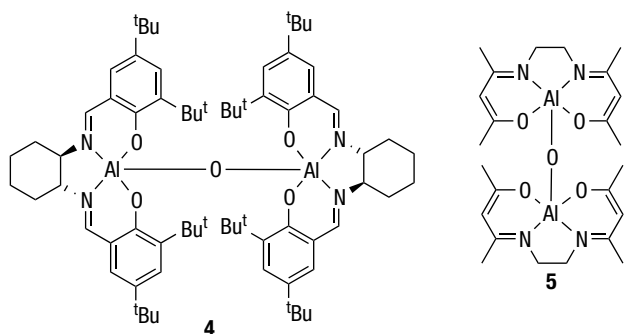
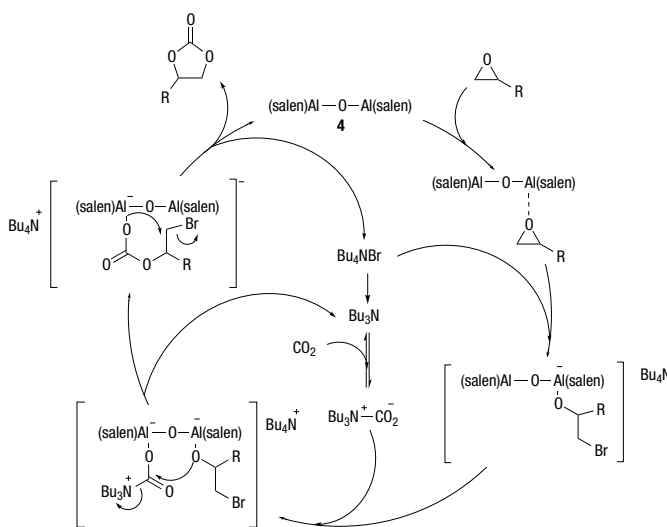


Figura 5. Catalizadores de aluminio activos en la síntesis de carbonatos cíclicos



Esquema 4. Mecanismo propuesto para la síntesis de carbonatos cíclicos con catalizadores bimetalicos de aluminio

Estos complejos de aluminio, son los catalizadores más activos hasta la fecha en la síntesis de carbonatos cíclicos a partir de epóxidos terminales y dióxido de carbono, en combinación con bromuro de tetrabutamonio (Bu_4NBr) como cocatalizador a temperatura ambiente y un bar de presión de CO_2 .^[17] Los estudios mecanísticos de los procesos que utilizan estos catalizadores,^[17b] revelan que el proceso catalítico es de primer orden con respecto a la concentración de catalizador y con respecto a la concentración de epóxido y de segundo orden con respecto a la concentración de la sal de amonio. Así, con base en los datos experimentales se ha propuesto el mecanismo mostrado en el Esquema 4.^[17b]

En un intento por soportar estos catalizadores e integrar el catalizador y el cocatalizador en un único sistema,^[18] se han diseñado catalizadores denominados de *un componente* (6), como el mostrado en la Figura 6. Se debe destacar que estos catalizadores de *un componente* son más activos incrementando la conversión sin añadir Bu_4NBr ,

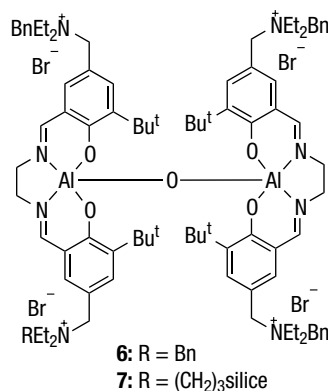


Figura 6. Catalizador de aluminio de un componente (6) y soportado sobre sílice (7)

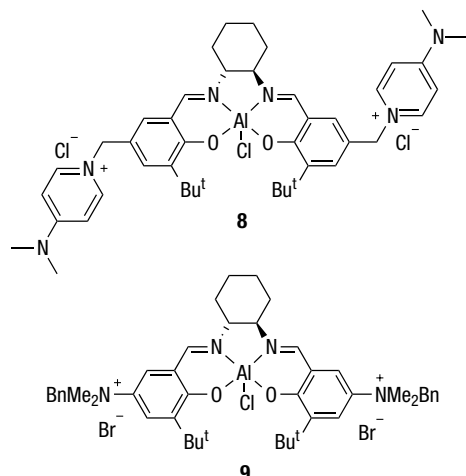
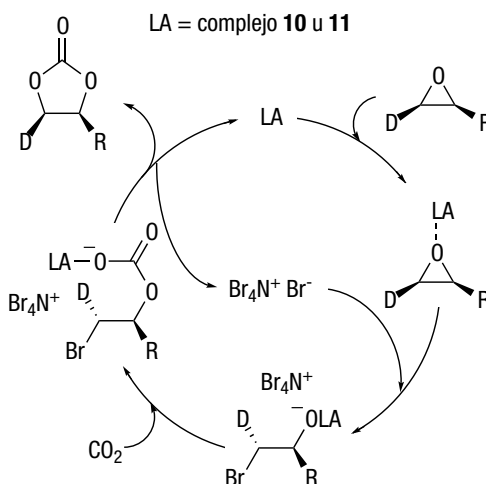


Figura 7. Catalizadores de aluminio de un componente para la síntesis de carbonatos cíclicos



Esquema 5. Mecanismo propuesto para la síntesis de carbonatos cíclicos con catalizadores escorpionato de aluminio

aunque si se añade una cantidad equimolar de Bu_4NBr la conversión aumenta aún más.

Los catalizadores bimetalicos de aluminio de *un componente* se han soportado en diferentes soportes como la sílice (7) (Figura 6). Estos catalizadores pueden ser empleados en reactores de flujo en fase gas para la síntesis de carbonato de etileno y carbonato de propileno,^[19] en procesos que pueden tener gran importancia a nivel industrial.

El catalizador de aluminio de *un componente* (8) mostrado en la Figura 7, es activo en procesos de síntesis de carbonatos cíclicos a partir de epóxidos y dióxido de carbono empleando bajas presiones de CO_2 , aunque se requieren temperaturas de 120 °C para conseguir actividades a considerar.^[20] En cambio, el catalizador bifuncional de aluminio (9) es altamente activo en la formación de carbonatos cíclicos a 25 °C y un bar de presión de CO_2 .^[21]

Recientemente, en nuestro grupo de investigación se han sintetizado compuestos bi- y trimetalicos de aluminio soportados con ligandos escorpionato, que han resultado ser activos en la síntesis de carbonatos cíclicos a partir de epóxidos y CO_2 , usando Bu_4NBr como cocatalizador (Figura 8).^[22] Cabe destacar que el complejo 10 es activo a temperatura ambiente y 1 bar de presión de CO_2 .^[22b] En general, este catalizador cataliza la síntesis de una gran variedad de carbonatos cíclicos a partir de los correspondientes epóxidos terminales con buenos rendimientos y con una

selectividad hacia la formación del carbonato cíclico mayor del 99 %, lo que demuestra que el sistema catalítico tolera la presencia de diferentes grupos funcionales. Por otra parte, el compuesto 11 cataliza la síntesis de carbonatos cíclicos disustituidos a partir de epóxidos internos, que son sustratos menos reactivos que los epóxidos terminales.^[22c]

La principal diferencia en el mecanismo por el que actúan estos catalizadores y los catalizadores bimetalicos de aluminio tipo SALEN^[17] reside en que las reacciones catalizadas por los complejos escorpionato de aluminio^[22] son de orden uno con respecto a la concentración de Bu_4NBr , indicando que en el mecanismo del proceso catalítico solamente debe estar involucrada una molécula de bromuro de tetrabutilamonio en el paso determinante de la velocidad (Esquema 5). Además, la reacción de los isómeros *cis* y *trans* del óxido de decileno deuterado indicó que la reacción transcurre con retención de la estereoquímica del epóxido, de tal forma que a partir del isómero *cis* del epóxido se obtuvo exclusivamente el isómero *cis* del carbonato cíclico y a partir del isómero *trans* del epóxido, se obtuvo el isómero *trans* del carbonato cíclico. Sobre la base de los resultados experimentales, se propuso el mecanismo que se muestra en el Esquema 5.^[22]

El complejo de aluminio 12, que contiene un ligando trianiónico aminotrifenolato en su esfera de coordinación (Figura 9) es el catalizador de aluminio más activo hasta la fecha, alcanzando valores de TOF de hasta 36000 h^{-1} .^[23]

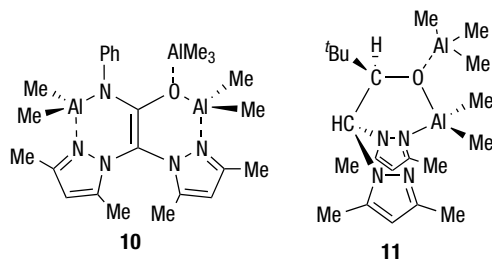


Figura 8. Complejos escorpionato de aluminio activos en la síntesis de carbonatos cíclicos a partir de epóxidos y CO_2

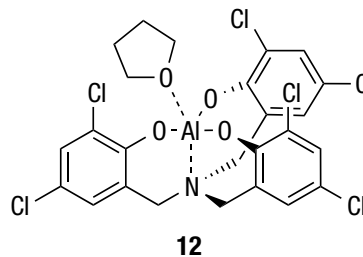
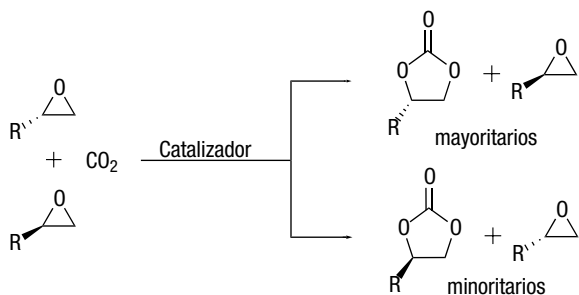


Figura 9. Catalizador de aluminio más activo en la síntesis de carbonatos cíclicos



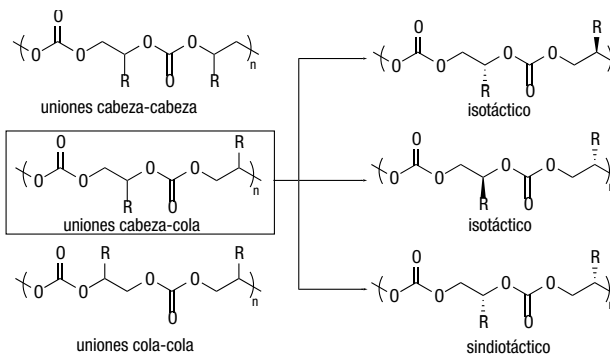
Esquema 6. Resolución cinética de epóxidos para la síntesis de carbonatos cíclicos enantioméricamente enriquecidos

Este catalizador ha sido empleado para la preparación de una gran variedad de carbonatos cíclicos a partir de dióxido de carbono y epóxidos u oxetanos a 70 °C y 10 bar de presión de dióxido de carbono, empleando sales de amonio cuaternarias como cocatalizador.^[23,24]

La preparación de carbonatos cíclicos quirales enantioméricamente enriquecidos es un reto importante en este campo, ya que tienen potenciales aplicaciones como intermediarios químicos y como disolventes quirales. Si se emplea un catalizador quiral enantioméricamente puro, se puede llevar a cabo una resolución cinética, que daría lugar a una mezcla del enantiómero del epóxido que no ha reaccionado y el carbonato cíclico enantioméricamente puro del isómero del epóxido que ha reaccionado (Esquema 6).^[25] Este tipo de metodología sintética ha sido llevado a cabo principalmente con catalizadores quirales de cobalto,^[25] aunque recientemente se han desarrollado catalizadores de aluminio para la resolución cinética de epóxidos.^[26]

SÍNTESIS DE POLICARBONATOS

La síntesis de policarbonatos alifáticos mediante la copolimerización secuencial de CO₂ y epóxidos es conocida desde finales de los años 60.^[27] Así, la producción de copolímeros a partir de CO₂ y óxido de propileno (PO) u óxido de ciclohexeno (CHO) es viable y se comercializa.^[28] Actualmente, las propiedades de los policarbonatos producidos por este procedimiento son diferentes que las de los convencionales, preparados a partir de bis(fenoles) y fosgeno.^[7,29] Sus volúmenes de producción son pequeños, unas pocas miles de toneladas al año,^[9,28] aunque es un sector en expansión. Así, esta reacción está recibiendo una atención especial en los últimos años, porque además de tener la capacidad de sustituir a productos derivados del petróleo, se puede utilizar como sistema de captura y almacenamiento de CO₂.^[30] Por lo tanto, es necesario el desarrollo de catalizadores que controlen la eficiencia de los procesos y mejoren las propiedades físico/químicas de los policarbonatos producidos. Uno de los objetivos más importantes planteados es poder controlar la microestructura del polímero. Por ello, es necesario diseñar catalizadores capaces de incidir en la regio- y estereoselectividad de los procesos catalíticos. Los epóxidos monosustituídos, pueden ser polimerizados con diferentes regioselectividades (Esquema 7), con



Esquema 7. Regio- y estereoselectividad de los procesos de copolimerización de epóxidos terminales y CO₂

los sustituyentes sobre los átomos de carbono alternados (cabeza-cola) o sobre átomos de carbono consecutivos (uniones cabeza-cabeza o cola-cola).

Hasta la fecha, se han descrito diferentes familias de catalizadores basados en complejos metálicos con características de ácidos de Lewis, entre los que destacan los complejos de Zn, Cr y Co.^[9] Para los mismos se propone el mecanismo típico de coordinación e inserción (Esquema 3). Un gran avance en estos procesos catalíticos se produjo con el desarrollo de sistemas catalíticos basados en zinc con ligandos bis-iminato.^[31] Sin embargo, estos catalizadores no presentaban una elevada actividad catalítica. En consecuencia, con el objetivo de aumentar la actividad de los sistemas catalíticos en los procesos de copolimerización, se han desarrollado nuevos catalizadores de cobalto y cromo con ligandos SALEN de tipo (SALEN)M(III) (Figura 10).^[32] En general, con este tipo de complejos, se necesita el empleo de un cocatalizador, que puede ser una base neutra o iónica.^[32] Estos catalizadores permiten alcanzar mejor control, actividad y selectividad en este tipo de reacciones.^[9] Así, en la actualidad existen numerosas familias de complejos de Co y Cr de este tipo que se comportan como excelentes iniciadores para los procesos de síntesis de policarbonatos alifáticos.

La clave para que este tipo de catalizadores sean altamente activos se basa en diseñar ligandos tipo SALEN en los que la sal de amonio cuaternaria esté muy próxima al centro metálico.^[33] Con ello, se produce un elevado aumento en la actividad catalítica en procesos de polimerización de óxido de ciclohexeno a un bar de presión de CO₂, y se obtienen polímeros de elevado peso molecular con una distribución de pesos moleculares estrecha.^[33] Este es

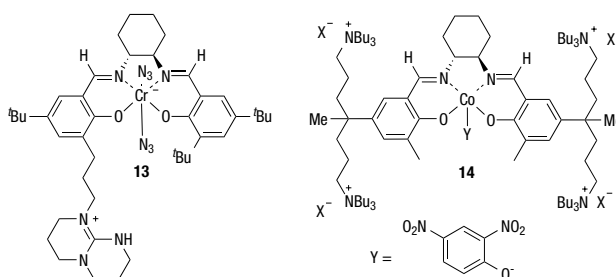


Figura 10. Catalizadores de cobalto y cromo activos en la copolimerización de epóxidos y CO₂

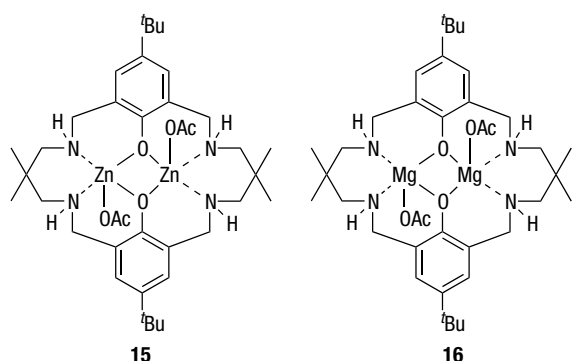
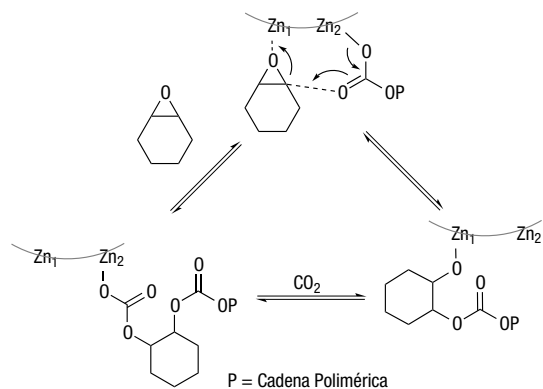


Figura 11. Catalizadores dinucleares para la síntesis de policarbonatos

un hecho de elevada relevancia ya que en general se produciría una disminución en la energía requerida para la reacción si los procesos se llevasen a cabo en condiciones de baja presión de CO_2 , haciendo de esta forma que la producción de policarbonatos alifáticos fuera más sostenible y económicamente competitiva.

Teniendo en cuenta el elevado potencial de crecimiento del mercado de policarbonatos, se ha incrementado el interés en el desarrollo de nuevos complejos organometálicos de metales biocompatibles como el zinc y el magnesio que sean activos en procesos de copolimerización de epóxidos y CO_2 .^[34] En términos generales, los compuestos derivados de zinc y magnesio son buenos iniciadores en procesos de síntesis de policarbonatos debido a su acidez de Lewis media-alta, lo que les dota de una elevada actividad catalítica en relación a otros metales, con el valor añadido de su biocompatibilidad, factor importante si los polímeros obtenidos son empleados en el campo de la biomedicina.^[35]

En los últimos años, cabe destacar los complejos dinucleares de zinc y magnesio desarrollados recientemente por el grupo de la profesora Williams (Figura 11).^[9,34,36] En estos complejos, los centros metálicos están coordinados a través de un ligando difenolato puente (Figura 11).^[34,36] Estos complejos actúan como catalizadores con una alta actividad catalítica en la copolimerización selectiva de óxido de ciclohexeno y CO_2 a 1 bar de presión de CO_2 , en



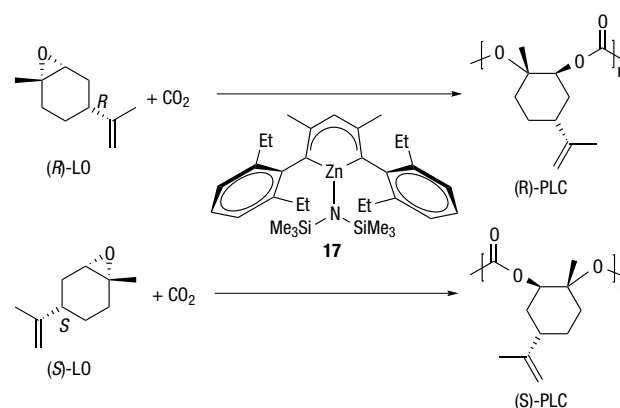
Esquema 8. Mecanismo propuesto para la síntesis de policarbonatos catalizada por complejos dinucleares de Zn

ausencia de cocatalizador, lo que simplifica el proceso de purificación del polímero. Un estudio estructura-actividad realizado, ha demostrado que la estructura del mismo influye de forma decisiva en la actividad del catalizador, obteniendo mayor actividad catalítica cuando el sustituyente en la posición *para* del anillo aromático es un grupo *tert*-butilo (Complejo 15, Figura 11).^[34] Para estos complejos bimetalicos de zinc y magnesio se ha propuesto un camino de reacción bimetalico como el mostrado en el Esquema 8.

SÍNTESIS DE CARBONATOS CÍCLICOS Y POLICARBONATOS DERIVADOS DE LA BIOMASA

En la actualidad, una de las temáticas de investigación más importantes está centrada en la transformación eficiente de materias primas renovables derivadas de la biomasa en productos químicos de alto valor y polímeros biodegradables.^[9c] En este sentido, existe un gran interés en la preparación de epóxidos procedentes de fuentes renovables, y su utilización como producto de partida para la producción de carbonatos cíclicos y policarbonatos a partir de materias primas completamente renovables.^[9c] Los epóxidos derivados de la biomasa se pueden obtener a partir de terpenos,^[37,38] ácidos grasos^[39,40] e hidratos de carbono.^[41,42]

Los terpenos contienen dobles enlaces que se pueden epoxidar para preparar epóxidos procedentes de fuentes renovables. En este sentido, el óxido de limoneno (LO) puede ser preparado por epoxidación del limoneno, que es extraído de frutos cítricos. Así, derivados acetato y amiduro de zinc han sido los primeros complejos que actúan como catalizadores efectivos para la obtención de policarbonato de limoneno (PLC) a partir de óxido de limoneno y CO_2 (Esquema 9).^[37] Cabe destacar que cuando la reacción de copolimerización es catalizada por el complejo amiduro de zinc (17), se produce un proceso de copolimerización regio-, diastereo- y enantioselectivo en el que el catalizador polimeriza preferentemente el diastereoisómero *trans* sobre el *cis* cuando se utiliza el isómero (*S*)-LO como producto de partida. De igual manera, el proceso es estereoselectivo cuando se lleva a cabo la copolimerización del isómero (*R*)-LO y CO_2 , polimerizando



Esquema 9. Síntesis estereoselectiva de policarbonato de limoneno

preferentemente el isómero *trans* sobre el *cis*. En ambos casos, los polímeros presentan una estructura amorfa.^[37b] En cambio, se ha conseguido preparar un polímero altamente cristalino mediante cristalización de una mezcla racémica de los enantiómeros (*R*)-PLC y (*S*)-PLC.^[37b,c]

Recientemente, se han empleado complejos de aluminio con ligandos aminofenolato como catalizadores en la síntesis de policarbonato de limoneno.^[38] Estos complejos presentan una excelente actividad y un elevado control de la tacticidad, el peso molecular y la polidispersidad en los procesos de copolimerización de LO y CO₂. Los polímeros obtenidos con estos derivados de aluminio son altamente estereorregulares cuando se utiliza el isómero *cis*-LO. Sin embargo, cuando se utiliza el isómero *trans*-LO o la mezcla de isómeros *cis*- y *trans*-LO se obtienen polímeros con distinto grado de estereorregularidad en el proceso de copolimerización.

Los ácidos grasos insaturados procedentes de aceites vegetales también se pueden epoxidar para la síntesis de carbonatos cíclicos^[39] y policarbonatos.^[40] Es de destacar que mediante esta ruta de síntesis, se puede preparar policarbonato de ciclohexeno a partir de 1,4-ciclohexadieno, que procede de la metátesis de productos derivados de aceites vegetales. Además, estos copolímeros funcionalizados pueden ser modificados posteriormente para la preparación de materiales poliméricos con nuevas microestructuras.

El alcohol furfurílico puede ser preparado a partir de hidratos de carbono mediante un tratamiento ácido, y puede ser utilizado como precursor para la síntesis de furfural glicidil éter por reacción con la epoclorohidrina.^[41] En este sentido, se han obtenido nuevos policarbonatos procedentes de recursos renovables mediante la copolimerización de furfural glicidil éter y CO₂ catalizada por complejos de metales de las denominadas tierras raras. Estos policarbonatos han sido funcionalizados posteriormente mediante reacciones Diels-Alder entre el anillo de furano y la *N*-fenilmaleimida, obteniéndose polímeros que presentan una mayor temperatura de transición vítrea y menor velocidad de degradación que los policarbonatos no funcionalizados.

CONCLUSIONES

El uso indiscriminado de recursos fósiles ha provocado un importante impacto medioambiental en las últimas décadas. Una de las consecuencias ha sido la liberación de dióxido de carbono a la atmósfera, que es el principal responsable del incremento de temperatura que está experimentando actualmente nuestro planeta. Esta contribución ha pretendido destacar la necesidad de aumentar la investigación en el área de la utilización de CO₂ para la síntesis de compuestos químicos de alto valor añadido y polímeros biodegradables. Actualmente, se están realizando importantes avances en diversos campos de investigación que van desde la síntesis de carbonatos orgánicos y metanol, hasta la preparación de policarbonatos. Aún así, queda mucho camino por recorrer y la investigación en este campo debe orientarse hacia el desarrollo de nuevos sistemas catalíti-

cos que presenten alta actividad catalítica en condiciones suaves de reacción de cara a su posterior explotación tecnológica e industrial, y el diseño de nuevos materiales poliméricos con el mayor control posible sobre sus microestructuras y propiedades.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento a los miembros del grupo de investigación de Química Organometálica y Catálisis Homogénea (QUIMORCA) de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas de Ciudad Real, Universidad de Castilla-La Mancha. De modo particular, mi mayor gratitud al Prof. Dr. Antonio Otero Montero y al Dr. Agustín Lara Sánchez, y especialmente al Dr. Juan Fernández Baeza y Dr. Carlos Alonso Moreno. También agradecer al Prof. Michael North por elegirme como colaborador en la prometedora línea de investigación dirigida hacia la utilización de dióxido de carbono. Agradecer por última instancia al Ministerio de Economía y Competitividad (CTQ2014-51912-REDC Programa Redes Consolider y CTQ2014-52899-R) y el apoyo financiero del Plan Propio de la Universidad de Castilla-La Mancha.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (a) T. M. Lenton, *Clim. Change*, **2006**, *76*, 7; (b) Monthly Energy Review, **2016**, <http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/#summary>
- [2] Energy Information Administration (Official Energy Statistics from the U. S. Government (<http://www.eia.doe.gov/iea/>)).
- [3] R. W. Bentley, *Energy Policy*, **2002**, *30*, 189.
- [4] British Petroleum BP Statistical Review of World Energy, **2016**.
- [5] (a) M. E. Boot-Handford, J. C. Abanades, E. J. Anthony, M. J. Blunt, S. Brandani, N. Mac Dowell, J. R. Fernandez, M.-C. Ferreri, R. Gross, J. P. Hallett, R. S. Haszeldine, P. Heptonstall, A. Lyngfelt, Z. Makuch, E. Mangano, R. T. J. Porter, M. Pourkashanian, G. T. Rochelle, N. Shah, J. G. Yao, P. S. Fennell, *Energy Environ. Sci.*, **2014**, *7*, 130; (b) D. Y. C. Leung, G. Caramanna, M. M. Maroto-Valer, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, **2014**, *39*, 426; (c) R. M. Cuéllar-Franca, A. Azapagic, *J. CO₂ Util.*, **2015**, *9*, 82.
- [6] (a) *Carbon Dioxide as Chemical Feedstock* (Ed.: M. Aresta), Wiley-VCH, Weinheim, **2010**; (b) *New and Future Developments in Catalysis, Activation of Carbon Dioxide* (Ed.: S. L. Suib), Elsevier B. V., **2013**; (c) *Carbon Dioxide Utilization: Closing the Carbon Cycle* (Ed.: P. Styling), Elsevier B. V., **2014**.
- [7] (a) P. Jessop, T. Ikariya, R. Noyori, *Chem. Rev.*, **1995**, *95*, 259; (b) D. J. Darensbourg, M. W. Holtcamp, *Coord. Chem. Rev.*, **1996**, *153*, 155; (c) H. Arakawa, M. Aresta, J. N. Armor, M. A. Barteau, E. J. Beckman, A. T. Bell, J. E. Bercaw, C. Creutz, E. Dinjus, D. A. Dixon, K. Domen, D. L. DuBois, J. Eckert, E. Fujita, D. H. Gibson, W. A. Gooddard, D. W. Goodman, J. Keller, G. J. Kubas, H. H. Kung, J. E. Lyons, L. E. Manzer, R. J. Marks, K. Morokuma, K. M. Nicholas, R. Periana, L. Que, J. Rostrup-Nielsen, W. M. H. Sachtler, L. D. Schmidt, A. Sen,

- G. A. Somorjai, P. C. Stair, B. R. Stults, W. Tumas, *Chem. Rev.*, **2001**, *101*, 953; (d) T. Sakakura, J. Choi, H. Yasuda, *Chem. Rev.*, **2007**, *107*, 2365; (e) M. Aresta, A. Dibenedetto, *Dalton Trans.*, **2007**, 2975; (f) M. Aresta, A. Dibenedetto, A. Angelini, *Chem. Rev.*, **2014**, *114*, 1709.
- [8] (a) C. Martín, G. Fiorani, A. W. Kleij, *ACS Catal.*, **2015**, *5*, 1353; (b) J. W. Comerford, I. D. V. Ingram, M. North, X. Wu, *Green Chem.*, **2015**, *17*, 1966; (c) G. Fiorani, W. Guo, A. W. Kleij, *Green Chem.*, **2015**, *17*, 1375; (d) H. Büttner, J. Steinbauer, T. Werner, *ChemSusChem*, **2015**, *8*, 2655.
- [9] (a) D. J. Darensbourg, S. J. Wilson, *Green Chem.*, **2012**, *14*, 2665; (b) D. J. Darensbourg, A. D. Yeung, *Polym. Chem.*, **2014**, *5*, 3949; (c) Y. Qin, X. Sheng, S. Liu, G. Ren, X. Wang, F. Wang, *J. CO₂ Util.*, **2015**, *11*, 3; (d) S. Paul, Y. Zhu, C. Romain, R. Brooks, P. K. Saini, C. K. Williams, *Chem. Commun.*, **2015**, *51*, 6459
- [10] (a) J. H. Clements, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **2003**, *42*, 663; (b) B. Schäffner, F. Schäffner, S. P. Verevkin, A. Börner, *Chem. Rev.*, **2010**, *110*, 4554.
- [11] (a) M. North, F. Pizzato, P. Villuendas, *ChemSusChem*, **2009**, *2*, 862; (b) M. North, M. Omedes-Pujol, *Tetrahedron Lett.*, **2009**, *50*, 4452; (c) W. Clegg, R. W. Harrington, M. North, F. Pizzato, P. Villuendas, *Tetrahedron: Asymmetry*, **2010**, *21*, 1262; (d) M. North, P. Villuendas, *Org. Lett.*, **2010**, *12*, 2378; (e) M. North, M. Omedes-Pujol, *Beilstein J. Org. Chem.*, **2010**, *6*, 1043; (f) C. Beattie, M. North, P. Villuendas, *Molecules*, **2011**, *16*, 3420; (g) M. Morcillo, M. North, P. Villuendas, *Synthesis*, **2011**, 1918; (h) P. Lenden, P. M. Ylloja, C. González-Rodríguez, D. A. Entwistle, M. C. Willis, *Green Chem.*, **2011**, *13*, 1980; (i) J. A. Castro-Osma, J. W. Comerford, S. Heath, O. Jones, M. Morcillo, M. North, *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 3678.
- [12] (a) S. Fukuoka, M. Kawamura, K. Komiya, M. Tojo, H. Hachiya, K. Hasegawa, M. Aminaka, H. Okamoto, I. Fukawa, S. Konno, *Green Chem.*, **2003**, *5*, 497; (b) C. Beattie, M. North, P. Villuendas, C. Young, *J. Org. Chem.*, **2013**, *78*, 419; (c) A. Khan, L. Yang, J. Xu, L. Y. Jin, Y. J. Zhang, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2014**, *53*, 11257; (d) V. Laserna, G. Fiorani, C. J. Whiteoak, E. Martin, E. C. Escudero-Adán, A. W. Kleij, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2014**, *53*, 10416.
- [13] (a) N. von der Assen, A. Bardow, *Green Chem.*, **2014**, *16*, 3272; (b) N. von der Assen, P. Voll, M. Peters, A. Bardow, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, *43*, 7982.
- [14] R. Korashvili, B. Noernberg, N. Bornholdt, E. Borchardt, G. A. Luinstra, *Chem. Ing. Tech.*, **2013**, *85*, 437.
- [15] W. J. Peppel, *Ind. Eng. Chem.*, **1958**, *50*, 767.
- [16] (a) W. E. Evans, M. L. Hessm, M. Matusz, E. Van Kruchten, M. G. Andre (Shell International Research), WO2009140318, **2009**; (b) J. G. J. Beckers, E. Van der Heide, G. M. M. Van Kessel, J. P. Lange (Shell International Research), WO2005051939, **2005**; (c) T. M. Nisbet, G. G. Vaporciyan (Shell International Research), WO2008128956, **2008**.
- [17] (a) J. Meléndez, M. North, R. Pasquale, *Eur. J. Inorg. Chem.*, **2007**, 3323; (b) M. North, R. Pasquale, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2009**, *48*, 2946; (c) W. Clegg, R. W. Harrington, M. North, R. Pasquale, *Chem. Eur. J.*, **2010**, *16*, 6828; (c) J. A. Castro-Osma, M. North, X. Wu, *Chem. Eur. J.* **2016**, *22*, 2100.
- [18] (a) J. Meléndez, M. North, P. Villuendas, *Chem. Commun.*, **2009**, 2577; (b) J. Meléndez, M. North, P. Villuendas, C. Young, *Dalton Trans.*, **2011**, *40*, 3885.
- [19] (a) I. S. Metcalfe, M. North, R. Pasquale, A. Thursfield, *Energy Environ. Sci.*, **2010**, *3*, 212; (b) M. North, P. Villuendas, *ChemCatChem*, **2012**, *4*, 789.
- [20] D. Tian, B. Liu, Q. Gan, H. Li, D. J. Darensbourg, *ACS Catal.*, **2012**, *2*, 2029.
- [21] Y. A. Rulev, Z. Gugkaeva, V. I. Maleev, M. North, Y. N. Belokon, *Beilstein J. Org. Chem.*, **2015**, *11*, 1614.
- [22] (a) J. A. Castro-Osma, A. Lara-Sánchez, M. North, A. Otero, P. Villuendas, *Catal. Sci. Technol.*, **2012**, *2*, 1021; (b) J. A. Castro-Osma, C. Alonso-Moreno, A. Lara-Sánchez, J. Martínez, M. North, A. Otero, *Catal. Sci. Technol.*, **2014**, *4*, 1674; (c) J. Martínez, J. A. Castro-Osma, A. Earlam, C. Alonso-Moreno, A. Otero, A. Lara-Sánchez, M. North, A. Rodríguez-Diéguez, *Chem. Eur. J.*, **2015**, *21*, 9850.
- [23] (a) C. J. Whiteoak, N. Kielland, V. Laserna, E. C. Escudero-Adán, E. Martin, A. W. Kleij, *J. Am. Chem. Soc.*, **2013**, *135*, 1228; (b) C. J. Whiteoak, N. Kielland, V. Laserna, F. Castro-Gómez, E. Martin, E. C. Escudero-Adán, C. Bo, A. W. Kleij, *Chem. Eur. J.*, **2014**, *20*, 2264; (c) J. Rintjema, R. Epping, G. Fiorani, E. Martín, E. C. Escudero-Adán, A. W. Kleij, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2016**, *55*, 3972.
- [24] G. Fiorani, M. Stuck, C. Martín, M. M. Belmonte, E. Martin, E. C. Escudero-Adán, A. W. Kleij, *ChemSusChem*, **2016**, *9*, 1304.
- [25] (a) N. Kielland, C. J. Whiteoak, A. W. Kleij, *Adv. Synth. Catal.*, **2013**, *355*, 2115; (b) X. Wu, J. Castro-Osma, M. North, *Symmetry*, **2016**, *8*, 4.
- [26] M. North, S. C. Z. Quek, N. E. Pridmore, A. C. Whitwood, X. Wu, *ACS Catal.*, **2015**, *5*, 3398.
- [27] S. Inoue, H. Koinuma, T. Tsuruta, *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Lett.*, **1969**, *7*, 287.
- [28] (a) Novomer: Carbon Dioxide, <http://www.novomer.com/?action=CO2>; (b) Empower Materials: Home, www.empowermaterials.com; (c) M.-A. Ok, M. Jeon, *Properties of poly(propylene carbonate) produced via SK Energy's Greenpol™ Technology*, ANTEC 2011 [Proceedings], Society of Plastics Engineers; (d) Eonic Technologies: Home, <http://www.eonic-technologies.com/>
- [29] (a) F. Shi, Y. Deng, T. SiMa, J. Peng, Y. Gu, B. Qiao, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2003**, *42*, 3257; (b) D. Ballivet-Tkatchenko, S. Camy, J. S. Condoret, *Environmental Chemistry*, Springer, **2005**, 541.
- [30] M. Mikkelsen, M. Jorgensen, F. C. Krebs, *Energy Environ. Sci.*, **2010**, *3*, 43.
- [31] (a) M. Cheng, E. B. Lobkovsky, G. W. Coates, *J. Am. Chem. Soc.*, **1998**, *120*, 11018; (b) M. Cheng, D. R. Moore, J. J. Reczek, B. M. Chamberlain, E. B. Lobkovsky, G. W. Coates, *J. Am. Chem. Soc.*, **2001**, *123*, 8738.
- [32] (a) E. K. Noh, S. J. Na, S. S. S.-W. Kim, B. Y. Lee, *J. Am. Chem. Soc.*, **2007**, *129*, 8082; (b) S. S. J. K. Min, J. E. Seong, S. J. Na, B. Y. Lee, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2008**, *47*, 7306; (c) D. J. Darensbourg, R. R. Poland, A. L. Strickland, *J. Polym. Sci. Part A Polym. Chem.*, **2012**, *50*, 127; (d) D. J. Darensbourg, S. J. Kyran, *ACS Catal.*, **2015**, *5*, 5421.
- [33] X. B. Lu, L. Shi, Y. M. Wang, R. Zhang, Y. J. Zhang, X. J. Peng, Z. C. Zhang, B. Li, *J. Am. Chem. Soc.*, **2006**, *128*, 1664.
- [34] (a) M. R. Kember, P. D. Knight, P. T. R. Reung, C. K. Williams, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **2009**, *48*, 931; (b) M. R. Kember, A. J. P. White, C. K. Williams, *Inorg. Chem.*, **2009**, *48*, 9535;

- (c) F. Jutz, A. Buchard, M. R. Kember, S. B. Fredriksen, C. K. Williams, *J. Am. Chem. Soc.*, **2011**, *133*, 17395; (d) Y.-Z. Hua, L.-J. Lu, P.-J. Huang, D.-H. Wei, M.-S. Tang, M.-C. Wang, J.-B. Chang, *Chem. Eur. J.*, **2014**, *20*, 12394; (e) W. C. Ellis, Y. Jung, M. Mulzer, R. Di Girolamo, E. B. Lobkovsky, G. W. Coates, *Chem. Sci.*, **2014**, *5*, 4004; (f) A. K. Diallo, E. Kirillov, M. Slawinski, J.-M. Brusson, S. M. Guillaume, J.-F. Carpentier, *Polym. Chem.*, **2015**, *6*, 1961; (g) F. Auriemma, C. De Rosa, M. R. Di Caprio, R. Di Girolamo, W. C. Ellis, G. W. Coates, *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.*, **2015**, *54*, 1215.
- ^[35] (a) W. W. K. Koo, R. C. Tsang, *J. Am. Coll. Nutr.*, **1991**, *10*, 474; (b) J. R. Turnlund, A. A. Betschart, M. Liebman, M. J. Kretsch, H. E. Sauberlich, *Am. J. Clin. Nutr.*, **1992**, *56*, 905; (c) R. J. Wood, P. M. Suter, R. M. Russell, *Am. J. Clin. Nutr.*, **1995**, *62*, 493; (d) K. E. Appel, *Drug Metab. Rev.*, **2004**, *36*, 763; (e) T. Nakanishi, *J. Health Sci.*, **2007**, *53*, 1.
- ^[36] (a) A. Buchard, M. R. Kember, K. G. Sandeman, C. K. Williams, *Chem. Commun.*, **2011**, *47*, 212; (b) M. R. Kember, F. Jutz, A. Buchard, A. J. P. White, C. K. Williams, *Chem. Sci.*, **2012**, *3*, 1245; (c) M. R. Kember, C. K. Williams, *J. Am. Chem. Soc.*, **2012**, *134*, 15676.
- ^[37] (a) C. M. Byrne, S. D. Allen, E. B. Lobkovsky, G. W. Coates, *J. Am. Chem. Soc.*, **2004**, *126*, 11404; (b) F. Auriemma, C. De Rosa, M. R. Di Caprio, R. Di Girolamo, W. C. Ellis, G. W. Coates, *Angew. Chem., Int. Ed.*, **2015**, *54*, 1215; (c) F. Auriemma, C. De Rosa, M. R. Di Caprio, R. Di Girolamo, G. W. Coates, *Macromolecules*, **2015**, *48*, 2534; (d) C. Li, R. J. Sablong, C. E. Koning, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2016**, *55*, 11572.
- ^[38] (a) L. Peña Carrodeguas, J. González-Fabra, F. Castro-Gómez, C. Bo, A. W. Kleij, *Chem. Eur. J.*, **2015**, *21*, 6115; (b) C. Martín, A. W. Kleij, *Macromolecules*, **2016**, *49*, 6285.
- ^[39] (a) M. Alves, B. Grignard, S. Gennen, C. Detrembleur, C. Jerome, T. Tassaing, *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 53629; (b) N. Narra, B. N. P. Rachapudi, S. P. B. Vemulapalli, P. V. Korlipara, *RSC Adv.*, **2016**, *6*, 25703.
- ^[40] (a) D. J. Darensbourg, W.-C. Chung, C. J. Arp, F.-T. Tsai, S. J. Kyran, *Macromolecules*, **2014**, *47*, 7347; (b) M. Winkler, C. Romain, M. A. R. Meier, C. K. Williams, *Green Chem.*, **2015**, *17*, 300.
- ^[41] Y. Hu, L. Qiao, Y. Qin, X. Zhao, X. Chen, X. Wang, F. Wang, *Macromolecules*, **2009**, *42*, 9251.
- ^[42] G. L. Gregory, L. M. Jenisch, B. Charles, G. Kociok-Köhn, A. Buchard, *Macromolecules*, **2016**, *49*, 7165.



Colaboración científica en la investigación química española: análisis de artículos de química publicados en revistas de impacto

Jesús H. Busto, Joaquín León, Marta Magriñá

Resumen: Se analizan aspectos relacionados con la colaboración de químicos pertenecientes a instituciones españolas en las publicaciones de impacto que involucran tanto a investigadores de otras instituciones españolas como de centros extranjeros. El análisis abarca el índice de coautoría, y las características de la colaboración que hay entre investigadores españoles y extranjeros. El análisis de la relación entre colaboración e impacto de las publicaciones muestra que la colaboración internacional contribuye a aumentar la calidad de las revistas donde se publican los trabajos.

Palabras clave: Coautoría, Colaboración científica, Producción científica, Publicaciones de química, Impacto científico.

Abstract: Aspects related with the collaboration of chemists belonging to Spanish institutions in publications of impact involving researchers from other Spanish institutions and foreign centres are discussed. The analysis covers the co-authorship index, and the characteristics of the collaboration between Spanish and foreign researchers. The relationship between collaborations and impact of publications shows that internationally co-authored papers had significantly higher impact factors.

Keywords: Co-authorships; Research cooperation; Scientific production; Publications of chemistry; Spain; Research impact.

INTRODUCCIÓN

Es incuestionable que uno de los principales parámetros para evaluar la calidad de la Ciencia es el nivel de calidad de las revistas donde se publican los trabajos. En este sentido la Química española ha realizado un progresivo incremento en la colaboración con Universidades y Centros de Investigación extranjeros con la finalidad de incrementar la presencia en las revistas de mayor índice de impacto. Es importante analizar si este esfuerzo se ve reflejado en la calidad de los trabajos, y como consecuencia en el impacto de las revistas en la que los químicos españoles publican.

Este trabajo profundiza en varios aspectos relacionados con la colaboración existente en aquellas publicaciones en las que participan químicos españoles, a partir de

la información que se recoge en Scopus, base de datos que se ha seleccionado por la exhaustividad que presenta en este terreno y por las ventajas que ofrece a la hora de facilitar los resultados, especialmente cuando se quiere trabajar con los datos de cada institución. Los datos a partir de los cuales se ha hecho el estudio se recogieron la tercera semana de septiembre de 2015.

Dentro del apartado temático que Scopus dedica a la Química, se ha seleccionado los documentos publicados entre los años 2000 y 2014 (un total de 82.516 documentos), para disponer de un período de estudio amplio, siendo conscientes de que puede haber algunas lagunas, especialmente en el año 2014, por posibles retrasos en la elaboración de la base de datos.

Además se ha limitado el estudio a los documentos publicados en revistas que están o han estado alguna vez en ese mismo espacio de tiempo (2000-2014) en alguno de los siguientes seis apartados temáticos del *Journal Citation Reports*:^[1] “Chemistry Analytical”, “Chemistry Applied”, “Chemistry Inorganic & Nuclear”, “Chemistry Multidisciplinary”, “Chemistry Organic” y “Chemistry Physical”. Se trata de un conjunto de 593 títulos de revistas, habiendo habido participación de algún investigador afincado en España en artículos publicados en más del 90% de las mismas (en 543 revistas).

Tras la eliminación de algunos registros duplicados,^[2] se dispuso finalmente de un universo formado por 78.671 publicaciones, lo que supone más del 95% del apartado temático de Química de Scopus. Nuestro análisis abarca todas las contribuciones hechas por autores españoles en estas revistas, en su mayor parte artículos (95%), aunque hay que tener en cuenta la presencia de otras tipologías



Jesús H. Busto¹

J. León Marín²

M. Magriñá
Contreras²

¹ Departamento de Química. Complejo Científico Tecnológico. Universidad de La Rioja. C/ Madre de Dios, 51. 26006 Logroño. La Rioja. España.

² Biblioteca de la Universidad de La Rioja. C/ Piscinas, nº 1. 26007 Logroño (La Rioja).

C-e: hector.busto@unirioja.es

Recibido: 08/09/2016. Aceptado: 02/12/2016.

documentales como editoriales, notas o revisiones (estas últimas suponen un 3,7%).

Este artículo tiene tres partes diferenciadas. En la primera se aborda el índice de coautoría, en la segunda la colaboración en el ámbito internacional, y en la tercera se analizan las relaciones entre la colaboración internacional y el impacto de las publicaciones. En las dos primeras partes se profundizó en el análisis de las publicaciones de las universidades públicas y el CSIC, dado que los investigadores de estos centros están presentes en el 96% de las mismas. Para dicho estudio, cada universidad ha sido considerada como un centro único, unificando las publicaciones que en Scopus aparecen asociadas a distintas Facultades, y lo mismo ocurre con el CSIC que, a los efectos de nuestro estudio, se ha considerado también como un centro único.

Una información más completa, incluyendo los datos que se han usado para la elaboración del estudio, se encuentra en:

<http://biblioteca.unirioja.es/estudios/quimica.shtml>

LA COLABORACIÓN ENTRE AUTORES: EL ÍNDICE DE COAUTORÍA

Evolución del índice de coautoría

El índice de coautoría es el número medio de autores que firman una publicación, siendo la media en este estudio de casi cinco autores. Sin embargo, un análisis de la evolución del número de autores en la quincena que abarca nuestro estudio (Figura 1), nos indica una reducción progresiva del peso porcentual de las publicaciones firmadas por uno a cuatro autores; y, de forma inversa, un aumento considerable de las publicaciones firmadas por más de seis investigadores, debiendo destacar que las publicaciones en las que participan cuatro y cinco autores suponen algo más del 40% del total a lo largo de toda la quincena.

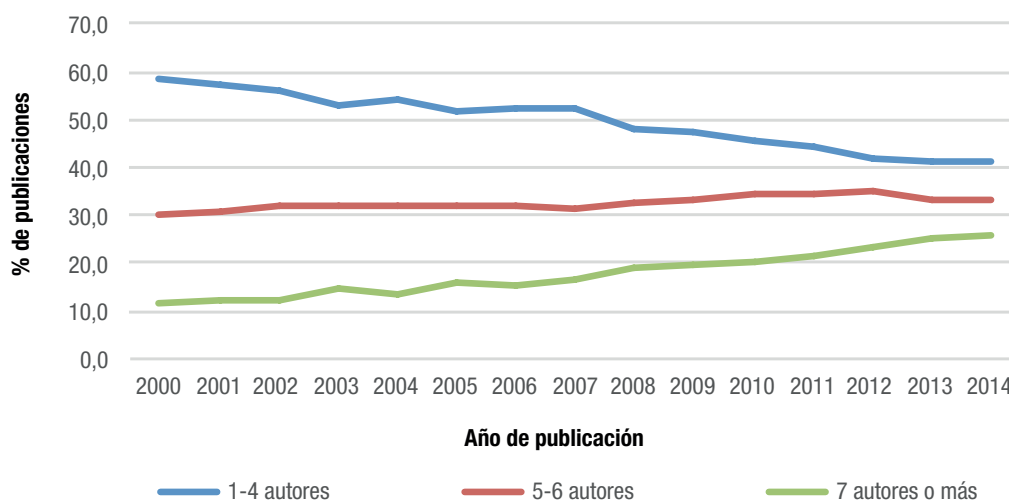


Figura 1. Evolución anual de las publicaciones según el número de autores

Estudio del índice de coautoría por disciplinas

Pero el índice de coautoría de Química se ha de contrastar con otras materias, ya que la colaboración y las coautorías tiene unos valores muy distintos en cada disciplina.^[3] Es algo que se puede comprobar en la Tabla 1, donde se muestra la media de autores de las publicaciones que figuran en los apartados temáticos de Scopus que tienen más de 10.000 documentos. Para evitar distorsiones producidas por publicaciones con infinidad de colaboradores, se ha optado por otorgar un valor de 10 autores a todas aquellas publicaciones que tienen más de 9 autores.

Hay que tener en cuenta que en el apartado de Química se analiza el conjunto de publicaciones que figuran en Scopus, no sólo las correspondientes a revistas que están en el JCR, y que son el objeto de nuestro estudio, indicando la media de éstas al final de la Tabla 1.

Las publicaciones de Química se encuentran en una zona intermedia, con valores similares a los de Física, Farmacología e Ingeniería. Son las publicaciones de Biomedicina las que encabezan el *ranking* del número de autores de media, mientras que las de Ciencias Sociales y Humanidades ocupan la parte inferior de la Tabla 1.

Tabla 1. Media de autores en las publicaciones en las principales áreas temáticas de Scopus en el período 2000-2014

Materia	Media autores
Immunology & Microbiology	5,85
Biochemistry, Genetics & Molecular Biology	5,49
Neuroscience	5,47
Medicine	5,34
Earth & Planetary Sciences	5,10
Pharmacology, Toxicology & Pharmaceuticals	5,09
Materials Science	4,94

Tabla 1 (cont.). Media de autores en las publicaciones en las principales áreas temáticas de Scopus en el período 2000-2014

Materia	Media autores
Physics & Astronomy	4,93
Chemistry	4,84
Agricultural & Biological Sciences	4,68
Chemical Engineering	4,67
Energy	4,54
Environmental Science	4,42
Engineering	4,25
Psychology	3,85
Computer Science	3,80
Mathematics	3,25
Business, Management & Accounting	2,74
Social Sciences	2,64
Economics, Econometrics & Finance	2,36
Arts & Humanities	2,06
Química en revistas JCR	4,86

Tabla 2 (cont.). Análisis del número de autores en las publicaciones de las universidades públicas y CSIC

Centro de Investigación	Media de autores por publicación	Nº de publicaciones con 1 a 4 autores	% de publicaciones con 1 a 4 autores	Nº de publicaciones con 5 a 6 autores	% de publicaciones con 5 a 6 autores	Nº de publicaciones con más de 6 autores	% de publicaciones con más de 6 autores
Extremadura	4,4	671	58,6	350	30,6	124	10,8
Girona	4,4	682	58,1	304	25,9	188	16,0
Granada	5,1	1.049	42,2	901	36,3	533	21,5
Huelva	4,7	228	52,7	142	32,8	63	14,5
Illes Balears	5,0	388	46,2	290	34,6	161	19,2
Jaén	4,9	380	49,2	258	33,4	134	17,4
Jaume I	5,1	596	41,4	536	37,2	307	21,3
La Laguna	5,5	477	38,3	431	34,6	336	27,0
La Rioja	5,1	235	44,5	173	32,8	120	22,7
Las Palmas	5,0	154	48,0	102	31,8	65	20,2
León	4,9	57	43,8	53	40,8	20	15,4
Lleida	5,1	179	45,8	138	35,3	74	18,9
Málaga	5,3	445	39,0	398	34,9	297	26,1
Mig. Hernández	5,5	104	29,4	155	43,8	95	26,8
Murcia	4,8	683	50,3	475	35,0	201	14,8
Oviedo	4,6	1.444	53,9	868	32,4	367	13,7
Pablo Olavide	5,1	100	39,7	94	37,3	58	23,0
Pais Vasco	5,2	1.182	39,2	1.125	37,3	711	23,6
Polit. Cartagena	4,7	137	48,2	94	33,1	53	18,7
Polit. Catalunya	4,9	584	46,9	436	35,0	225	18,1
Polit. Madrid	4,8	290	49,3	184	31,3	114	19,4
Polit. Valencia	4,9	1.214	48,5	842	33,6	449	17,9
Pompeu Fabra	5,7	65	34,4	63	33,3	61	32,3
Pública Navarra	5,2	131	42,0	109	34,9	72	23,1
Rey Juan Carlos	5,2	247	45,5	176	32,4	120	22,1
Rovira i Virgili	5,0	877	47,5	598	32,4	371	20,1
Salamanca	5,2	519	43,3	386	32,2	293	24,5
S. Compostela	5,0	1.700	43,4	1.425	36,4	790	20,2
Sevilla	5,0	1.099	45,3	848	34,9	480	19,8
UNED	5,3	239	38,9	230	37,4	146	23,7
Valencia	5,2	2.041	42,5	1.620	33,7	1.147	23,9
Valladolid	4,6	805	53,0	549	36,1	165	10,9
Vigo	4,7	1.185	49,4	865	36,0	350	14,6
Zaragoza	5,4	1.109	36,0	1.170	38,0	804	26,1

El índice de coautoría en las universidades públicas y el CSIC

Haciendo el análisis a partir de los principales centros de investigación (Tabla 2), el índice de coautoría varía sensiblemente, habiendo unas medias que oscilan entre 4,2 autores en la Universidad de Córdoba y 5,7 autores en la Universidad Pompeu Fabra.

Tabla 2. Análisis del número de autores en las publicaciones de las universidades públicas y CSIC

Centro de Investigación	Media de autores por publicación	Nº de publicaciones con 1 a 4 autores	% de publicaciones con 1 a 4 autores	Nº de publicaciones con 5 a 6 autores	% de publicaciones con 5 a 6 autores	Nº de publicaciones con más de 6 autores	% de publicaciones con más de 6 autores
A Coruña	5,5	341	32,0	424	39,8	299	28,1
Alicante	4,3	1.171	62,7	502	26,9	195	10,4
Alcalá	5,0	529	48,1	373	33,9	198	18,0
Almería	5,0	356	41,3	365	42,3	141	16,4
Aut. Barcelona	5,4	1.069	38,4	940	33,8	772	27,8
Aut. Madrid	5,2	1.386	42,1	1.105	33,6	798	24,3
Barcelona	5,1	2.800	43,5	2.175	33,8	1.464	22,7
Burgos	4,8	343	49,9	240	34,9	105	15,3
Cádiz	5,4	354	40,2	298	33,8	229	26,0
Cantabria	5,0	134	46,2	84	29,0	72	24,8
Carlos III	4,9	103	47,9	70	32,6	42	19,5
Cast-La Mancha	5,2	619	40,4	562	36,7	352	23,0
Complutense	5,1	1.781	44,4	1.394	34,8	832	20,8
Córdoba	4,2	1.109	64,9	409	23,9	190	11,1
CSIC	5,1	7.408	44,1	5588	33,3	4.035	24,0

LA COLABORACIÓN INTERNACIONAL

En este apartado se analiza la colaboración con investigadores de centros extranjeros, a partir de los autores que aparecen firmando los resultados, estudiando la procedencia y las características de dicha colaboración en las 31.967 publicaciones en las que existe dicha colaboración.

Colaboración internacional por disciplinas

Al igual que se ha hecho en el primer apartado, antes de analizar las características de la colaboración internacional en las publicaciones de química, en la Tabla 3 se muestra el comportamiento que en este terreno tienen las principales disciplinas temáticas de Scopus. Estableciendo la comparación a nivel porcentual, se encuentra un primer grupo de materias (Ciencias de la Tierra, Física/Astronomía y Ciencias de los Materiales) más destacado, con unos porcentajes de colaboración internacional entre el 48 y el 63% de las publicaciones. Y a continuación figura un segundo grupo de materias, en el que se encuentra la Química, donde se aprecia un nivel de colaboración internacional similar (entre el 41 y el 43%). En el caso de las publicaciones de nuestro estudio, correspondientes a revistas del JCR, el porcentaje de colaboración es del 40,6.

Tabla 3. Colaboración internacional en las principales áreas temáticas de Scopus en el período 2000-2014

Materia	Publicaciones (Total)	Colaboración internacional	% colaboración internacional
Earth and Planetary Sciences	38.987	24.328	62
Physics and Astronomy	101.671	61.106	60
Materials Science	55.750	26.823	48
Neuroscience	21.220	9.100	43
Biochemistry, Genetics & Mol. Biol.	105.661	45.158	43
Mathematics	60.899	25.964	43
Agricultural and Biological Sciences	84.827	35.787	42
Chemistry	82.516	34.180	41
Immunology and Microbiology	31.296	12.570	40
Environmental Science	42.244	16.890	40
Energy	13.978	5.406	39
Chemical Engineering	31.162	11.880	38
Engineering	98.183	36.996	38
Computer Science	85.094	30.810	36
Economics, Econometrics & Finance	11.982	3.989	33
Psychology	15.925	4.973	31
Pharmacology, Toxicol. & Pharmac.	26.081	8.007	31
Business, Management and Account.	12.177	3.624	30
Medicine	223.113	57.719	26
Social Sciences	44.177	9.987	23
Arts and Humanities	20.031	3.308	17
Química en Revistas JCR	78.671	31.967	41

Evolución de la colaboración internacional

Si se analizan las publicaciones de Química en cada anualidad del período de nuestro estudio (Tabla 4) se observa un progresivo aumento del nivel de colaboración, al igual que también sucedía con el índice de coautoría. A lo largo del período estudiado la media de colaboración se incrementa 19 puntos porcentuales, 31% al 50%.

Tabla 4. Evolución anual de la colaboración internacional

Año	Total publicaciones	Colaboración internacional	% colaboración internacional
2000	3.686	1.156	31
2001	3.836	1.060	28
2002	4.133	1.223	30
2003	4.157	1.562	38
2004	4.611	1.726	37
2005	4.979	1.901	38
2006	5.150	1.940	38
2007	5.515	2.035	37
2008	5.300	2.186	41
2009	5.544	2.319	42
2010	5.872	2.551	43
2011	6.269	2.894	46
2012	6.578	3.045	46
2013	6.510	3.086	47
2014	6.531	3.283	50
Total	78.671	31.967	41

Características de la colaboración internacional

En primer lugar se analizaron las publicaciones en función del número de países distintos a los que pertenecen los autores que figuran en las publicaciones (Tabla 5). El resultado es que en casi tres cuartas partes de las publicaciones en las que hay colaboración internacional sólo participan investigadores de un único país extranjero, en el 20,5% participan investigadores de dos países, en el 4,8% hay participación de tres países, y en el 2% participan investigadores de cuatro o más países.

Tabla 5. Colaboración con centros extranjeros según el número de países a los que pertenecen los autores

Nº de países	Publicaciones	Porcentaje
1	23.237	72,69
2	6.557	20,51
3	1.541	4,82
Más de 3	632	1,98
Total	31.967	100,00

A continuación se estudió la colaboración en función de países y áreas geográficas. En el período que se ha analizado España ocupa el noveno lugar dentro de Scopus en cuanto al número de publicaciones del área de Química, detrás de Estados Unidos, China, Japón, Alemania, India, Francia, Reino Unido y Rusia, aunque la colaboración de nuestros investigadores con los de estos países es muy desigual, como queda reflejado en la Figura 2.

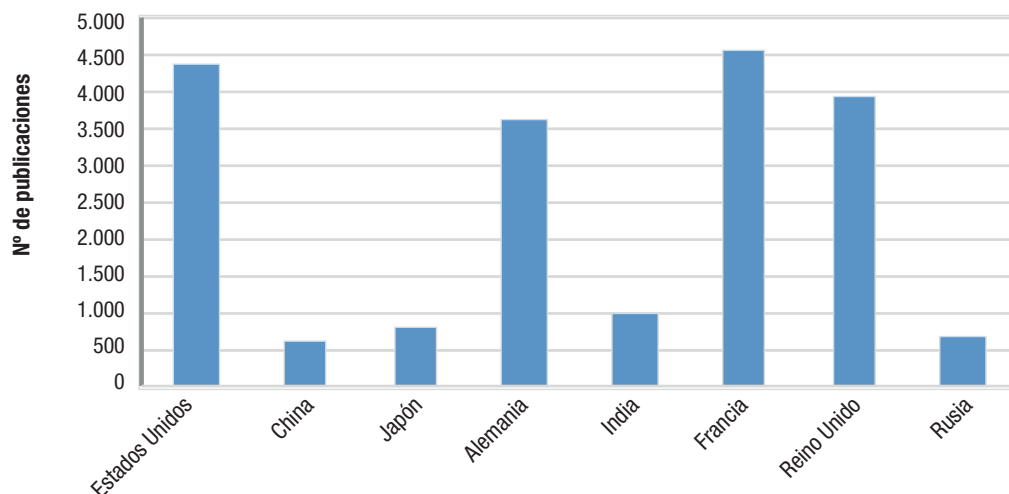


Figura 2. Colaboración española con centros extranjeros de los países con mayor número de publicaciones en el área de Química en el período 2000-2014

En la Tabla 6 se muestran las publicaciones elaboradas en colaboración con investigadores de los ocho países anteriores y con los de aquellos países con los que se ha participado en este período en más de mil publicaciones. Además del número de publicaciones, se indican la posición del país en el *ranking* internacional según los datos que aparecen en Scopus en los años del estudio, y el porcentaje que supone la colaboración con cada uno de esos países sobre el total de las publicaciones en las que hay colaboración internacional.

Se hace evidente que los químicos españoles colaboran en mayor medida con colegas de otros países culturalmente más cercanos –tanto del ámbito occidental como del ámbito iberoamericano– que con los de los países asiáticos emergentes, pese a figurar éstos en una posición relevante en el *ranking* mundial de publicaciones químicas.

Tabla 6. Publicaciones de investigadores españoles en colaboración con investigadores de otros países

Ranking internac. Scopus	Países	Publicaciones	% sobre publicaciones con coop. internac.
6	Francia	4.566	14,3
1	EE. UU.	4.340	13,6
7	Reino Unido	3.929	12,3
4	Alemania	3.641	11,4
11	Italia	3.509	11,0
24	Portugal	2.022	6,3
37	Argentina	1.315	4,1
19	Holanda	1.253	3,9
29	México	1.210	3,8
14	Brasil	1.057	3,3
22	Bélgica	1.017	3,2
5	India	976	3,1
3	Japón	777	2,4
8	Rusia	685	2,1
2	China	614	1,9

En la Figura 3 se puede apreciar de manera gráfica la distribución regional de la colaboración internacional en las publicaciones de nuestros químicos y el grado de colaboración, en términos porcentuales, con investigadores pertenecientes a distintas áreas geográficas, siendo los países de la Unión Europea los que tienen mayor peso en esta colaboración, seguidos a mucha distancia por los países hispanoamericanos y los de América del Norte.

La colaboración internacional en las universidades públicas y el CSIC

Se ha analizado también el grado de colaboración que hay en las publicaciones de cada una de las universidades públicas y en el CSIC (Tabla 7), indicando los porcentajes de colaboración con investigadores extranjeros y la posición porcentual que ocupa cada institución en este tipo de cooperación.

En la Tabla 8 se muestra la colaboración internacional de cada una de las universidades públicas y el CSIC en este período, analizando la procedencia de la misma, a partir de las cuatro áreas geográficas con las que hay un mayor nivel de colaboración. Se establecen además los valores porcentuales de esta colaboración en relación al total de publicaciones en las que hay colaboración internacional, y se destacan en cada caso las dos instituciones en las que el porcentaje es más elevado.

Limitándonos a las publicaciones de estos centros de investigación, por áreas geográficas, en más del 64% de aquellas en las que hay colaboración internacional, aparecen implicados investigadores de algún país de la Unión Europea, aunque en algunos centros como las universidades de Murcia y Pablo Olavide se supera el 80%. La colaboración con Iberoamérica supone un 18%, con algún caso excepcional, como Jaén o La Laguna, en las que se acercan al 40%. La colaboración con Norteamérica, fundamentalmente con Estados Unidos, se cifra en torno al 15%, siendo considerablemente mayor en universidades como Huelva y La Rioja. Finalmente, la colaboración con el Sureste asiático supone algo menos del 10%, destacando porcentualmente la universidad Miguel Hernández.

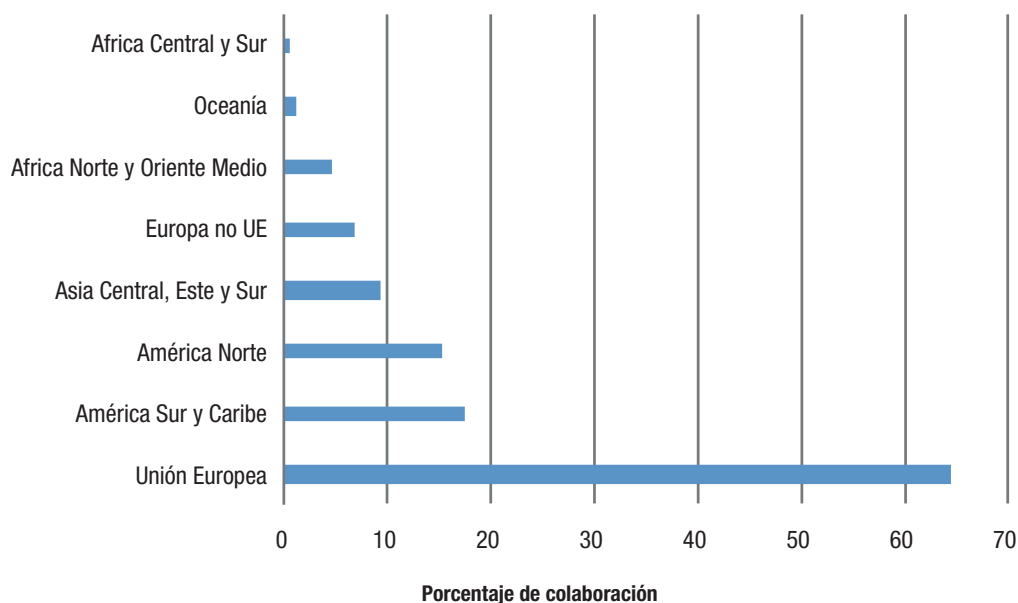


Figura 3. Porcentaje de la colaboración con centros extranjeros según áreas geográfica

Tabla 7. Colaboración internacional en las publicaciones de las universidades públicas y el CSIC

Centro de investigación	Total Publicaciones	Colaboración internacional	Porcentaje
A Coruña	1.064	316	29,7
Alicante	1.868	615	32,9
Alcalá	1.100	363	33,0
Almería	862	258	29,9
Aut. Barcelona	2.781	1.260	45,3
Aut. Madrid	3.289	1.367	41,6
Barcelona	6.439	2.937	45,6
Burgos	688	231	33,6
Cádiz	881	365	41,4
Cantabria	290	121	41,7
Carlos III	215	89	41,4
Cast-La Mancha	1.533	426	27,8
Complutense	4.007	1.410	35,2
Córdoba	1.708	430	25,2
CSIC	17.031	7.370	43,3
Extremadura	1.145	324	28,3
Girona	1.174	585	49,8
Granada	2.483	896	36,1
Huelva	433	148	34,2
Illes Balears	839	406	48,4
Jaén	772	303	39,2
Jaume I	1.439	677	47,0
La Laguna	1.244	582	46,8
La Rioja	528	110	20,8

Centro de investigación	Total Publicaciones	Colaboración internacional	Porcentaje
Las Palmas	321	91	28,3
León	130	35	26,9
Lleida	391	122	31,2
Málaga	1.140	438	38,4
Mig. Hernández	354	104	29,4
Murcia	1.359	359	26,4
Oviedo	2.679	729	27,2
Pablo Olavide	252	128	50,8
País Vasco	3.018	1.110	36,8
Polit. Cartagena	284	92	32,4
Polit. Catalunya	1.245	535	43,0
Polit. Madrid	588	178	30,3
Polit. Valencia	2.505	845	33,7
Pompeu Fabra	189	86	45,5
Pública Navarra	312	95	30,4
Rey Juan Carlos	543	167	30,8
Rovira i Virgili	1.846	787	42,6
Salamanca	1.198	421	35,1
S. Compostela	3.915	1.503	38,4
Sevilla	2.427	869	35,8
UNED	615	214	34,8
Valencia	4.808	2.078	43,2
Valladolid	1.519	497	32,7
Vigo	2.400	864	36,0
Zaragoza	3.083	1.249	40,5

Tabla 8. Colaboración de universidades públicas y CSIC con centros extranjeros de las áreas geográficas con mayor peso en la cooperación con España

Centros de investigación	Unión Europea		Iberoamérica		América del Norte		Sureste asiático	
		%		%		%		%
A Coruña	228	72,2	48	15,2	25	7,9	34	10,8
Alicante	329	53,5	158	25,7	86	14,0	67	10,9
Alcalá	237	65,3	51	14,0	68	18,7	26	7,2
Almería	137	53,1	58	22,5	36	14,0	11	4,3
Aut. Barcelona	849	67,4	198	15,7	203	16,1	77	6,1
Aut. Madrid	878	64,2	246	18,0	281	20,6	80	5,9
Barcelona	1.880	64,0	352	12,0	522	17,8	495	16,9
Burgos	164	71,0	20	8,7	31	13,4	10	4,3
Cádiz	189	51,8	95	26,0	42	11,5	33	9,0
Cantabria	84	69,4	10	8,3	16	13,2	21	17,4
Carlos III	57	64,0	18	20,2	13	14,6	12	13,5
Cast-La Mancha	274	64,3	86	20,2	52	12,2	39	9,2
Complu.	899	63,8	251	17,8	269	19,1	141	10,0
Córdoba	298	69,3	64	14,9	24	5,6	46	10,7
CSIC	4.772	64,7	1.324	18,0	1.148	15,6	541	7,3
Extrema.	209	64,5	61	18,8	44	13,6	20	6,2
Girona	427	73,0	39	6,7	110	18,8	25	4,3
Granada	587	65,5	132	14,7	66	7,4	70	7,8
Huelva	78	52,7	33	22,3	47	31,8	7	4,7
Illes Balears	279	68,7	52	12,8	22	5,4	87	21,4
Jaén	150	49,5	119	39,3	19	6,3		0,0
Jaume I	362	53,5	154	22,7	68	10,0	72	10,6
La Laguna	307	52,7	226	38,8	45	7,7	24	4,1
La Rioja	76	69,1	6	5,5	30	27,3	5	4,5
Las Palmas	54	59,3	20	22,0	9	9,9		0,0
León	24	68,6	7	20,0	4	11,4		0,0
Lleida	63	51,6	33	27,0	28	23,0	9	7,4
Málaga	255	58,2	55	12,6	113	25,8	54	12,3
Mig. Hernández	56	53,8	16	15,4	17	16,3	26	25,0
Murcia	301	83,8	14	3,9	15	4,2	28	7,8
Oviedo	407	55,8	132	18,1	152	20,9	45	6,2
Pablo Olavide	107	83,6	16	12,5	18	14,1	6	4,7
País Vasco	698	62,9	202	18,2	183	16,5	114	10,3
Polit. Cartagena	46	50,0	16	17,4	19	20,7	20	21,7
Polit. Catalunya	324	60,6	84	15,7	99	18,5	27	5,0
Polit. Madrid	105	59,0	32	18,0	32	18,0	20	11,2
Polit. Valencia	535	63,3	132	15,6	151	17,9	75	8,9
Pompeu Fabra	65	75,6	9	10,5	8	9,3	7	8,1
Pública Navarra	34	35,8	26	27,4	9	9,5	14	14,7
Rey Juan Carlos	129	77,2	13	7,8	15	9,0	14	8,4
Rovira i Virgili	558	70,9	84	10,7	110	14,0	28	3,6
Salamanca	270	64,1	122	29,0	29	6,9	27	6,4
S. Compostela	924	61,5	380	25,3	264	17,6	158	10,5
Sevilla	590	67,9	178	20,5	109	12,5	46	5,3
UNED	138	64,5	30	14,0	21	9,8	26	12,1
Valencia	1.364	65,6	424	20,4	259	12,5	204	9,8
Valladolid	333	67,0	109	21,9	68	13,7	26	5,2
Vigo	652	75,5	113	13,1	101	11,7	41	4,7
Zaragoza	879	70,4	162	13,0	217	17,4	108	8,6

COLABORACIÓN, ANÁLISIS DE CITAS E IMPACTO DE LAS PUBLICACIONES

En este apartado se analiza la posible relación existente entre colaboración e impacto de las publicaciones, a partir del número de citas recibidas por éstas, y se ha establecido una relación entre el factor de impacto de las revistas en las que se han publicado las investigaciones y la colaboración internacional en dichas publicaciones.

Cada día está más aceptado por la comunidad investigadora el hecho de que la colaboración científica tiene una incidencia positiva en el impacto que se obtiene,^[4] al menos si se analiza un conjunto amplio de publicaciones, como pueden ser el de un país. Y parece que hay una relación entre las instituciones que tienen más impacto en el conjunto de sus publicaciones y el nivel de colaboración que hay en las mismas.^[5]

Nuestro estudio se basa en el análisis del número de citas que recibe cada publicación en Scopus, algo que puede ser considerado un factor objetivo a la hora de hacer una valoración cualitativa de las publicaciones. A diferencia de otros análisis cualitativos, el de las citas se centra únicamente en el documento individual, y nos sirve para valorar un dato correspondiente a una investigación concreta, con independencia del factor de impacto de la revista en la que se haya publicado. No obstante se debe tener en cuenta que el número de citas que ha recibido cada publicación es una foto fija del momento en el que se hace la recogida de datos (septiembre de 2015), y que otras bases de datos de referencia como WOS presentaban en ese momento datos de citas distintos para las mismas publicaciones.

Para hacer el estudio se han establecido 5 rangos de publicaciones, en función del número de citas recibidas por éstas: 1-3 citas, 4-9 citas, 10-24 citas, 25-49 citas y más de 49 citas. Además se ha añadido un sexto rango para las publicaciones que, en septiembre de 2015, no habían recibido ninguna cita, debiendo tener en cuenta que 2.208 de los trabajos que carecen de citas están publicados en el año 2014, y muchos de ellos han podido incluirse en Scopus poco antes de la recogida de datos.

El estudio se ha enfocado en los dos aspectos que analizados con anterioridad, es decir, la posible relación del impacto de las publicaciones con el índice de coautoría y con la colaboración con investigadores afincados en centros de otros países.

Relación entre índice de coautoría e impacto de las publicaciones

Para analizar esta relación se ha establecido un peso porcentual de las publicaciones sin citas sobre el total de publicaciones, y de los diversos rangos de citas sobre el total de publicaciones que han recibido alguna cita.

Tal y como se aprecia en la Tabla 9, el estudio simultáneo de las publicaciones por rangos de autoría y de citas no permite deducir la existencia de una relación clara y directa entre ambos factores, ya que a medida que aumenta el número de autores en las publicaciones no siempre se produce, de forma paralela, un aumento del número de citas.

Tabla 9. Relación entre número de autores de las publicaciones y número de citas recibidas

Núm. de autores	1	%	2	%	3	%	4	%	5	%	6	%	7_9	%	>9	%
Total publicac.	1.369		5.308		13.655		17.946		15.188		10.587		11.850		2.768	
Publicac. sin citas	226	16,5	411	7,7	625	4,6	850	4,7	717	4,7	469	4,4	507	4,3	98	3,5
Publicac. con citas	1.143	83,5	4.897	92,3	13.030	95,4	17.096	95,3	14.471	95,3	10.118	95,6	11.343	95,7	2.670	96,5
1 -3 citas	288	25,2	793	16,2	2.008	15,4	2.614	15,3	2.230	15,4	1.525	15,1	1.692	14,9	351	13,1
4-9 citas	286	25,0	1.186	24,2	3.136	24,1	4.148	24,3	3.620	25,0	2.575	25,4	2.867	25,3	625	23,4
10-24 citas	282	24,7	1.501	30,7	4.162	31,9	5.588	32,7	4.858	33,6	3.376	33,4	3.597	31,7	842	31,5
25-49 citas	146	12,8	745	15,2	2.320	17,8	3.067	17,9	2.416	16,7	1.726	17,1	2.080	18,3	508	19,0
50 o más citas	141	12,3	672	13,7	1.404	10,8	1.679	9,8	1.347	9,3	916	9,1	1.107	9,8	344	12,9

Tabla 10. Media de citas recibidas según el número de autores de las publicaciones

Número de autores	1	2	3	4	5	6	7_9	>9	Total
Total citas recibidas	31.219	145.500	324.123	384.548	311.789	215.774	254.602	66.968	1.734.523
Media citas publicac.	22,8	27,4	23,7	21,4	20,5	20,4	21,5	24,2	22,0
Media citas publicac. citadas	27,3	29,7	24,9	22,5	21,5	21,3	22,4	25,1	23,2

Tampoco hay muchas diferencias porcentuales si lo que se analiza es la media del número de citas según el número de autores que firman una publicación, tal y como se observa en la Tabla 10.

Relación entre colaboración nacional e internacional e impacto de las publicaciones

Para establecer este análisis, se han diferenciado las publicaciones en las que hay colaboración internacional y las que no la tienen. En la Tabla 11, donde se vuelven a usar los mismos rangos de números de citas, no se aprecia una relación clara entre citas recibidas y colaboración internacional, ya que los pesos porcentuales en cada uno de los rangos de citas establecidos apenas muestran un punto de diferencia entre las publicaciones escritas sin colaboración internacional y las que han sido objeto de ésta.

Tampoco hay apenas diferencias porcentuales si se analiza la media del número de citas, tal y como puede apreciarse en la Tabla 12.

No obstante las cifras medias ocultan realidades que se observan haciendo análisis más concretos. Y en el caso de las publicaciones en las que han participado investigadores extranjeros, se encuentran diferencias considerables dependiendo del área geográfica o del país con el que se colabora.

Tabla 11. Análisis de citas de las publicaciones elaboradas con y sin colaboración internacional

	Public. sin colab. internacional	%	Public. con colab. internacional	%
Total artículos	46.704		31.967	
Artículos sin citas	2.377	5,1	1.526	4,8
1 -3 citas	6.766	14,5	4.735	14,8
4-9 citas	10.888	23,3	7.555	23,6
10-24 citas	14.589	31,2	9.617	30,1
25-49 citas	7.722	16,5	5.286	16,5
50 o más citas	4.362	9,3	3.248	10,2

Tabla 12. Media de citas recibidas por las publicaciones elaboradas con y sin colaboración internacional

	Public. sin colab. internacional	Public. con colab. internacional	Total
Total citas recibidas	1.008.847	725.676	1.734.523
Media citas publicac.	21,6	22,7	22,0
Media citas publicac. citadas	22,8	23,8	23,2

En la Tabla 13 se seleccionaron solamente las dos áreas geográficas con mayor número de publicaciones en colaboración, los países con los que se ha participado en más de 1.000 publicaciones en el período estudiado, y los países que tienen un volumen de publicaciones en Química superior al que tiene España. Por áreas geográficas se observa un contraste importante entre Iberoamérica y la Unión Europea, con casi seis puntos porcentuales de diferencia. Pero profundizando a nivel de país, el contraste aún es mayor, de manera que el mejor promedio se alcanza en el caso de las publicaciones con participación de investigadores de Estados Unidos, seguido de Holanda, Japón, Alemania y Reino Unido; y el promedio más bajo se produce en publicaciones en las que se ha colaborado con países de América del Sur y con Portugal.

Tabla 13. Media de citas recibidas en publicaciones con colaboración internacional, en las áreas geográficas y países con mayor nivel de participación

	Publicaciones	Publicaciones con citas	Total citas recibidas	Media citas por publicación	Media citas publicac citadas
Total	78.671	74.768	1.734.523	22,0	23,2
Public. colab. internacional	31.967	30.441	725.676	22,7	23,8
Unión Europea	20.659	19.785	476.915	23,1	24,1
América Sur y Caribe	5.573	5.220	96.932	17,4	18,6
Francia	4.566	4.372	110.322	24,2	25,2
Estados Unidos	4.340	4.182	133.414	30,7	31,9
Reino Unido	3.929	3.744	97.108	24,7	25,9
Alemania	3.641	3.504	95.562	26,2	27,3
Italia	3.509	3.358	79.692	22,7	23,7
Portugal	2.022	1.930	37.455	18,5	19,4
Argentina	1.315	1.250	24.439	18,6	19,6
Holanda	1.253	1.203	35.939	28,7	29,9
México	1.210	1.127	20.651	17,1	18,3
Brasil	1.057	989	18.639	17,6	18,8
Bélgica	1.017	962	21.441	21,1	22,3
India	976	918	19.696	20,2	21,5
Japón	777	744	21.396	27,5	28,8
Rusia	685	651	13.180	19,2	20,2
China	614	589	16.083	26,2	27,3

Relación entre colaboración internacional y factor de impacto de las revistas

Para estudiar esta relación, se correlacionó cada trabajo de investigación con el factor de impacto que tenía la revista el año en el que se publicó dicho trabajo, excluyendo 2.551 publicaciones (un 3% del total) en las que la revista carecía de factor de impacto el año de su edición. Y una vez hecho esto, se establecieron cinco tramos con valores descendentes del factor de impacto y se analizó la presencia porcentual que tiene la colaboración internacional en cada uno de esos tramos. (Tabla 14). A partir de estos da-

tos, se puede concluir que a medida que las revistas en las que se publican los trabajos tienen un factor de impacto más elevado hay un mayor grado de colaboración con investigadores de otros países.

Tabla 14. Relación entre Factor de Impacto de las revistas y la cooperación internacional

FI Revista	Publicaciones	Public. coop. internac.	% coop. intern.
>10	2.169	1.239	57,1
5 a 9,99	8.450	4.198	49,7
3 a 4,99	24.603	10.425	42,4
1 a 2,99	35.287	13.109	37,1
<1	5.611	1.897	33,8

CONCLUSIONES

El estudio pone de manifiesto que las publicaciones de las diferentes disciplinas establecidas por Scopus, presentan un comportamiento muy diferente tanto en lo que se refiere al índice de coautoría como al índice de colaboración internacional. Esto implica que las afirmaciones referidas a una disciplina en concreto, la Química en el caso de nuestro estudio, no pueden ser extrapolables a otras materias ni al conjunto de las publicaciones. Existe una clara tendencia al incremento progresivo, a lo largo del período temporal analizado, del índice de coautoría de las publicaciones, y también del porcentaje de publicaciones escritas en colaboración con otros centros de investigación extranjeros.

En el terreno de la colaboración con investigadores de otras instituciones hay una tendencia a cooperar, a nivel nacional, con centros de investigación geográficamente próximos; y en el caso de la colaboración internacional, con centros de países próximos desde el punto de vista geográfico y cultural. Dos aspectos que guardan una relación evidente son la colaboración internacional y el factor de impacto de las revistas en las que se publican los trabajos de investigación, de manera que a medida que éstas tienen un factor de impacto más elevado, se observa un mayor grado de colaboración con investigadores de otros países. Es pues evidente que la colaboración internacional conlleva una mayor impacto de las revistas en donde se publican los trabajos desarrollados por equipos españoles lo que se traduce en una mayor visibilidad de la Química española.

REFERENCIAS

- [1] <https://jcr.incites.thomsonreuters.com>
- [2] J. C. Valderrama-Zurián, R. Aguilar-Moya, D. Melero-Fuentes, R. Aleixandre-Benavent, *J. Informetr.* **2015**, *9*, 570-576.
- [3] B. S. Lancho-Barrantes, V. P. Guerrero-Bote, F. Moya-Anegón, *Scientometrics* **2010**, *85*, 443-461.
- [4] V. P. Guerrero Bote, C. Olmeda-Gómez, F. de Moya-Anegón, *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* **2013**, *64*, 392-404.
- [5] A. Gazni, C. R. Sugimoto, F. Didegah, *J. Am. Soc. Inf. Sci. Technol.* **2012**, *63*, 323-335.

La actividad de la Autoridad Nacional Española en el marco de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas

Nieves Gómez Sainz de Aja

Resumen: La Convención sobre la prohibición de las armas químicas obliga a los Estados Parte a destruir todos los arsenales que tuvieran bajo su control y jurisdicción. También afecta a las actividades de la industria química y de algunos de sus proveedores o clientes. Las Autoridades Nacionales de los Estados Parte deben adoptar las medidas necesarias para cumplir las obligaciones contraídas en virtud de dicha Convención. Este artículo describe algunas de las actividades que desarrolla la Autoridad Nacional Española para divulgar y hacer cumplir las obligaciones de la Convención.

Palabras clave: Convención Armas químicas, Industria química, Doble uso, No proliferación, Verificación, OPAQ.

Abstract: The Chemical Weapons Convention obliges States Party to destroy all stockpiles under their control and jurisdiction. It also impact on the activities of the chemical industry and some of its suppliers or customers. The National Authorities of States Parties shall adopt the necessary measures to implement its obligations under this Convention. This article describes some of the activities undertaken by the Spanish National Authority to publicize and enforce the obligations of the Convention.

Keywords: Chemical Weapons Convention, Chemical industry, Dual use, Non-proliferation, Verification, OPCW.

INTRODUCCIÓN

La Convención para la Prohibición de las Armas Químicas (CAQ), es el más completo Tratado internacional en el ámbito del desarme y la no proliferación. Su entrada en vigor, el 28 de abril de 1997, instauró la Organización para la Prohibición de las Armas Químicas (OPAQ), cuya sede se encuentra en La Haya (Países Bajos). La OPAQ se encarga directamente de la aplicación de la CAQ en el ámbito internacional. Dispone de unos 500 trabajadores, ciudadanos de los países miembros, independientes y altamente especializados en armamento químico y en procesos químicos convencionales y, no solo verifican la destrucción de los arsenales sino también que las actividades industriales se ajusten a lo permitido en el Tratado.

Además la propia CAQ obliga a sus Estados Parte a la creación de Autoridades Nacionales (AANN) que deben responsabilizarse de la ejecución de las estipulaciones de la CAQ a nivel nacional así como del mantenimiento de las relaciones entre el Estado y la OPAQ y otras AANN.

La CAQ exige la destrucción de todos los arsenales químicos, instalaciones de producción, almacenamiento y



Figura 1. Sede de la OPAQ en La Haya (Países Bajos)



N. Gómez Sainz de Aja

Secretaría General de la Autoridad Nacional para la Prohibición de las Armas Químicas
Ministerio de Industria, Energía y Turismo
Castellana, 160 – 28071 Madrid
C-e: ngomez@minetur.es

Recibido: 15/11/2016. Aceptado: 05/12/2016.

vectores; pero también extiende su ámbito de control a la industria química civil, incidiendo sobre un amplio espectro de sustancias químicas y actividades anexas a éstas, las denominadas “*sustancias de doble uso*”, que siendo utilizadas ampliamente por la industria y los centros de investigación para actividades lícitas, también pueden desviarse para la fabricación ilegal de agresivos químicos.

Además de los dos objetivos principales de la CAQ (desarme y no proliferación), la Convención conlleva otras obligaciones para sus miembros entre las que des-

tacan: facilitar el intercambio más completo posible de sustancias químicas, equipos e informaciones relativas al desarrollo de la química para la paz, el deber de asistencia y protección contra las armas químicas, o el intercambio de conocimientos y experiencias de la puesta en práctica del Tratado.

SITUACIÓN A NIVEL MUNDIAL

Las armas químicas han sido utilizadas con brutal regularidad en el siglo xx, y desgraciadamente también en el actual. No podemos olvidar el nombre de la localidad belga de Ypres, donde el 22 de abril de 1915 tuvo lugar el primer ataque químico a gran escala con gas cloro (la iperita se utilizó por primera vez el 12 de julio de 1917 también en Ypres). Desgraciadamente, en nuestros días, se siguen utilizando agresivos químicos contra la población civil. Recordemos los cercanos episodios acaecidos en Sardasht (Irán), Faluya y Halabja (Irak), Ghouta y Alepo (Siria) o muy recientemente también en Sudán, aunque este hecho está pendiente de confirmación.

El Tratado y los responsables de su cumplimiento luchan para que estos episodios no se repitan. En los casi 20 años de vigencia, la Convención cuenta con un firme respaldo: 192 Estados la han ratificado. Si podemos afirmar que el 98% de la población mundial está en consonancia con los objetivos del Tratado, hay dos aspectos pendientes aún de alcanzar: Por un lado se deberá conseguir la universalidad plena, cuando ratifiquen los cuatros Estados pendiente de hacerlo (Israel, Egipto, República Democrática de Corea y Sudán del Sur), y por otro, exigir a los que ya son Parte del mismo que eviten que estos agresivos caigan en manos de terroristas o agentes descontrolados. Para ello se deben desarrollar medidas legales y ponerlas en práctica, al objeto de alcanzar la destrucción total de los arsenales, y controlar que las actividades de su industria química sean coherentes con la CAQ.

La universalidad es sin duda, uno de los puntos fuertes del Tratado para fomentar la confianza y construir puentes de diálogo y entendimiento entre los países. Pero tal fortaleza requiere, para ser eficaz, de un elevado grado de acatamiento; las Convenciones son normas jurídicas que suponen observancia, y las establecidas por la Convención de armas químicas están sometidas a verificación internacional.

Por lo que respecta a la destrucción de los arsenales, se han eliminado el 92% de las más de 72.500 toneladas de las armas químicas declaradas por los ocho Estados poseedores (Albania, Estados Unidos de América, India, Irak, Libia, Rusia, Siria y un Estado Parte). Aunque estas cifras son importantes, hay que reconocer que están pendientes de destruir más de 6.000 toneladas y sobre todo causan preocupación las que pudieran estar descontroladas en territorios en conflicto bélico (Irak y Siria).

En materia de verificación a la industria –actividad esencial para asegurar la no proliferación– la OPAQ ha realizado 2.600 inspecciones en más de 86 países. A través



Figura 2. Director General de la OPAQ, Embajador Ahmet Üzümcü con el diploma y medalla del Premio Nobel de la Paz, 2013

de ellas se ha podido corroborar la conformidad de las actividades industriales con lo dispuesto en la Convención.

Las cifras, positivas sin duda, no pueden ni deben mover a la complacencia. La plena vigencia de la Convención reclama de esfuerzos continuados y constantes y exige compromisos diarios para hacer de sus objetivos realidades tangibles que amplíen los espacios de seguridad y cooperación.

Esta forma de trabajo, unida a la labor de cooperación llevada a cabo para dar solución a la destrucción de las armas químicas de Siria, hicieron merecedora a la OPAQ del Premio Nobel de la Paz de 2013.

El premio tiene que llenarnos de orgullo y alegría a todos los que de algún modo colaboramos en ese trabajo en mayor o menor medida, pero no debemos quedarnos en ello, sino que tiene que ser un estímulo para mejorar en nuestro quehacer diario y alcanzar el desarme global. Objetivo que se conseguirá con el esfuerzo combinado de las administraciones, la industria y los agentes sociales, trabajando en la búsqueda del bien común.

Es decir, este difícil desafío requiere de una sólida cooperación internacional y un fuerte compromiso colectivo con el fin de realizarlo de manera segura y lo más rápidamente posible.

SITUACIÓN EN ESPAÑA

España estuvo pendiente de la Convención sobre la prohibición de armas químicas desde los primeros momentos de las negociaciones en Ginebra, cuando el texto era un proyecto muy interesante, desafiante y dinámico. Esa

perspectiva implicó consecuencias importantes en la actitud de nuestro país hacia las obligaciones del Tratado.

Para España, la Convención nunca supuso una mera serie de deberes a cumplir en el contexto de la declaración y de la verificación. Sin desatender su importancia, siempre se ha considerado que indisolublemente ligados a aquéllos deben estar las voluntades, la disposición y el talento de las personas que en un esfuerzo compartido han de llevar adelante las ideas, ponerlas en práctica y convertirlas en una realidad beneficiosa para todos.

Las armas químicas y los agresivos, que puedan ser utilizados contra la vida de las personas, son un anacronismo en el mundo. Nuestra responsabilidad es su definitiva eliminación o su efectivo control cuando se trate de sustancias de uso dual que puedan servir también para fines industriales perfectamente lícitos.

La primera consecuencia de este Tratado fue la aceleración en el cumplimiento de sus obligaciones básicas. Con la presentación de su instrumento de ratificación el 3 de agosto de 1994, España se convirtió en el primer país de la Unión Europea y el décimo en el mundo en realizar dicha etapa. Inmediatamente después, se adoptaron las medidas organizativas necesarias para garantizar el cumplimiento de los compromisos (la Autoridad Nacional se estableció ya en 1997, año de la entrada en vigor de la Convención), y se comenzaron a desarrollar los instrumentos legislativos necesarios. Este esfuerzo condujo a la aprobación de la Ley 49/99 de 20 de diciembre de 1999, estableciendo el marco por el cual se podría asegurar que la Convención era plenamente aplicable en España.

La Autoridad Nacional Española es un órgano colegiado presidido por el Ministerio de Asuntos Exteriores y de Cooperación, con dos vicepresidencias en Defensa e Industria, 6 vocales de los ministerios de Economía, Interior, Educación, Agricultura, Sanidad y Medio Ambiente. También dispone de una Secretaría General, ubicada en el Ministerio de Industria, órgano ejecutivo de la Autoridad Nacional.

En España no hay armas químicas, pero sí una industria importante que se ve afectada por el Tratado. Evitar la proliferación futura de las armas químicas exige el control de estas industrias y de algunas sustancias que tienen un uso dual.

Las principales actividades de la Autoridad Nacional Española en el cumplimiento de la Convención, se centran en informar a la OPAQ de las actividades sujetas a control (declaraciones), en verificar que esas actividades son acordes con la Convención (inspecciones), en prestar asistencia y protección a otros países en caso necesario, y colaborar con la OPAQ en la divulgación del Tratado mediante curso de formación, seminarios, etc.

DECLARACIONES

La Convención clasifica las sustancias sujetas a control en tres listas.

La Lista 1 incluye sustancias que se han desarrollado, producido, almacenado o empleado como arma química o que, por su estructura o alta toxicidad, presentan un grave riesgo a los fines de la Convención.

Está prohibida cualquier actividad en relación con sustancias de la Lista 1 excepto para fines de protección, investigación, médicos o farmacéuticos, sujetas a ciertas condiciones de cantidad y previa autorización.

En general tienen escasa o nula utilidad en actividades no prohibidas. Se emplean como agentes químicos para usos militares en la comprobación de la eficacia de los equipos de protección (EPI) de los cuerpos y fuerzas de seguridad del Estado, en el control de las aguas marinas y en aplicaciones muy específicas de investigación farmacológica.

La Lista 2 incluye sustancias químicas que por su toxicidad letal o incapacitante y su utilización como precursores de sustancias químicas de Lista 1 suponen un riesgo considerable a los fines de la Convención.

Son sustancias químicas claramente de doble uso, como el tioglicol, utilizable en la fabricación de pinturas industriales pero también en la elaboración de iperita, o la de ciertos fosfonatos usados como ignífugos en la industria textil o de espumas y que pudieran ser utilizados como precursores de agentes nerviosos (VX o Sarín).

La Lista 3 comprende sustancias químicas tóxicas no incluidas en la Lista 1 y 2, que en alguna ocasión se utili-

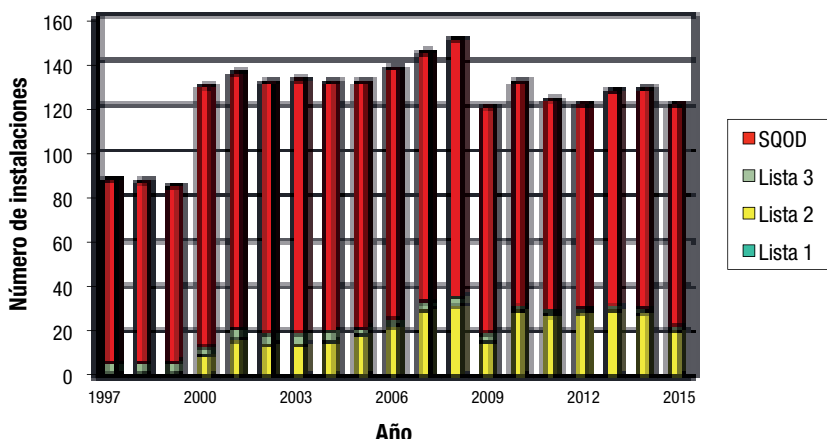


Figura 3. Declaraciones realizadas por España según sustancias

zaron como armas químicas (fosgeno) o que pueden ser precursores de las mismas.

Debido a su toxicidad y a su potencial como precursores en la formación de sustancias químicas de la Lista 1 y 2 implican riesgo a los fines de la Convención.

Se utilizan ampliamente en la industria, donde se producen en grandes cantidades y con aplicaciones muy diversas.

Además de estas sustancias incluidas en las listas, el Tratado también afecta a las instalaciones industriales donde se **sintetizan sustancias químicas orgánicas definidas (SQOD)**, prestando especial atención a las que contienen en su estructura átomos de fósforo, azufre o flúor (sustancias PSF).

Cada año, en función de las sustancias empleadas o fabricadas, las empresas deben informar de las actividades que llevan a cabo con las mismas. Las obligaciones son graduales dependiendo del tipo y cantidad de sustancia.

Asimismo, deben facilitar los datos del comercio internacional de todas las sustancias recogidas en las listas de la CAQ.

Con respecto a las sustancias de las Listas 1, 2 y 3 se efectúan dos declaraciones anuales, la primera comprende las actividades efectivamente realizadas en el año anterior y la segunda las actividades previstas para el año siguiente.

En las plantas industriales donde se sintetizan Sustancias Químicas Orgánicas Definidas (SQOD) sólo se declaran las actividades de producción realizadas.

La información se trasmite a la OPAQ en los plazos establecidos. En los casi veinte años transcurridos desde la entrada en vigor de la Convención, así se ha realizado anualmente. Las declaraciones afectan en España a unas 300 empresas fabricantes, consumidoras y comercializadoras.

INSPECCIONES

La Convención establece un amplio régimen de verificación para constatar que no tienen lugar actividades ilícitas en el territorio de los Estados Parte y comprobar la veracidad de las declaraciones efectuadas por aquéllos.

El instrumento fundamental de la verificación es la inspección, que se lleva a cabo por equipos de inspectores de la OPAQ, especialistas de distintas nacionalidades altamente cualificados, previamente aceptados por los Estados Parte.

Las inspecciones se realizan automáticamente en instalaciones de Lista 1 y en aquellas de Lista 2 y Lista 3 que superan los umbrales de verificación establecidos en la Convención, mientras que las instalaciones que fabrican Sustancias Químicas Orgánicas (SQOD) definidas que superan dichos umbrales se inspeccionan aleatoriamente.

El equipo de inspección de la OPAQ está en todo momento acompañado por representantes de la Autoridad Nacional que velan por el correcto desarrollo de la inspección y garantizan la salvaguarda de los intereses de la instalación inspeccionada, adoptando medidas estrictas para la protección de los secretos industriales y comerciales.

Las actividades llevadas a cabo en las inspecciones son complejas. Se inspeccionan las plantas de producción, almacenes, laboratorios de investigación y control de calidad, plantas piloto, depuradora y zona de vertidos. Se controla la documentación administrativa y de producción referida a la sustancia controlada, pudiéndose realizar toma de muestras con análisis in situ. Por último se evalúa la seguridad de la planta para los fines de la Convención.

Ello obliga a la instalación a dedicar un número variable de personas a la inspección, a mantener la custodia de los datos administrativos relativos a las sustancias declaradas durante cinco años y a facilitar al equipo de inspección locales de acceso restringido y comunicaciones fiables.

En España se han realizado un centenar de inspecciones, cuatro de ellas con toma de muestras y análisis, con resultados satisfactorios. En ningún caso se detectaron incumplimientos notables, si bien en alguna ocasión se descubrieron errores en el cómputo de las cantidades fabricadas o consumidas o en la identificación de las actividades declarables.

Las instalaciones de lista 1 y 2 se reinspeccionan periódicamente, y las de lista 3 y sustancias orgánicas definidas pueden volver a ser inspeccionadas, aunque con pocas probabilidades.

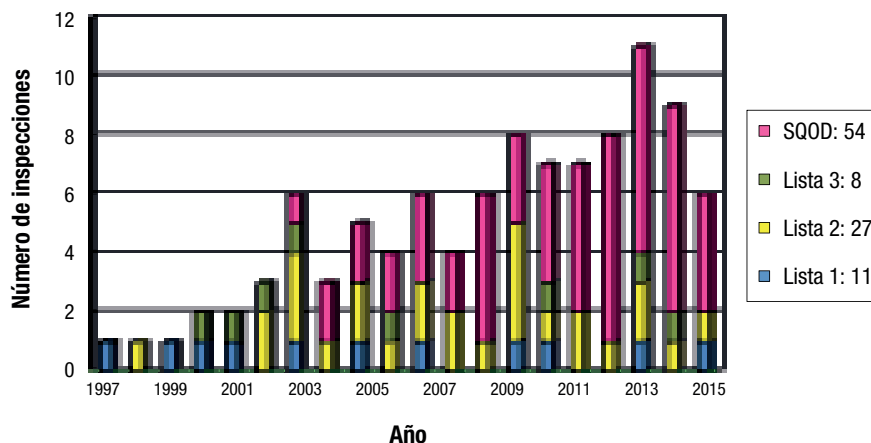


Figura 4. Distribución anual de las inspecciones realizadas en España según sustancias

COOPERACIÓN

Como comentaba al comienzo de este artículo, la Autoridad Nacional Española no se ha limitado al estricto cumplimiento de las obligaciones derivadas del Tratado. En el buen entendimiento y haciendo un esfuerzo adicional y voluntario, nuestro país ha colaborado con la OPAQ en la organización de numerosas actividades formativas e informativas orientadas a fomentar la universalidad, a enriquecer el espíritu de la Convención, y a su plena ejecución.

Así, cada año desde 1997, nuestro país ha organizado al menos un curso de formación para otras Autoridades Nacionales o para futuros inspectores de la OPAQ. En ellos, se han tratado diversos temas según las necesidades del momento: legislación, declaraciones, inspecciones, transferencias de sustancias químicas, asistencia y protección, análisis químicos, herramientas electrónicas, etc.

También nuestras empresas han participado en estas tareas de formación, prestando sus instalaciones para ejercicios prácticos de verificación dirigidos a futuros inspectores de la OPAQ o a miembros de otras AA.NN. Asimismo, anualmente desde el año 2000, la industria química española ofrece alguna de sus fábricas para acoger durante cuatro semanas, a un par de alumnos de países emergentes (principalmente de América Latina) para completar su formación en ingeniería química e implicaciones en el Tratado.

Actualmente la cooperación con la OPAQ se centra principalmente, en cursos de Asistencia y Protección y de Herramientas Analíticas necesarias para alcanzar la designación de laboratorio reconocido por la OPAQ en los análisis de muestras reales. En ambos casos es fundamental el apoyo que presta el Ministerio de Defensa español, que dispone de personal altamente cualificado, con prestigio internacional y con las instalaciones necesarias para realizar la parte teórica y práctica de los cursos.

Merece la pena dedicar unas líneas al **Laboratorio de Verificación de Armas Químicas (LAVEMA)**. Este laboratorio del Ministerio de Defensa, perteneciente al INTA, ubicado en el campus de La Marañosa (San Martín de la Vega, Madrid), es uno de los pocos laboratorios en el mundo que consigue superar cada año las pruebas de suficiencia técnica, que le hacen merecedor de ser reconocido por la OPAQ para emitir informes vinculantes sobre los análisis de muestras reales. La designación se obtuvo en el año 2004, por el esfuerzo de su personal y al apoyo institucional prestado por el Ministerio de Defensa y el Departamento de Química Orgánica de la Universidad Complutense de Madrid. Para mantener la designación OPAQ, el laboratorio debe presentarse al menos una vez al año a las pruebas de suficiencia técnica y obtener resultados satisfactorios.

Actualmente en el mundo hay 19 laboratorios de estas características y el LAVEMA es el único de habla española. Por su reconocido prestigio, la OPAQ lo ha elegido para dar formación a otros centros que están en vías de consecución de la ansiada certificación de eficiencia, así como pilotar una Red de laboratorios de habla española.



Figura 5. Expertos del LAVEMA

FUTURO DE LA ORGANIZACIÓN

Los dos principales países poseedores de armas químicas llevan años de retraso en completar la destrucción de sus arsenales. La Conferencia de Estados Parte controla mensualmente el avance de la destrucción, por lo que este reto no es demasiado inquietante.

Más preocupante es la existencia de agresivos sin control en áreas en conflicto bélico, que puedan ser empleados por diversas facciones, como ha ocurrido recientemente en Siria. También podría darse el caso de que esos agresivos cayeran en manos de “agentes no estatales”, que los emplearían en acciones terroristas.

La Convención no es un Tratado antiterrorista, pero dado de que el terrorismo y la proliferación de armas de destrucción masiva están reconocidas por la ONU como una de las amenazas principales a las que se enfrenta la comunidad internacional, la responsabilidad de la OPAQ en relación con la lucha contra el terrorismo radica precisamente en impedir de una forma eficaz que cualquier producto que pueda ser utilizado como arma química o como precursor de ellas, pueda caer en manos de grupos no estatales que puedan utilizarlo en actos terroristas.

Esta posibilidad seguirá siendo motivo de grave preocupación y la Organización tendrá que afianzar sus capacidades para hacer frente a los agentes no estatales. España siempre ha estado convencida de que la OPAQ tiene una importante contribución que hacer, aprovechando su experiencia y habilidades, y debe proseguir sus esfuerzos para ayudar a los Estados a crear capacidades que impidan que los terroristas accedan a los agresivos químicos.

Otro reto que la Organización debe acometer con diplomacia y determinación es la consecución de la Universalidad. Son cuatro los países que faltan por adherirse al Tratado: Israel (que ha firmado y pero no ratificado), la República Democrática de Corea, Egipto y Sudán del Sur (que ni han firmado ni ratificado). Son cuatro situaciones difíciles, cada una con su singularidad, implicaciones en otros Tratados internacionales y condicionadas por su situación geoestratégica. Ello hace que, siendo realistas, la consecución de este objetivo se vea difícil a corto plazo.

También los avances de la ciencia y de la tecnología producen cierta preocupación si se hace con ello un uso indebido. La OPAQ no puede vivir aislada, ignorante de las transformaciones de la sociedad científica si quiere seguir siendo relevante y útil en los años venideros. Por el contrario, tenemos que estar preparados para responder a los nuevos desafíos. Este reto obligará a los expertos en verificación de la OPAQ a estar al día en el avance de los conocimientos para asegurar una verificación eficaz y eficiente.

Siempre ha de hacerse un uso de la química responsable y pacífico, y así, la comunidad científica se ha comprometido a cumplir y promover, dentro de sus organizaciones, unas Normas Éticas en relación con el cumplimiento de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas. El establecimiento de las Directrices Éticas de La Haya (2015) es un paso importante para avanzar en la comprensión entre los profesionales de la química de la importancia de fomentar normas responsables y éticas en la investigación y el desarrollo científico. La Conferencia de Estados Parte alienta a los países, así como a todos los interesados en promover el conocimiento de estas directrices y su posible aplicación.

CONCLUSIONES

El trabajo de la OPAQ y de sus Estados Parte es buscar y lograr la paz y la seguridad internacional, eliminando los arsenales existentes y evitando que se produzcan nuevos agresivos, mediante la aplicación efectiva, eficaz y no discriminatoria de todas las disposiciones de la Convención. Estos objetivos se reflejan en el lema que a menudo vemos en los escritos de la Organización: "Working Together for a World Free of Chemical Weapons, and Beyond".

El conseguirlo es tarea de todos, y desgraciadamente será tarea pendiente, mientras no se consiga la plena universalidad, la destrucción del 100% de los arsenales, y no se acaben los conflictos armados.

Los logros alcanzados en estos casi 20 años de andadura no hubieran sido posibles de no haber contado con una Organización fuerte, con funcionarios altamente cualificados; hombres y mujeres de distintas culturas y formas diferentes de hacer las cosas, pero plenamente convencidos de la necesidad y envergadura del trabajo que realizan. Ello hace pensar que el lema de la OPAQ: "Un mundo libre de armas químicas" se podrá conseguir en el futuro.

Por último, permítanme una reflexión sobre el valor de la Convención como exponente de la afirmación y prevalencia, que los principios éticos deben tener para evitar el riesgo que supone para la humanidad el uso indebido de la ciencia y la tecnología. Podríamos limitarnos a cumplir estrictamente con las obligaciones que establece el Tratado en materia de declaraciones y acompañamiento de las inspecciones, pero creemos firmemente que si queremos trabajar para liberar a la sociedad en este mundo globalizado

de la lacra de los agresivos químicos, lo tenemos que hacer con una estrecha colaboración internacional, aunando voluntades, disposiciones y esfuerzos para llevar adelante las ideas, ponerlas en práctica y convertirlas en una realidad beneficiosa para todos.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero expresar mi agradecimiento a los profesores de la Universidad Complutense de Madrid, don Miguel Ángel Sierra y don Roberto Martínez, por animarme a escribir unas sencillas líneas sobre la Convención de Armas Químicas.

También tengo que reconocer la labor que los funcionarios de la OPAQ realizan para dar a conocer y hacer cumplir el Tratado. De ellos he aprendido, y sigo aprendiendo, el alcance e implicaciones de la CAQ, que a veces es un poco complejo.

De las empresas españolas afectadas por esta disposición no tengo más que estar agradecida por su disponibilidad y transparencia.

Por último, y no menos importante, mi agradecimiento a los compañeros del Ministerio de Industria y de otros Departamentos (principalmente Defensa y Exteriores), sin cuya colaboración y apoyo no podríamos haber acometido las tareas de inspección y de tantos de cursos de formación, seminarios y talleres, que a lo largo de estos años se han impartido, dirigidos principalmente a funcionarios de otros Estados Parte, encargados también del cumplimiento de la Convención en sus respectivos países.

ACRÓNIMOS

- AA.NN.: Autoridades Nacionales
- CAQ: Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción
- INTA: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
- LAVEMA: Laboratorio de Verificación de Armas Químicas.
- OPAQ: Organización para la Prohibición de las Armas Químicas.
- ONU: Organización de Naciones Unidas.

BIBLIOGRAFÍA

- ¹ <http://www.opcw.org>
- ² <http://www.minetur.gob.es/industria/anpaq>
- ³ Convención sobre la prohibición del desarrollo, la producción, el almacenamiento y el empleo de armas químicas y sobre su destrucción. OPAQ.
- ⁴ Informes Anuales de la OPAQ. Último publicado 2014. En borrador 2015.
- ⁵ Directrices éticas de La Haya. OPAQ.

Una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios

Manuela Martín Sánchez, Gabriel Pinto Cañón, María Teresa Martín Sánchez

Resumen: Se resume la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios desde mediados del siglo XIX. Para ello, se repasan las leyes educativas y planes de estudio, desde la Ley Moyano (1857) a la LOMCE (2013). Se destaca la importancia en la renovación pedagógica de las ciencias por parte de organismos como la *Institución Libre de Enseñanza* y un buen número de profesores (Bargalló, Catalán, Comas, Estalella, Moles, Sensat...). También se recogen algunas propuestas metodológicas promovidas desde publicaciones especializadas, proyectos educativos y la propia legislación.

Palabras clave: Historia de la Enseñanza de la Química, Institución Libre de Enseñanza, Legislación Educativa, Niveles no Universitarios.

Abstract: The history of the teaching of chemistry in Spain since the mid-nineteenth century to the present is summarized. To this end, educational laws and curricula, from the Moyano Law (1857) to the LOMCE (2013) are revised. The significant role played in the pedagogical renovation of science by institutions as the *Institución Libre de Enseñanza* and a number of teachers (Bargalló, Catalán, Comas, Estalella, Moles, Sensat...) is highlighted. Also discussed are some methodological proposals promoted from specialized publications, educational projects and the legislation itself.

Keywords: Curricula, Education Legislation, *Institución Libre de Enseñanza*, History of Chemical Education, Non-University Educative Levels.

INTRODUCCIÓN

Se hace una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios desde mediados del siglo XIX a la actualidad. Como durante más de un siglo, hasta 1970, estuvo vigente la Ley Moyano, empezaremos por resumir en qué consistía. En la enseñanza en general, y por supuesto también en la de la Química, influyó de forma importante la *Institución Libre de Enseñanza*, motivo por el cual se tratará sobre este tema. También se analiza la educación primaria y secundaria hasta 1936, los planes de estudio del franquismo y, por último, los planes y leyes posteriores.

ENSEÑANZA EN ESPAÑA A FINALES DEL SIGLO XIX

Durante el reinado de Isabel II, en 1857, se promulgó la *Ley de Instrucción Pública*, conocida como Ley Moyano por su impulsor, el catedrático y político Claudio Moyano y Samaniego (1809-1890) (Figura 1). No sería derogada en su totalidad hasta 1970 pero, aunque duró más de un siglo, la situación en la enseñanza no fue estable, porque se fueron anidando sucesivamente planes de estudios cuya vigencia fue muy variable.^[1] El primero solo duró un año, y aunque alguno llegó hasta 14 años, lo normal era que cuando un alumno terminaba sus estudios ya no estuviera vigente el plan con el que había comenzado.

Por eso Unamuno, en un artículo sobre la enseñanza superior, decía: “De ese tejer y destejer desde el ministerio la tela de Penélope de nuestra enseñanza oficial, nadie hace caso. Cada ministro trae su receta, cambia las etiquetas de los frascos y el lugar de colocación de algunos”.^[2] Uno de los problemas educativos recurrentes es que la enseñanza sigue siempre igual de cambiante.

Según Sevilla Merino,^[1] la Ley Moyano se caracterizaba por un liberalismo moderado. Sus características fundamentales eran:

- Gratuidad de la enseñanza primaria para familias pobres.
- Centralización del nombramiento de rectores, decanos y directores de institutos, que dependía del Gobierno.
- Regulación de todos los asuntos de la enseñanza, con lo que la libertad de enseñanza estaba limitada. Lo mismo sucedía con la secularización, porque tanto la enseñanza como los libros de texto estaban bajo el control de la autoridad religiosa.



M. Martín¹



G. Pinto^{1,2}



M. T. Martín¹

¹ Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, Reales Sociedades Españolas de Química y de Física, Ciudad Universitaria, 28040 Madrid.

² E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid, 28006 Madrid.

C-e: mmartins@edu.ucm.es

Recibido: 21/09/2016. Aceptado: 21/11/2016.

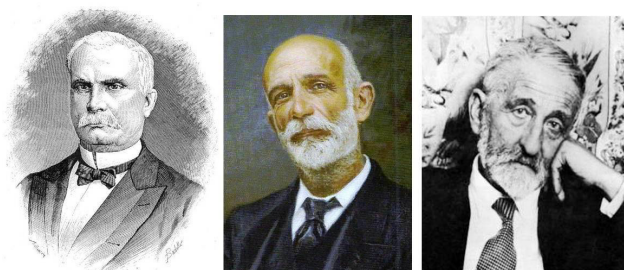


Figura 1. Personajes destacados en la enseñanza española del siglo XIX. De izda. a der.: Moyano, Giner de los Ríos y Bartolomé Cossío

Había una clara separación entre maestros y maestras. Los primeros se formaban en escuelas normales, de las que tendría que haber una en cada capital de provincia y una central en Madrid, además de una escuela aneja para realizar las prácticas. Sin embargo, con relación a la formación de maestras la ley solo dice que se establecerán escuelas normales. Lo mismo sucedía en algunas materias que se impartían en la escuela: mientras que los niños cursaban agricultura y nociones de física e historia natural, las niñas estudiaban labores y nociones de higiene doméstica.

La enseñanza secundaria, bajo la denominación de estudios generales, comprendía dos períodos (el primero de ampliación de la instrucción primaria y el segundo con contenidos principalmente humanísticos, volcados hacia las lenguas clásicas). En el segundo período durante cuatro años, en el plan Rodrigo Sanjurjo, figuraban 4 horas semanales de Física y Química en cada uno de los cuatro cursos (*Gaceta de Fomento*, 1, 1882, p. 109).^[3]

La restauración de la monarquía con Alfonso XII endureció las libertades en su primera etapa con el gobierno de los conservadores. Un grupo de catedráticos que fueron apartados de las universidades por defender la libertad de cátedra y no ajustarse a los dogmas oficiales crearon en 1876 la *Institución Libre de Enseñanza*. Estaban, entre otros, Francisco Giner de los Ríos (1839-1915) (Figura 1), Gumersindo de Azcárate (1840-1917) y Nicolás Salmerón (1838-1908). Eran seguidores del krausismo, doctrina contraria al dogmatismo, que defiende la tolerancia académica, y que debe su nombre al filósofo alemán Karl Christian Friedrich Krause (1781-1832). Este grupo siguió su tarea educadora al margen de la enseñanza oficial. En 1877 se comenzó a editar el *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza (BILE)*, que más tarde (entre 1961 y 1970) se publicaría en México.

En 1881, con la llegada de los liberales al poder, se reintegra a los *institucionistas* por una circular de José Luis Albarreda y Sezde (1828-1897).

La Institución defendía los principios de la pedagogía de Pestalozzi y Froebel que suponen comenzar desde la primera infancia, continuando a lo largo de toda la enseñanza, fomentando la intuición y el trabajo personal creativo. Todo ello mediante un procedimiento socrático, métodos heurísticos, así como estímulos animadores y gratos. Por ejemplo, se fomentaban las excursiones escolares que solían ser los sábados por la mañana o en va-

caciones. En esas excursiones se visitaban monumentos, museos, industrias, entornos geológicos, etc., llegando a veces a enclaves de Francia y Portugal. Además, la Institución intentó llenar el vacío que existía en España tanto en el funcionamiento de la universidad como en el de las escuelas normales de magisterio, tratando de que hubiera una colaboración entre todos los niveles educativos, comenzando por la primaria.^[3,6-8]

PROFESORES Y PEDAGOGOS RELEVANTES PARA LA EDUCACIÓN PRIMARIA HASTA 1936^[3, 6-9]

En la renovación y mejora de la enseñanza primaria fue fundamental Manuel Bartolomé Cossío (1858-1935) (Figura 1), alumno favorito de Giner, a quien en 1879 la Institución le concedió una beca para formarse en Italia. En 1882 se había creado el *Museo Pedagógico Nacional* y a su regreso (1883) se le encargó la dirección. Museos de este tipo se estaban extendiendo por toda Europa, comenzando en Alemania, y su función no era solo coleccionar sino investigar para mejorar la enseñanza.

El interés principal de Cossío era la apertura hacia Europa mediante todos los medios a su alcance, como viajes del personal del museo, conferencias de autoridades extranjeras e intercambio de publicaciones con otros países. Hasta tal punto que de él se llegó a decir “no se cansará de *vociferar* su radical intención de *europaizar* la enseñanza sin dejar que se *despañolice*”.^[6] Para él, la función del museo era ayudar a los educadores y formarlos siguiendo las nuevas corrientes, de forma que conociesen todas las posibilidades de la escuela. Ya no sería posible limitar la enseñanza a la lectura, escritura, religión, historia y geografía sino que se deberían incluir otras enseñanzas como las ciencias físicas y naturales, dibujo, trabajo manual, y gimnasia; y todo a través de unas metodologías nuevas de tipo más práctico.

Otro personaje clave en la formación en las ciencias fisicoquímicas en educación primaria fue Edmundo Lozano Cuevas (1856-1919) que estableció unos criterios metodológicos nuevos. Así, consideraba que no bastaba adquirir conocimientos sino que era necesario la formación del hábito científico basado en el trabajo personal de los alumnos, realizando experimentos que les encomendaran los profesores e incluso buscando o construyendo su propio material. Creó en el *Museo Pedagógico Nacional* un laboratorio taller con objeto de que sirviera de modelo para la enseñanza de las ciencias en las escuelas y allí era donde iban los profesores a formarse. Todas estas ideas aparecen publicadas en el *BILE*. También publicó varios libros relacionados con la enseñanza de las ciencias, como *La Química de la escuela primaria* (1908) que recoge varios experimentos relacionados con el aire y el agua.

Una beca por la *Junta para la Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* (JAE) que jugó un papel importante fue Margarita Comas Camps (1897-1972) profesora de la Escuela Normal de Maestros de Santander y después de la de Barcelona, dedicada fundamentalmente a la Bio-

logía. Criticó ampliamente la enseñanza formal de todas las ciencias, incluida la Química, e insistía en que no era importante que se dejaran temas sin explicar, sino que lo fundamental era formar personas, despertando su curiosidad, inculcando el rigor científico y el interés por seguir aprendiendo. En 1936 se quejaba de que la enseñanza seguía siendo “libresca”, por una deficiente formación del profesorado.

Un personaje destacado para la enseñanza de la Química fue Modesto Bargalló Ardevol (1894-1981) (Figura 2). En junio de 1915 fue nombrado profesor numerario de Física y de Química de la Escuela Normal de Guadalajara. Escribió varios libros sobre temas de Física y de Química, algunos en la colección *Vida Escolar*: Folletos de Orientación para el Maestro. Además, participó en las *Misiones Pedagógicas*. Tras la guerra civil se exilió a México donde desarrolló una vida científica repleta de trabajos y publicaciones importantes. Opinaba que, en primaria, las enseñanzas de Ciencias Naturales, Física y Química se deberían hacer conjuntamente, y siempre partiendo de experimentos y observaciones con material sencillo, en lo posible, aportado por los propios alumnos. Estos deberían hacer siempre informes por escrito que permitieran al profesor darse cuenta de lo que realmente observaban y entendían. Elaboró un programa de enseñanza cíclica para primaria en el que introducía la Física y la Química a partir del segundo grado, sobre 14 años. Defendía además la historia de la ciencia como base de la enseñanza.

Vicente Valls Anglés (1896-1962), becado por la JAE, empezó como maestro en su pueblo natal (Vinaroz, Castellón), después pasó a inspector y en 1932 se trasladó a Madrid como jefe de sección del *Museo Pedagógico Nacional*, pasando a director del mismo en 1934. Se le conoce fundamentalmente por fomentar la enseñanza experimental de las ciencias en la escuela primaria, sobre lo que tiene varias publicaciones. Pero, sobre todo, porque participó en cursos de formación de maestros dando explicaciones prácticas de cómo hacer posible esta enseñanza. Seguía fundamentalmente los textos de Bargalló. Su *Metodología de las ciencias físicas*, publicada en 1932, es un tratado de didáctica en el que expone todas las normas a seguir en la escuela para la enseñanza de esta materia.

Otra propuesta innovadora partió del profesor de ciencias naturales Enrique Rioja Lo Bianco (1895-1963) que estuvo en el Instituto San Isidro de Madrid y en la Escuela de Estudios Superiores de Magisterio. Su actividad educativa se centraba en las excursiones, cuyo objetivo debía ser el conocimiento de las relaciones de los seres vivos con el medio, e intentaba relacionar estas salidas con el resto de enseñanzas. Como Bargalló, y tantos otros docentes, también se exilió en México tras la guerra civil.

Rosa Sensat i Vila (1873-1961) (Figura 2) recogió todas las enseñanzas de ciencias para optar por una visión globalizadora en la *Escuela del Bosque* que se fundó en 1914 en Montjuic (Barcelona), primera escuela pública al aire libre. No entendía que las ciencias se pudieran enseñar separadas porque el fenómeno se presenta al niño de forma global. Conoció personalmente a Jean Piaget, visitó

varias ciudades europeas, y todas sus experiencias que pueden servir de base para la enseñanza de las ciencias en primaria las recoge en su obra *Hacia una escuela nueva* (1934).

En la formación de los maestros influyeron también las *Misiones Pedagógicas*, proyecto patrocinado por el gobierno de la Segunda República a partir del *Museo Pedagógico Nacional*, que trataba de acercar la cultura a los pueblos.

LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA EN EDUCACIÓN SECUNDARIA HASTA 1936^[3,8-13]

Dos hechos políticos importantes influyeron en la enseñanza en el primer tercio del siglo xx. El primero, el golpe militar de Primo de Rivera en 1923, que puso fin a la restauración y cuyo planteamiento antiliberal se concretó en la negación de la libertad de cátedra. El otro es la proclamación de la Segunda República en 1931. La constitución republicana proclamó la escuela única, la gratuidad y obligatoriedad de la enseñanza primaria, la libertad de cátedra y la laicidad. Igualmente, estableció que maestros, profesores y catedráticos de la enseñanza oficial serían funcionarios y que se legislaría con el fin de facilitar a los españoles económicamente necesitados el acceso a todos los grados de enseñanza, para que no se hallaran condicionados más que por la aptitud y la vocación. También se permitió la enseñanza de la lengua materna en las escuelas primarias, aunque no fuera el castellano.

Hasta 1923 la política fue muy inestable y de forma especial la política educativa. Los gobiernos cambiaban constantemente y a veces no duraban ni cinco meses. Los decretos de 1900, con García Alix como ministro de Instrucción Pública y Bellas Artes, sobre la reforma de las enseñanzas medias, decían que las enseñanzas de Física y Química debían tener un carácter eminentemente práctico, con pocas teorías y sí con problemas que deberían resolver los alumnos en laboratorios y gabinetes, o en clase y en su casa. Se deberían impartir las lecciones alternando ambas ciencias. Sin embargo, como se muestra en la Tabla 1, la vigencia del plan fue muy breve.

Tabla 1. Planes educativos del primer tercio del siglo xx.^[3]

Año	Ministro
1900	Antonio García Alix
1901	Álvaro Figueroa (Conde de Romanones)
1903	Gabino Bugallal Araujo
1926	Eduardo Callejo de la Cuesta
1931	Marcelino Domingo Sanjuán
1932	Fernando de los Ríos Urruti
1934	Filiberto Villalobos González

En 1903, el ministro Bugallan se quejaba de que la enseñanza seguía siendo excesivamente teórica y se elaboró un plan que conllevaba la creación de salas de estudio para organizar trabajos prácticos, así como la preparación de visitas y excursiones. Los alumnos debían pagar por las clases prácticas.

La enseñanza fue evolucionando (al menos sobre el papel) desde clases meramente expositivas y experimentos de cátedra a una mayor participación de los alumnos. Aunque en la *Asamblea de Catedráticos* de 1904 se insistió en la necesidad de menos memorismo y más trabajo experimental, los libros de texto cada vez eran más voluminosos y con más conceptos y teorías. Los materiales elaborados se distanciaban mucho de las recomendaciones. Numerosos testimonios de antiguos alumnos de diferentes institutos indican que la enseñanza no había cambiado y solo se describen casos muy puntuales que sí lo hicieran. Pero se inició, en todo caso, una pequeña renovación sobre ese modelo con las ideas procedentes de la *Institución Libre de Enseñanza*.

José Casares Gil (1866-1961), catedrático de Análisis Químico y Técnica Física de la Facultad de Farmacia en la Universidad de Barcelona, en el discurso inaugural del curso 1900-1901, logró llamar la atención de la administración hacia la necesidad de modernizar la enseñanza y práctica de la Química en España, tomando como ejemplo lo que había vivido en su estancia en Alemania. Otros profesores de distintas universidades insistieron en la necesidad de un cambio y se consiguió que en 1907 se creara la JAE, impulsada por Amalio Gimeno y Cabañas (1852-1936), catedrático de medicina de Madrid que había sido ministro durante algunos meses de 1906.

Siendo por segunda vez ministro de Instrucción Pública el conde de Romanones (1863-1950) se creó, en 1910, el *Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales*, con Ramón y Cajal (1852-1934) de presidente y Blas Cabrera (1878-1945) de secretario. Este centro jugó un papel importante en la formación de profesores de Física y de Química tanto de institutos de bachillerato como de universidad. Se encargaba de preparar los que salían de España (con ayudas de la JAE) para que su estancia en el extranjero fuera positiva. Además, se relacionaba con los becados a su regreso para que su aprendizaje fuera aprovechado en España. A partir del Instituto se formó en 1931 el *Instituto Nacional de Física y Química* (INFQ). Entre los profesores de Química que estuvieron encargados de la formación están, aparte del ya citado José Casares Gil, Enrique Moles Ormella (1883-1953), José Rodríguez Carracido (1856-1928), y Ángel del Campo y Cerdán (1881-1944). Por esta institución pasaron varios profesores de instituto que después serían catedráticos de universidad como Salvador Velayos (1908-1997), José Estalella (1879-1938) y Andrés León Maroto (1893-1976). A partir de 1930 comenzaría a incorporarse también alguna mujer, como las ya citadas Margarita Comas y Rosa Sensat.

También fue importante la creación en 1903 de la *Sociedad Española de Física y Química* (desde 1928 iría precedida del título de "Real") bajo la presidencia de José Echegaray

Eizaguirre (1832-1916), que comenzó a publicar los *Anales* correspondientes, donde aparecían los trabajos de investigación que se realizaban en el Instituto. Como una gran mayoría de los catedráticos de bachillerato eran miembros de la Sociedad permanecían al día de las nuevas investigaciones.

Se hicieron varios intentos y proyectos sobre la formación pedagógica de los profesores de secundaria. La mayoría pensaban que debía de ser teórica y práctica y que se debía hacer en la universidad, pero esta idea no llegó a cuajar definitivamente. De hecho, la formación la terminaba adquiriendo cada profesor por su cuenta. Algunos pasaban por la escuela normal de maestros y eran maestros de primaria, o al menos habían hecho algunas de las asignaturas de Pedagogía e Historia de la Pedagogía. Se pensó que debería de haber también una escuela normal para profesores de secundaria. Un decreto de 1931 fijaba los planes de estudio de la Sección de Pedagogía en las Facultades de Filosofía y Letras y el año siguiente se creó esta sección en la Universidad de Madrid.

Se siguió con la política de formar algunos profesores enviándolos al extranjero para que conocieran la organización y metodologías de los centros de distintos países, sobre todo ingleses y alemanes, y fueran una buena ayuda para mejorar la enseñanza a su regreso.^[3]

En la formación de los profesores de secundaria fue fundamental el *Instituto Escuela* (1918), dependiente de la JAE, dentro del cual destacaríamos a José Estalella Graells (Figura 2), ya citado anteriormente. Estudió Ciencias Físicoquímicas en la Universidad de Barcelona y se doctoró en 1902 con un trabajo sobre rayos X. En 1900 obtuvo una plaza de ayudante de universidad que dejó en 1905 porque obtuvo cátedra en el Instituto de Gerona. En 1919 consiguió la plaza del *Instituto Escuela* de Madrid, simultaneando su trabajo con la investigación, bajo la dirección de Ángel del Campo. Visitó centros de Italia y Francia.

Para Estalella el profesor debía ser orientador y guía del aprendizaje. Planteaba problemas a grupos de dos o tres alumnos que debían resolver, a veces incluso creando su propio material o, si era necesario, con material del laboratorio. Después, los distintos grupos se juntaban y hacían puestas en común de los resultados. El profesor ampliaba y completaba lo obtenido y los alumnos tenían que recoger los datos y la explicación en su cuaderno. Insistía además en la importancia de la relación de estas



Figura 2. Personajes destacados en la renovación de la enseñanza de ciencias en el siglo xx. De izda. a der.: Bargalló, Sensat i Vila y Estalella

propuestas con hechos de la vida diaria. Opinaba que el bachillerato tenía que ser formativo y no era partidario de los uniformes “ni por fuera ni por dentro”. También pensaba que debía acceder al bachillerato el mayor número de alumnos y para eso el programa tenía que ser flexible y que no esclavizara. Decía: “El principal precepto de nuestra pedagogía se puede resumir en la frase: vitalizar la clase”. En sus ideas hay una clara influencia de las de Cossío. Se opone a las lecciones magistrales y en clase de Química opta por utilizar productos cotidianos como el azúcar o las baterías de los coches. Por motivos familiares tuvo que abandonar el *Instituto Escuela* y le sucedieron Miguel Ángel Catalán Sañudo (1894-1957) y Andrés León Maroto. El primero fue además, desde 1934, catedrático de la Universidad de Madrid y el segundo era catedrático del Instituto de Segovia pero se trasladó a Madrid en 1922 a propuesta de Estalella. Ambos publicaron varios trabajos sobre sus actividades educativas, fundamentalmente de tipo experimental y utilizando material sencillo. Los dos contribuyeron con sus propuestas a la renovación de la enseñanza de Física y Química. Por ejemplo, completaban sus enseñanzas con excursiones en las que combinaban objetivos artísticos y científicos.

Según Catalán Sañudo, los alumnos de primer grado (con aproximadamente 13 años de edad) además de observar tenían que aprender a utilizar los aparatos de medida como pipetas, probetas, buretas y termómetros, para adquirir tanto destrezas manipulativas, como ideas sobre precisión y posibles errores cometidos en la medición.^[3] Algunas de sus propuestas de actividades se recogen en la Tabla 2. El planteamiento de los cursos superiores era diferente. Así, en 5º y 6º cursos de bachillerato los alumnos ya tenían libros y además se procuraba ir aumentando el trabajo en casa. En 5º curso estudiaban los conceptos y nociones básicas que se ampliaban en el curso siguiente. Tenían clases teóricas en las que se explicaban los conceptos y se resolvían problemas, y en las prácticas trabajaban en grupos por los que pasaba el profesor, ayudando y resolviendo preguntas, pero con bastante autonomía por parte de los componentes del grupo. En las clases de Física también trabajó sobre temas concretos cotidianos, como el automóvil o la luz eléctrica.

En 1931 los profesores Catalán Sañudo y León Maroto, siguiendo las nuevas metodologías de otros países y lo que habían ido descubriendo en su enseñanza, optaron por plantear un problema a grupos de dos o tres alumnos sobre el que trabajaban experimentalmente, para luego comparar y discutir los resultados. Con esta metodología, ya citada anteriormente en los planteamientos educativos de Estalella, el profesor actuaba como tutor resolviendo las dudas que se les planteaban a los estudiantes. Un ejemplo de sus enseñanzas, entre otros muchos, consistía en llegar al concepto de densidad midiendo las masas de cubos de distintos materiales (plomo, corcho, parafina, etc.) con el mismo volumen (determinado por el desplazamiento del agua en una probeta al sumergir los cubos).

En la renovación pedagógica de la Química también influyeron las ideas de Margarita Comas, Edmundo Lozano,

Tabla 2. Actividades para realizar con alumnos de primer grado (13 años de edad) propuestas por Catalán Sañudo.^[3]

Actividades para desarrollar la observación	
Observación de objetos: examen de algunas sustancias químicas.	Sal común. Amoníaco. Azufre. Cobre, hierro, plomo, cinc, estaño, magnesio y aluminio.
Observación de cambios.	Combustión y oxidación: elemento activo del aire. Examen de algunos metales: ductilidad, maleabilidad, acción de los ácidos y del agua sobre metales.
Guía para realizar las observaciones	
La observación debe emplear todos los sentidos.	Estado en que se encuentran las sustancias: sólido, líquido o gas. Sólidos: cristalino o amorfo. Transparente. Translúcido. Opaco. Brillo o no. Color. Olor.
Observación a través de la manipulación.	Dureza. Solubilidad. Efecto del calor. Color a la llama.

Vicente Valls y otros profesores relacionados con las escuelas normales o la *Escuela Superior del Magisterio* (creada en 1907 para formar profesores de escuelas normales e inspectores), algunos de los cuales ya hemos indicado por sus aportaciones a la enseñanza primaria. En todo ello jugaron un papel importante publicaciones como *Revista de Escuelas Normales*, *Revista de Pedagogía*, *Revista Faraday* y el ya citado *BILE*. En 1922, en el *Instituto San Isidro* de Madrid, se comenzó a publicar la revista *La Segunda Enseñanza* que terminó siendo un importante medio de expresión de la *Asociación Nacional de Catedráticos de Instituto* en la que aparecieron, por ejemplo, artículos de Estalella relacionados con la simplificación del material escolar de Física y Química.

Con la llegada de la Segunda República se pretendió generalizar estas ideas y, de hecho, las *órdenes de 21 de septiembre y 28 de noviembre de 1932* recomendaban seguir en lo posible las nuevas aportaciones pedagógicas que se extendían en enseñanza primaria y que se centraban en el carácter experimental de las ciencias. El Plan de Villalobos de 1934 decía, por ejemplo, que se le daría a la enseñanza un carácter elemental e intuitivo, sin separar las clases prácticas de las teóricas. Las normas de 1935 sobre la enseñanza cíclica de la Física y la Química en los primeros cursos de bachillerato recogían los principios del *Instituto Escuela de Madrid*. En el segundo ciclo se darían los principios generales de las ciencias y ya se separarían las clases teóricas y prácticas, pero se insistía en la importancia de que los alumnos conocieran las aplicaciones de estos principios a la vida corriente. Se aconsejaba también que se visitaran fábricas en las que se desarrollara algún

proceso físico o químico. El cinematógrafo, además, se indicaba que permitía conocer una industria y su funcionamiento.

Como suele suceder casi siempre en el ámbito educativo español, estas ideas innovadoras tuvieron un alcance limitado y solo llegaron a algunos centros impulsados por profesores concretos. Como ejemplos podríamos citar a: Guillermo Mur (Instituto de Soria), Arturo Martorell (Escuela Normal de Barcelona) y Ramón Trujillo Torres (Instituto de La Laguna).

El material de laboratorio que se encuentra en institutos y escuelas normales de aquella época indica el alto nivel de la enseñanza de Física y Química. Incluimos al respecto algunas imágenes (Figura 3) tomadas del *Museo de Historia de la Educación M. B. Cossío* de la Facultad de Educación de la Universidad Complutense de Madrid.^[13]

LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA ENTRE 1936 Y 1970^[13-16]

Al plan de estudios de Filiberto Villalobos le siguió el de Pedro Sainz Rodríguez (1897-1986) por la *Ley de Reforma de la Segunda Enseñanza* de 1938, en la que se regula un bachillerato que durará hasta 1953. En esta ley se establecían siete bloques de materias: Religión y Filosofía; Lenguas clásicas; Lengua y Literatura españolas; Geografía e Historia; Matemáticas; Lenguas modernas (dos idiomas); y Cosmología. En este último se incluían Física, Química y Ciencias Naturales. A lo largo de los siete cursos había dos horas semanales de Ciencias Naturales. En cuarto y quinto cursos se llamaban *Elementos de Físico-Química* y, en los dos últimos, *Revisión de los Elementos de Físico-Química* y Ciencias Naturales.^[14]

Sainz Rodríguez solo fue ministro unos meses, porque pronto discrepó de la política de Franco. Creó el *Instituto de España* que incluía todas las academias y centros de in-

vestigación y heredaba las instalaciones e instituciones relacionadas con investigación (como la JAE). Aunque esbozó un plan para crear el CSIC, no lo llevó a cabo porque fue desbancado por José Ibáñez Martín (1896-1969), que sería ministro entre 1939 y 1951, y José María Albareda Herrera (1902-1966), que ocuparía la secretaría del CSIC hasta su muerte.

Tabla 3. Planes de enseñanza durante el franquismo

Año	Ministro	Características
1938	Pedro Sainz Rodríguez	Examen de ingreso a los 10 años. Bachillerato de 7 cursos y examen de estado.
1953	Joaquín Ruiz Jiménez	Bachillerato elemental de 4 cursos. Bachillerato superior de 2 cursos. Curso preuniversitario. 2 reválidas y un examen de la Universidad.
1957	Jesús Rubio y García-Mina	Unidades didácticas de 90 minutos. Prohibición de deberes en casa.
1970	José Luis Villar Palasí	8 cursos de educación general básica (EGB). 3 cursos de bachillerato unificado polivalente (BUP). Formación profesional. Curso de orientación universitaria (COU). Creación de los ICEs.

La primera etapa el bachillerato era una enseñanza secundaria de élite para alumnos de gran capacidad intelectual que quisieran ir a la universidad. A veces se ha dicho “de gran capacidad económica”, pero no es totalmente cierto; tenemos infinidad de ejemplos de hijos de obreros que, con gran esfuerzo, se costearon la enseñanza trabajando y llegaron a catedráticos de instituto o de universidad. Tenía el inconveniente de que no había una enseñanza secundaria generalizada para el resto de los alumnos, que seguían en la escuela primaria o iban a centros específicos (sobre todo las alumnas) a “educarse” de otro modo; por ejemplo, formándose en todo tipo de labores, música, etc.

Durante los primeros años después de la guerra, y entre la represión, y tantos profesores desaparecidos y encarcelados, la enseñanza quedó bastante dismantelada. En todo caso, del *Instituto Escuela* de Madrid habían salido ya bastantes catedráticos, algunos de los cuales permanecieron y lo mismo sucedió con la *Escuela Superior del Magisterio*, lo que se dejó notar aunque solo fuera en pequeños reductos. A partir de 1953 se abre en el ámbito educativo una nueva etapa menos rígida y más abierta al exterior, que empieza con el ministro Joaquín Ruiz Jiménez (1913-2009). Se llega a acuerdos con Estados Unidos y remite

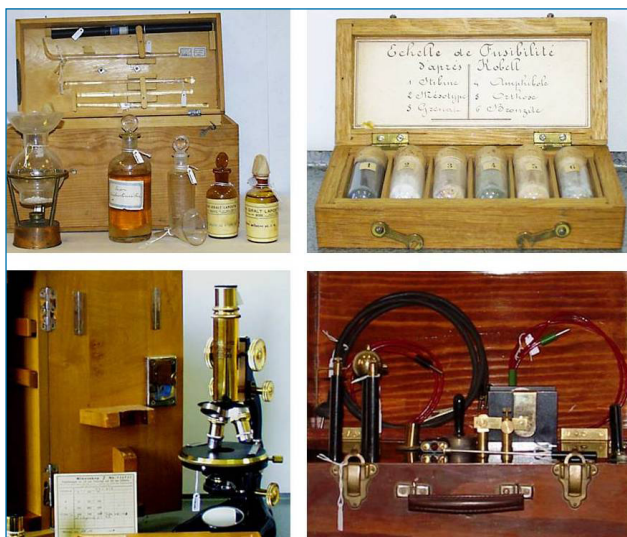


Figura 3. Imágenes de material educativo del primer tercio del siglo xx tomadas del Museo de Historia de la Educación M. B. Cossío (Universidad Complutense de Madrid)

algo la ideología política. En una nueva ley, promulgada por Ruiz Jiménez, se distinguen dos niveles de bachillerato (elemental y superior), con una reválida al terminar cada uno de ellos. El nivel elemental (cuatro cursos) se debería dedicar a conocimientos instrumentales, mientras que el superior (dos cursos), debería ser más formativo. Se considera fundamental el sistema de perfeccionamiento del profesorado y conseguir “mayores y mejores” medios educativos. Además, se reconoce ya de forma incipiente la participación de padres de alumnos. En el grado elemental habrá asignaturas de Física y Química y de Ciencias Naturales. En el grado superior estas asignaturas serían propias de la opción científica.

Los centros docentes sólo podrían utilizar los libros de texto aprobados por el Ministerio después de oír el Consejo Nacional sobre el contenido y el precio. Entre los aprobados se podrían escoger los que quisiera cada centro, y el Ministerio premiaría a los mejores.

Se crea un Gabinete Técnico, encargado de recoger la experiencia de los educadores para mejorar la enseñanza, para lo que se contaba con distinto tipo de material como películas, diapositivas, discos, etc., agrupados por materias para ponerlos a disposición de los profesores. Además, dicho gabinete asesoraría sobre viajes de estudio, crearía bibliotecas, y fomentaría el progreso docente.

En los artículos 38 y 39 de la ley se preveía la creación de centros especiales de formación de tipo experimental para ensayar nuevos planes y métodos educativos y didácticos, con el fin de mejorar la enseñanza media y de preparar al profesorado pedagógicamente. Se alude constantemente a la necesidad de la formación pedagógica que se exigiría, además de la científica, en las oposiciones a las plazas de profesores. De hecho, se exigía haber dado clase al menos durante un curso o tener aprobado magisterio o unas asignaturas de la Facultad de Pedagogía. Al referirse a la inspección se cita su función asesora, aunque en la práctica muy pocas veces se ejerció.

Al plan de 1953 le siguió el de 1957 de Jesús Rubio (1908-1976), que lo justifica con la finalidad de disminuir el número de asignaturas, para corregir los defectos del anterior. Crea unidades didácticas de hora y media de duración de las que solamente tres cuartos de hora serán de clase y el resto se dedicaría a los ejercicios, quedando prohibido poner deberes para casa. Estos largos períodos de hora y media no se utilizaron de acuerdo con la idea del legislador y pronto fue necesario volver a períodos más cortos de 50 minutos. Había 6 unidades didácticas semanales de Física y Química en 4º curso, 4 horas de Física en 5º curso y 4 de Física en 6º curso. De estas, al menos una debía de ser de trabajo de tipo experimental. Pero, con mucha frecuencia, la legislación no se cumplió en este aspecto.

Paralelamente, existía desde 1949 un bachillerato laboral o técnico que se aprobó con la *Ley de Bases de la Enseñanza Media y Profesional*, que consistía en un año de carácter formativo y cuatro de especialización profesional. En 1956 cambia la formación profesional, se establece un bachillerato elemental de cinco años y otro superior de siete, y se

crean los estudios nocturnos. Por fin, en 1967 se unifica la enseñanza media y se deja un único bachillerato elemental que permitirá el acceso a todas las modalidades de formación superior, ya sean los bachilleratos de distintas especialidades o a la formación profesional.

En los años sesenta se dieron becas para la formación de profesores de educación secundaria. Cada beca duraba un curso y el becario debía asistir a las clases de un catedrático de Física y Química de un instituto que era su tutor, colaborar en la preparación de experimentos, corregir trabajos, e impartir algunas clases. También debía colaborar con el director del instituto en las tareas que le encomendara. Próximo al final de curso tenía que explicar una lección de Física o de Química delante de un inspector. Fue una buena idea que funcionó de forma adecuada cuando los tutores eran responsables.

Con la ley de Villar Palasí de 1970 se da un vuelco total a la enseñanza; la primaria se convierte en educación general básica (EGB) con ocho cursos, de los que los tres últimos también podían ser impartidos por maestros. De esta forma, la educación se hace obligatoria hasta los 14 años. Entre las materias había Física en 7º curso y Química en 8º curso. El gran problema fue que los maestros no estaban preparados y se intentó darles los conocimientos científicos con unos cursillos hasta que los hubiera con especialidades.

En todos estos cambios de planes quizás los peor parados han sido los maestros y, sobre todo, su formación en contenidos científicos. Desde un plan formativo en 1950 de tres cursos al que accedían con cuatro años de bachillerato y tenían 3 horas semanales de Física en segundo curso y otras 3 de Química en tercero pasaron, con el ministro Lora Tamayo, al plan de 1967, al que accedían después de aprobar la reválida de sexto y solo tenían dos horas semanales de *Didáctica de Física y Química* en segundo curso. Se decía que los conocimientos de estas materias los adquirirían en el bachillerato, lo cual era una falacia porque la mayoría eran bachilleres de Letras. Pensando en los cursos de 6º a 8º de EGB las escuelas de magisterio pasaron a ser escuelas universitarias y formaban a los profesores de EGB en Ciencias, Ciencias Humanas, Filología (Inglés o Francés), Educación Preescolar y Educación Especial (orden de junio de 1967). Cuando estos nuevos profesores llegaron a las escuelas, se notó una mejoría en las clases de Química, porque habían tenido un curso entero de esta materia y además una asignatura de didáctica de las Ciencias, de forma que su preparación era aceptable. Pero con la aprobación de la LOGSE vuelven a caer a mínimos las enseñanzas de contenidos científicos.

Un inconveniente a partir de ese momento fue la utilización masiva de las famosas “fichas” para trabajar los alumnos. Quizá aquí quepa reflexionar sobre la utilización de métodos que en su día son considerados innovadores por ciertos grupos de profesores y pedagogos, pero que se aplican en la práctica con dificultad. Para los profesores, esa etapa supuso una cierta “burocratización” de las enseñanzas, problema que aún sigue y parece que se va extendiendo a todos los niveles educativos. Ningún profe-

sor responsable va a la clase sin tener muy bien pensado lo que va a hacer, pero exigir unas programaciones oficiales exhaustivas creemos que no soluciona la problemática educativa porque es difícil que dichas programaciones se puedan cumplir y se pierde mucho tiempo haciéndolas o copiándolas.

Como aspecto positivo, la ley de 1970 crea los *Institutos de Ciencias de Educación* (ICE), dependientes de las universidades y encargados de formar pedagógicamente y mantener informados a los profesores de secundaria, mientras que las escuelas de profesorado de EGB se encargarán de los de primaria.

Por otra parte, en 1939 se había creado el *Instituto Torres Quevedo de Material Científico*, dependiente del CSIC, que pronto pasó a llamarse *Instituto de Física Aplicada Leonardo Torres Quevedo de Instrumental Científico*. Su primer director fue Juan María Torroja y Miret (1859-1979) y la finalidad era fabricar todos los aparatos y material necesario para la enseñanza y la investigación. En 1951, cuando se firmó el pacto con Estados Unidos, se hizo cargo como científico Lora Tamayo. José María Otero Navascués (1907-1983) fue nombrado en 1946 encargado del *Instituto de Óptica*. Fue también consejero delegado de la *Empresa Nacional de Óptica* (ENOSA), fabricante de famosos equipos de enseñanza de Física y Química para niveles preuniversitarios. Navascués había estado becado en Alemania para formarse en los talleres Zeiss y esos talleres siguieron asesorando la fabricación de materiales científicos.

Entre el material que se envió a la mayoría de los centros no universitarios (públicos y bastantes privados) destaca un “armario”, procedente del *Instituto Torres Quevedo*, con material que permitía montar la mayoría de los experimentos de Física para bachillerato y los equipos de ENOSA para dos niveles (primaria y secundaria) de Mecánica, Electricidad, Óptica, Termodinámica y Química. Lamentablemente, en muchos centros no se llegaron a abrir pero en otros, en los que había profesores con interés y bien formados, le sacaron el partido suficiente como para hacer distintos tipos de experimentos, que los alumnos valoraban muy positivamente y les servían para entender lo que se les explicaba teóricamente. ENOSA también montó otro tipo de aparatos como proyectores, rectificadores de corriente, etc., que comenzaron a enviarse a los centros sobre 1963.^[16-17]

En la primera etapa de aplicación de la ley de 1970 tienen gran importancia las publicaciones del *Instituto de Estudios Pedagógicos Somosaguas* (IEPS) que había nacido en 1969. Fue uno de los promotores de las ya citadas fichas, y de otras publicaciones interesantes (*Apuntes del IEPS*) relacionadas con la Química y la utilización de su historia como base para la enseñanza. En esta época tuvo importancia la revista *Bachillerato* que dependía de la *Dirección General de Enseñanzas Medias* y editaba el *Servicio de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia*. Siempre tenía una sección dedicada a Física y Química e incluso publicó algún monográfico sobre estas materias. En EGB eran conocidos los *Apuntes de Educación* que enviaba gratuitamente Ediciones Anaya, dedicados a la enseñanza de

ciencias o de otras disciplinas y que tenían gran aceptación en los centros de primaria.

ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA DESDE LA LEY DE 1984 HASTA LA ACTUALIDAD^[15-22]

A partir de 1984 sigue el ritmo vertiginoso de cambios en la legislación, como se puede ver en la Tabla 4.

Tabla 4. Planes de enseñanza desde 1984 hasta la actualidad

Año	Ministro	Características
1984	José María Maravall Herrero	Centros de profesorado (CEP).
1985 (LODE)	José María Maravall Herrero	Principios generales de ordenación educativa.
1990 (LOGSE)	Francisco Javier Solana de Madariaga	Educación primaria de 6 cursos. Educación secundaria obligatoria (ESO) de 4 cursos. Bachillerato de 2 cursos.
2002 (LOCE)	Pilar del Castillo Vera	No se llegó a aplicar.
2006 (LOE)	Ángel Gabilondo Pujol	Cambios mínimos en la estructura.
2013 (LOMCE)	José Ignacio Wert Ortega	Pruebas externas comunes en toda España al final de ESO y de bachillerato.
2016	Íñigo Méndez de Vigo y Montojo	Se especifican las pruebas finales de ESO y de bachillerato.

La LOGSE (1990) supuso un cambio fundamental, al reducir la enseñanza primaria a 6 cursos e implantar la ESO (Educación Secundaria Obligatoria) de 4 cursos y 2 años de bachillerato. De esta forma, la enseñanza se hace obligatoria, única y gratuita hasta los 16 años de edad, mientras que el bachillerato queda reducido a dos años. Extendió y democratizó la enseñanza, pero salió muy mal parado el bachillerato.

Por otra parte, nuevos cambios en 1991 en los estudios de magisterio hacen que la formación en Química, como, en general, los contenidos de la mayoría de las materias, prácticamente desaparezca. Sus especialidades pasan a ser siete: Audición y Lenguaje, Educación Infantil, Educación Primaria, Lengua Extranjera, Educación Física, Música, y Pedagogía Terapéutica. Tanta especialización fue un desastre en muchos casos porque, en la práctica, los profesores de cualquier especialidad, al llegar a los

colegios de primaria, tenían que impartir todas las materias. En 2007, salió una nueva ley que dejó las especialidades de magisterio reducidas a Infantil y Primaria y aumentó el número de créditos de las materias psicopedagógicas. Estos dos cambios de 1991 y 2007 supusieron que la formación en Física y Química de los maestros quedara reducida a mínimos, cuando para explicar contenidos de 5º y 6º cursos de primaria sería necesario que tuvieran conceptos bastante claros.

Con relación a la formación pedagógica del profesorado de secundaria se exigió para opositar en su día poseer el *Certificado de Aptitud Pedagógica* (CAP) impartido por los ICEs. Un nuevo cambio posterior, más reciente, exige que, en la actualidad, cualquier profesor para trabajar (lo mismo en la enseñanza pública que en la privada) debe tener el *Máster de Formación de Profesorado de Educación Secundaria*, en la especialidad (como la de Física y Química) que impartirá clase. La formación continua quedó desligada de los ICE (Universidad) cuando se crearon los CEP, ya citados, dependientes de las direcciones provinciales de Educación.

Los ICE, creados por la ley de 1970 en las universidades para formar y poner al día a los profesores, han sido fundamentales en la enseñanza de las ciencias. Entre los más famosos podríamos citar los de las Universidades de Valencia, Autónoma de Barcelona y Politécnica de Madrid. Algunos, como el de la Universidad Autónoma de Madrid, se distinguieron por tener en su biblioteca suscripciones a revistas tanto españolas como extranjeras relacionadas con la enseñanza de las ciencias, así como buen número de libros sobre el tema. En casi todos los ICE ha habido grupos de profesores que han colaborado para mejorar la enseñanza de la Física y la Química y la mayoría de ellos han publicado documentos didácticos que han servido para impulsar la enseñanza experimental de estas materias.

En 1983, nació en el ICE de la Autónoma de Barcelona la revista *Enseñanza de las Ciencias*, que en la actualidad llega al volumen 34. Ha sido un medio fundamental de difusión de medios, métodos e investigaciones educación, sobre todo en niveles no universitarios. Entre los promotores de esta publicación podríamos citar a Berta Gutiérrez Reñón, de dicha Universidad, y a Daniel Gil Pérez y Carlos Furió Mas, del ICE de la Universidad de Valencia. Unos años más tarde se instituyen los congresos sobre Didáctica de las Ciencias que se van organizando cada dos años en diferentes puntos de la geografía española. Son foros de encuentro y discusión que permiten intercambiar opiniones sobre temas actuales del área.

Simultáneamente nació en Valencia, por iniciativa del profesor José Sánchez Real (1918-2008), de la *Escuela Universitaria de Formación de Profesorado de EGB*, una colección de cuadernos de Física y Química. Además, el profesor Sánchez Real comenzó haciendo en Andalucía unos *Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, de inscripción gratuita, publicándose los trabajos presentados. Una vez que pasaron por las capitales andaluzas se fueron extendiendo a toda España.

Posteriormente, la Editorial Graó publica desde 1994 la revista *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, que en la actualidad llega al número 85, y libros relacionados con la enseñanza de las distintas ciencias. Desde hace dos décadas la revista *Anales de Química de la Real Sociedad Española de Química* se ha convertido en una publicación dedicada a la divulgación con diferentes secciones sobre temas de actualidad, historia y enseñanza de la Química que está teniendo bastante éxito entre profesores de Química de enseñanza media y universidad. En estos últimos años han surgido otra serie de revistas como la *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* de la Universidad de Vigo, y la revista *Eureka: Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* de la Universidad de Cádiz. También cabe citar la creación, en 2008, de la revista especializada *Educació Química*, editada por la *Societat Catalana de Química* bajo la dirección de los profesores Fina Guitart y Aureli Caamaño.

Los proyectos de enseñanza de la Química planteados sobre los años sesenta, como el *CBA (Chemical Bond Approach)*, el *CHEM (Chemical Education Material Study)*, y el *Nuffield Science Teaching Project*, llegaron a España traducidos sobre los años setenta y sirvieron de base para otros proyectos que surgieron de la mano del grupo *Recerca Faraday*. Se fueron enfocando hacia el constructivismo, ciencia de los procesos, ciencia integrada, y ciencia con orientación CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad). A partir de los años 90 y con la llegada de la LOGSE nos encontramos con varios proyectos curriculares como *Investigando Nuestro Mundo* (6-12 años), *Ciencias de la Naturaleza en ESO* (Grupo Axarquía), *ACES (Aprendiendo Ciencias en Secundaria)*, etc. También se pusieron en marcha, sobre todo en Cataluña y Valencia, proyectos europeos como *Salters: Química en Contexto (Chemistry Exploring Science)*. Una amplia información sobre este tema se puede encontrar en los artículos de Caamaño.^[18-21]

El alcance de estos proyectos en muchos casos es muy limitado, dado que se necesitan profesores que verdaderamente sean capaces de entender y seguir su filosofía y que estén muy familiarizados con ellos para que tengan éxito. Por otra parte, varios de estos proyectos solían estar escorados en un sentido (solo experimentos, solo método científico, únicamente constructivismo...) y como el método "ideal" no existe, y además hay gran variedad de alumnos, a veces es necesario combinar diversas metodologías y no aplicar solo una muy específica. En todo caso, han servido para dinamizar la labor docente, favorecer la acción de profesores activos y actualizar la tarea educativa. A juicio de los autores de este trabajo, el profesorado debe conocer muy bien la materia que imparte, tener conocimiento de los distintos métodos, medios y técnicas que existen, tener presentes los alumnos a los que se va a dirigir y ser lo suficientemente efectivo como para buscar lo más adecuado en cada momento. Y para todo esto, contar con experiencias y propuestas de otros colegas es esencial.

A modo de ejemplo, sobre los años ochenta, el Ministerio de Educación envió a los centros un aparato retro-

proyector que se utilizó para visualizar experimentos de Química. Los alumnos, en cierto modo, podían participar activamente y observar los cambios que se iban produciendo para discutirlos posteriormente y buscar la explicación científica de lo que allí había ocurrido. Era mejor que los experimentos de cátedra porque era más fácil que todos los alumnos estuvieran en condiciones de poder observar bien lo que ocurría.

Tras la separación en 1980 de las dos *Reales Sociedades Españolas de Física y de Química*, el profesor Salvador Senent, catedrático de Química Física de la UNED, muy preocupado por la enseñanza, impulsó (en 1986) la creación de un grupo especializado que perteneciera a la vez a las dos, con el nombre de *Didáctica e Historia de la Física y la Química*. En dicho grupo se han integrado profesores de educación secundaria y bachillerato que trabajaban en las dos materias, así como profesorado universitario (tanto de distintas áreas de Química como de la Didáctica de las Ciencias Experimentales). En varios eventos, como las reuniones bienales de ambas sociedades, vienen celebrando simposios relacionados con didáctica, divulgación e historia de estas materias. Entre otras iniciativas, el grupo convoca un premio cada dos años dirigido a trabajos relacionados con estos temas, con gran éxito de participación.

También han tenido interés en la promoción de la Química en bachillerato la celebración de Olimpiadas, que comenzaron promovidas por la *Asociación Nacional de Químicos de España* (ANQUE) en Castilla-La Mancha. Posteriormente, se incorporó a la organización la *Real Sociedad Española de Química*. A partir de 1996, España comenzó a participar con pleno derecho en las Olimpiadas Internacionales. No solo han sido un gran acicate para muchos profesores de bachillerato, sino que han servido para promover un mayor contacto entre profesores de distintas etapas educativas, para que los alumnos que tenían los premios se desplazaran a otras universidades y se relacionaran con otros compañeros, y para que los que asistían a las internacionales compartieran inquietudes con alumnos de múltiples países.^[22]

Las nuevas tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en la enseñanza de la Química, como en otras áreas, han supuesto avances importantes con relación a la adquisición de la información y a la posibilidad de comunicación. Con frecuencia se han utilizado para simular experimentos, realizar modelos (desde moléculas a procesos), visualizar vídeos, ofrecer nuevos entornos de aprendizaje, etc. Las páginas web, los correos electrónicos y las nuevas aplicaciones han sido y son un importante medio de comunicación entre profesores y alumnos.

Entre otras características, si se tuviera que resumir el estado en el que se encuentra la enseñanza de la Química en etapas no universitarias en la actualidad en España, se podría decir que hay un entorno variado y complejo, tanto de alumnos como de centros educativos, con una variedad inmensa de recursos educativos, especialmente en el ámbito de las TIC. También las metodologías son muy variadas (desde la clase más expositiva tradicional al

modelo de *flipped classroom* o clase invertida, trabajo en equipos de profesores y comunidades de aprendizaje, proyectos transversales y contextualizados, técnicas de gamificación...). Todo ello debe articularse además en entornos legislativos cambiantes, tanto a nivel estatal como autonómico (dadas las transferencias en el campo de la educación), con retos importantes, como el nuevo modelo de enseñanza basado en la adquisición de competencias y su evaluación.

CONCLUSIONES

Existe un clamor extendido en la sociedad española, en el sentido de consensuar un gran pacto por la educación, que la dote de un sistema estable y suficientemente flexible para amoldarse a nuevos tiempos. Obviamente, no es tarea sencilla, por la disparidad de pareceres de partidos políticos y otros colectivos, por las distintas administraciones implicadas y, por el propio hecho de que un nuevo cambio, aunque fuera consensuado, implicaría, de nuevo, más “cambio sobre el cambio”.

En los sucesivos avatares legislativos se ha ido abriendo la enseñanza a capas más numerosas de la sociedad, lo cual es bueno *per se* pero, al mismo tiempo, se debería de haber cuidado más el bachillerato, que ha quedado “en mínimos”. De algún modo, el 4º curso de ESO debería ser el primero curso de un nuevo bachillerato.

En un vídeo de la Universidad de Salamanca, titulado *El Templo de la Fama* se dice: “entender es áspero, la sed del hombre, saber es ser libre”. Quizá uno de los mayores problemas de la enseñanza en las últimas décadas es que se ha extendido entre alumnos, profesores y padres, la idea de que se puede “aprender sin esfuerzo”. Este año de olimpiadas deportivas (Río de Janeiro, 2016) hemos oído como el entrenamiento constante es imprescindible para llegar a la cima y hemos visto la alegría de los que están en el podio, así como la satisfacción de los participantes por el trabajo previo realizado.

Un buen profesor siempre puede hacer bueno un mal plan de estudios. Por eso será muy importante seleccionar profesores muy bien formados y entusiastas de su profesión. De algún modo, se deberían mantener las ideas de la JAE, favoreciendo la comunicación entre las distintas etapas educativas y la posibilidad de formarse en centros de referencia tanto de España como de otros países.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Sevilla Merino, *La Ley Moyano y el desarrollo de la educación en España, Ethos Educativo: Revista Cuatrimestral de Educación - OEI*, **2007**, *40*, 110-122.
- [2] M. de Unamuno, *De la enseñanza superior en España*, Revista Nueva, **1899**, 41.
- [3] J. D. López Martínez, *La enseñanza de la Física y Química en la educación secundaria en el primer tercio del siglo XX en España*, Tesis Doctoral, Universidad de Murcia, **1999**.

- [4] M. de Puelles Benítez, *Las grandes leyes educativas de los últimos doscientos años*, UNED, *CEE Participación Educativa*, **2008**, 7, 7-15.
- [5] A. Jiménez Landi, *Breve historia de la Institución Libre de Enseñanza (1896-1939)*, Tébar, **2010**.
- [6] E. Otero Urtaza, *Manuel Bartolomé Cossío: Pensamiento Pedagógico y Acción Educativa*, Centro de Publicaciones del Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid, **1994**.
- [7] J. M. Bernal Martínez, J. D. López, *Revista de Educación, número extraordinario*, **2007**, 215-239.
- [8] Á. García del Dujo, El Museo Pedagógico Nacional y las corrientes pedagógicas contemporáneas. *Historia de la Educación*, **2010**: <http://bit.ly/2d1V4Gz>, visitada el 21/09/2016.
- [9] C. Monzón Pinilla, A. Usón Jaeger, *Revista Complutense de Educación*, **1997**, 8(1), 271-289.
- [10] J. Damián López Martínez, J. M. Bernal Martínez, *Los primeros pasos en la construcción de la Didáctica de Ciencias Experimentales: el pensamiento educativo de José Estalella Graells*, en M. Martín Sánchez, J. G. Morcillo Ortega (eds.), *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias experimentales*, Actas de los XIX Encuentros en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Madrid, **2000**, 426-435.
- [11] L. González de la Lastra, V. J. Fernández Burgueño *El Instituto San Isidro: Saber y patrimonio apuntes para la historia*, CSIC, Madrid, **2013**.
- [12] R. Cuesta, A. Molpeceres, *Retazos, memorias y relatos del bachillerato (1931-2009)*, **2010**, IES Fray Luis de León (Salamanca): <http://bit.ly/2d1VHQG>, visitada el 21/09/2016.
- [13] Universidad Complutense de Madrid. Inventario de la colección de instrumentos para la Didáctica de las Ciencias Experimentales: <http://bit.ly/2cxRvHo>, visitada el 21/09/2016.
- [14] J. A. Lorenzo Vicente, *Hist. Educ.: Revista Interuniversitaria*, **1998**, 17, 71-88.
- [15] C. Torres Albero, *Revista de Educación*, **1988**, 286, 245-279.
- [16] M. Fernández González, J. Sánchez Tallón, *Enseñanza de las Ciencias*, **2013**, 31(2), 231-249.
- [17] A. Presas i Puig, *La inmediata posguerra y la relación científica y técnica con Alemania*, en A. Romero, M. J. Santemas (eds.) *Un siglo de política científica en España*, Fundación BBVA, Madrid, **2008**, 174-209.
- [18] A. Caamaño, *Ciencia y Educación*, **2016**, n° 3, 1-12
- [19] A. Caamaño, *Enseñanza de las Ciencias*, **1988**, 6(3), 265-277
- [20] A. Caamaño *Alambique*, **1994**, 1, 8-20.
- [21] A. Caamaño, *Alambique*, **2006**, 48, 10-24.
- [22] M. T. Martín, M. Martín, *Química e Industria*, **2000**, 513, 576-578.

Submit to your society's journals
www.chempubsoc.eu



¿Qué tiene que ver la piezoelectricidad con la inteligencia?

Pilar Amo-Ochoa

Resumen: ¿Sabe lo que son los Materiales Inteligentes?. Si desconoce su existencia, no sabrá cómo se mejoran las prestaciones de su vehículo, no elegirá alimentos más frescos, o no escogerá el material adecuado para su escalada del fin de semana. En este artículo de divulgación científica se describe de forma general el significado de estos materiales, también llamados estímulo-respuesta y, algunas de sus interesantes aplicaciones como sensores en campos como el de seguridad, energía o detección de compuestos orgánicos volátiles.

Palabras clave: Materiales Inteligentes; Estimulo Respuesta; Química.

Abstract: Do you know what are the Smart Materials?. If unaware of their existence, you will not know how the performance of your vehicle are improved, you will not choose more fresh foods, or you will not choose the right material for climbing weekend. In this scientific dissemination article, the meaning of these also called stimulus response materials is described in a generalist way. Also some of their interesting applications as sensors in areas such as security, energy or volatile organic compounds detection are described.

Keywords: Smart Materials; Stimulus Response; Chemistry.

INTRODUCCIÓN

El concepto de *inteligencia*, estudiado desde hace décadas, es diverso y controvertido. En este artículo no pretendemos adentrarnos en un terreno pedregoso, pero sí, somos conscientes de que esa palabra tiene importancia social y científica. De forma somera se dice que la *inteligencia* es la capacidad de pensar, entender, razonar, asimilar, elaborar información y emplear el uso de la lógica y parece además estar ligada con la “capacidad de recibir información”. Entre otras cosas nos permite elegir para resolver un problema.^[1,2] Pero la naturaleza nos muestra que la *inteligencia* es también una cuestión de grado; podemos encontrar rasgos inteligentes en aquellas situaciones en el que el ecosistema alberga sistemas biológicos capaces de ahorrar energía frente a otras alternativas más costosas o en el hecho de encontrar el camino más corto entre dos puntos. Esta capacidad de elegir es una muestra de que se está aplicando algún tipo de lógica, cuyo procesamiento da evidencias de un grado de *inteligencia*. Encontrar el camino más corto entre dos puntos de un

laberinto lo realizan unos organismos unicelulares con múltiples núcleos llamados plasmoides^[3] y es el mejor ejemplo de procesamiento de información sin poseer un sistema nervioso.

La controversia sobre la *inteligencia* deriva hacia la idea de si la “inteligencia humana” contiene algún aspecto que la diferencie de forma cualitativa de las demás especies. Sólo a partir de Darwin hemos comprendido que no somos la *especie elegida*, sino una especie única entre otras muchas especies únicas.

Hace 135 años, los hermanos Curie, apasionados de la cristalografía e individuos inteligentes (J. Curie, fue premio Nobel de Física en el año 1904),^[4] se dedicaban a ejercer presión sobre un mineral llamado cuarzo (Figura 1). Al someterlo a la acción mecánica de la compresión, observaron la aparición de chispas que atribuyeron a una separación de las cargas de la materia. Decidieron entonces, como era habitual en aquella época, utilizar la terminología griega para definir ese fenómeno escogiendo el término *piezein*, “estrujar o apretar” del que derivó la “piezoelectricidad”. Este fenómeno ya de por sí interesante, lo fue aún más cuando después de concienzudos estudios, vieron que igualmente se producía a la inversa: el cuarzo se deformaba físicamente al ser sometido a un campo eléctrico. Es decir, el efecto piezoeléctrico es normalmente reversible: al dejar de someter a los cristales a un voltaje exterior o campo eléctrico, recuperan su forma. La piezoelectricidad se produce en todos aquellos materiales que carecen de centro de simetría.



P. Amo-Ochoa

Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias,
Departamento de Química Inorgánica, C-7
Ciudad Universitaria de Cantoblanco, 28049, Madrid
C-e: pilar.amo@uam.es

Recibido: 14/10/2016. Aceptado: 07/11/2016.

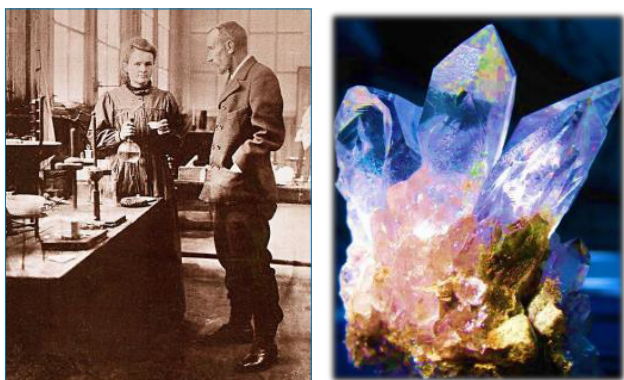


Figura 1. Imagen de Pierre y Marie Curie (izquierda); Cuarzo como ejemplo de material piezoeléctrico (derecha)

Una propiedad tan interesante no pasó demasiado tiempo desapercibida y en la primera guerra mundial se descubrió que las ondas sonoras producidas por los submarinos podían ser detectadas por un trozo de cuarzo sumergido en el agua. En él, se medían las corrientes generadas pudiéndose detectar de qué dirección venía el sonido. Esto dio lugar a la invención del sonar (transformar una señal mecánica (la presión) en una señal eléctrica (corriente eléctrica)). Menos bélico es su uso en sensores de vibración por ejemplo para detectar terremotos o en rascacielos. Y para los amantes de la música tenemos las pastillas piezoeléctricas de guitarra, basta con conectar un cable eléctrico a cada una de las caras del cristal y enviar esta señal hacia un amplificador. Otra de sus grandes y no menos importantes aplicaciones ha sido en los encendedores, que en su interior llevan un cristal piezoeléctrico que es golpeado de forma brusca por el mecanismo de encendido. Este golpe seco provoca una elevada concentración de carga eléctrica, capaz de crear un arco voltaico o chispa que encenderá el mechero.

¿QUÉ TIENE QUE VER LA PIEZOELECTRICIDAD CON LA INTELIGENCIA?

Desde ese descubrimiento los científicos han trabajado en la creación de materiales que responden a estímulos del entorno es decir, a señales que son capaces de provocar un cambio o una reacción en los materiales y lo hacen de una forma útil, reproducible, exacta y reversible. Estos materiales se han denominado *inteligentes* por su capacidad de responder a estos estímulos externos.^[5] Podemos ver que hay cientos de estímulos diferentes asociados a cientos de respuestas distintas y que, por lo tanto, deberían existir cientos de materiales Estímulo-Respuesta con cientos de posibles aplicaciones diferentes. Solo hay que buscarlos...

Desde un punto de vista científico, los estímulos pueden ser físicos como la temperatura, la presión la electricidad o químicos, como disolventes, cambios de pH etc., y las repuestas pueden ser a su vez muy variadas con posibilidad de cambiar su forma, su color, su textura, etc. (Figura 2).

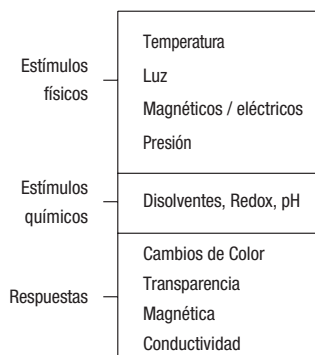


Figura 2. Ejemplos de algunos tipos de estímulos (físicos y químicos) y algunos tipos de respuestas

DISCUSIÓN. AVANCES DESDE EL AÑO 1881

En 1938 *Arne Olande*^[6] descubrió el primer material (una aleación metálica de oro y cadmio) que tenía la capacidad de “recordar” su forma cuando era calentado. 25 años más tarde W. J. Buehler y *et al.*, del laboratorio Naval de Ordinance (EE. UU.)^[7,8] descubrieron una nueva aleación a la que llamaron *NiTiNOL* (*Níquel, Titanio, Naval Ordinance Lab*). Así apareció una familia de materiales con *Memoria de Forma* que se deforman de forma controlada al alcanzar cierta temperatura. Desde el punto de vista científico presentan varias fases estables y reversibles a distintas temperaturas^[7] (Figura 3).

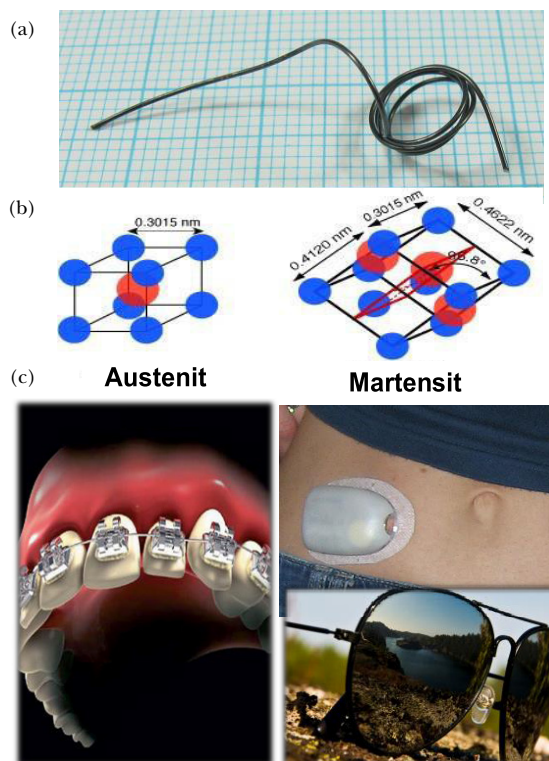


Figura 3. Material con memoria de forma, El NiTiNol (a); fases estables del NiTiNol (b); Algunas de sus posible aplicaciones (c)



Figura 4. La revolución de los materiales inteligentes estímulo- respuesta de los últimos 50 años

Gracias a estos descubrimientos, los diabéticos cuentan con un pequeño dispositivo dispensador de insulina que utiliza un diminuto trozo de NiTiNol el cual se deforma con la aplicación de electricidad, permitiendo la adición de insulina de forma controlada, posibilitando un estilo de vida un poco más cómodo, y lo mismo podemos decir de los ortodoncistas, de los enfermos de arterioesclerosis, mencionando solamente algunas de sus aplicaciones (Figura 3c).

En los últimos 50 años esta búsqueda se ha convertido en una verdadera revolución y podríamos estar hablando de: “¿Quiere usted un material inteligente? Nosotros le diseñamos uno”, o “Ponga un material inteligente en su vida” (Figura 4).

En la actualidad cada vez es más fácil encontrar un material que presenta una respuesta frente un estímulo determinado. Como decíamos, tenemos un amplio cartel de posibilidades (Tabla 1).^[9]

Tabla 1. Materiales clasificados en función del estímulo y la respuesta emitida

Respuesta	Eléctrica	Magnética	Óptica	Térmica	Mecánica
Estímulo					
Eléctrico			Electrocromico Electroluminescente Electro-óptico	Termoelectrico	Piezoeléctrico Electrostrictivo ER Fluids
Magnético			Magneto-óptico		Fluidos MR
Óptico	Fotoconductor		Fotocromico		
Térmico			Termocromico Termoluminescente		Memoria de Forma
Mecánico	Piezoeléctrico Electrostrictivo	Magnetostrictivo	Mecanocromico		Poisson Negativo

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN AUTOMOCIÓN

Para mejorar las prestaciones de los vehículos la ciencia de los materiales presenta una posible solución basada en los “**Fluidos Magnetoreológicos**”,^[10] materiales inteligentes en suspensión de un líquido transportador, normalmente un aceite que hace de surfactante rodeando las partículas, protegiéndolas. Las partículas (normalmente hierro) suspendidas tienen tamaño micrométrico e im-

portantes efectos en la consistencia del fluido. Cuando esta suspensión se expone a un campo magnético (un imán), las partículas se alinean espesando el fluido hasta su solidificación. Convirtiéndose en un material viscoelástico. Los fluidos magneto-reológicos se diferencian de los **ferrofluidos** en el tamaño de las partículas que los componen siendo en el último caso de tamaño nanométrico.^[10,11] Una aplicación interesante de los fluidos magnetoreológicos es en los amortiguadores y frenos de los automóviles, en lugar del aceite convencional. El dispositivo actúa con un electroimán lo que permite que la viscosidad del fluido (y por ende la cantidad de amortiguamiento proporcionada por el amortiguador) pueda ser variada de acuerdo a la preferencia del conductor o de manera dinámica para proporcionar control de estabilidad (Figura 5).

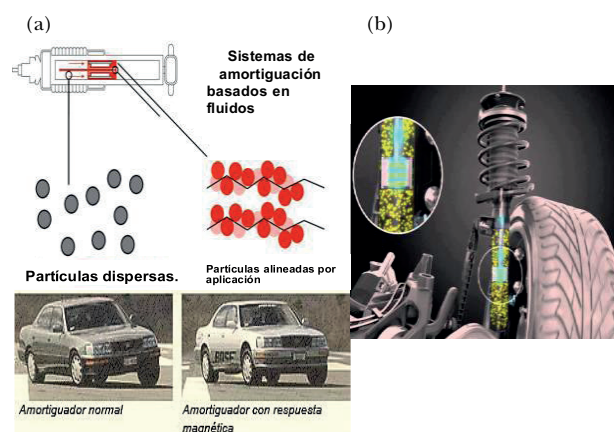


Figura 5. Fluidos magnetoreológicos; Aplicaciones en el sistema de amortiguación de vehículos (a y b)

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA RESISTENTES A LA FRACTURA

Para la práctica de deportes de riesgo existe la posibilidad de usar **Materiales Auxéticos**. El nombre proviene del griego, y significa “que tiende a crecer” ya que la raíz *auxesis*, expresa *aumento*. Con este nombre se designan a los materiales (moléculas individuales, cristales, etc.) que tienen un *coeficiente de Poisson* negativo.^[12] Este coeficiente entra de lleno en el campo de las propiedades mecánicas de los materiales. De forma abreviada comentaremos que si a un material elástico se le aplica una fuerza en una dirección (tracción), el material sufrirá una deformación en la dirección de la tensión o fuerza aplicada siguiendo la ley de Hooke, es decir, aumentará de longitud. Simultáneamente se producirá una deformación en la dirección perpendicular a la tensión aplicada, es decir, este aumento de longitud conlleva una disminución de la sección transversal del objeto. Si eso ocurre, decimos que ese material es convencional y tiene un coeficiente de Poisson positivo (Figura 6).

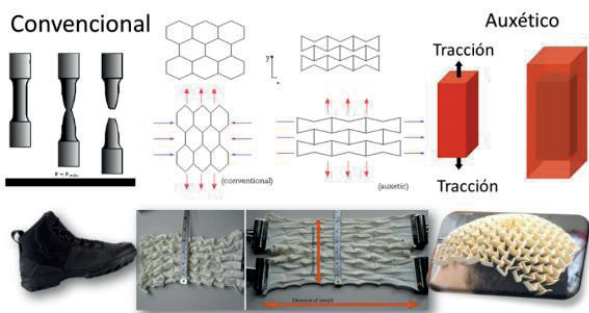


Figura 6. Materiales auxéticos frente a materiales convencionales (arriba); Aplicaciones en objetos resistentes a los impactos (abajo)

Sin embargo, los materiales auxéticos son aquéllos que cuando los estiramos en una dirección, la dimensión en la dirección transversal a la dirección del estiramiento también aumenta. Eso es, en principio, sorprendente. Esto se produce debido a su estructura (tipo bisagra), que tiene la característica de doblarse cuando se estira (Figura 6). Los materiales auxéticos se conocen desde hace aproximadamente un siglo, pero se han estudiado sistemáticamente desde hace no más de tres décadas, encontrando aplicaciones en materia de empaquetado, material de absorción de impactos... (Figura 6), gracias a sus interesantes propiedades como materiales que absorben una gran cantidad de energía antes de fracturarse.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN ENERGÍA

En el campo del ahorro energético hay muchas opciones, por lo que se puede elegir o combinar varias de ellas. Algunas de las cuales se indican a continuación:

- Recubrir el tejado de las casas con materiales inteligentes basados en **polímeros con termorespuesta** (sensores de temperatura) como el poly-N- isopropylacrylamide (NIPAM).^[13] A temperaturas inferiores a los 32°C este polímero se hincha tomando agua (hidrófilo) de la atmósfera y por encima de esta temperatura el polímero cambia a un estado hidrófobo *sudando* en el proceso, es decir liberando agua, disminuyendo su volumen y manteniéndose frío durante la evaporación del agua eliminada. El estudio realizado en zonas de clima tropical muestra posibles reducciones de hasta un 60% en la factura de la luz en hogares.
- Colocar en edificios de oficinas, ventanas inteligentes de **óxidos de metales de transición**.^[14]

La mayoría de nosotros pasamos alrededor del 90% del tiempo en el interior de algún edificio. Demandamos calor en invierno y fresco en verano. El problema es que para conseguir ese confort (ventilación, calentamiento, iluminación...) los europeos gastamos aproximadamente

el 40% de la energía total, es decir, un 4% del producto interior bruto. Este consumo energético puede reducirse con los nuevos materiales inteligentes basados en recubrimientos de nanocristales de **óxidos de metales de transición**, los cuales actúan como sensores, alterando su color o su transparencia. Estos materiales son sensibles a pequeños cambios medioambientales, lo que nos permite realizar una “ventilación a demanda”. Uno de los más utilizados por sus propiedades y bajo coste es el óxido de níquel (II).^[15] El mecanismo, consiste en la colocación de este óxido como ánodo en las llamadas *ventanas inteligentes*, pues tiene la capacidad reversible de cambiar de color al absorber agua debido a la formación de diferentes estructuras cristalinas. Al ponerse oscuro o hacerse opaco, limita la entrada de las radiaciones ultravioleta, contribuyendo a evitar un aumento excesivo en la temperatura interior del edificio.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE DAÑOS ESTRUCTURALES

La ciencia de los materiales ha descubierto una clase de materiales muy innovadora, basada en compuestos con *sentidos* de forma similar a los seres humanos, es decir, materiales con *sistema nervioso* o **materiales autoreparadores**,^[16] diseñados para mejorar la seguridad personal y pública mediante la prevención. Funcionan mediante una detección temprana del posible daño estructural o deterioro, previniendo la formación de fallas. Los materiales pueden fallar repentinamente, pero podemos conocer el posible fallo con tiempo suficiente.

Son sensibles al estrés, a la presión y a la fuerza. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas están basados en nanotubos de carbono. Su tamaño, su resistencia mecánica (una capa de nanotubos de carbono puede alcanzar 50 veces la resistencia del acero siendo su densidad en masa 6 veces más pequeña) y su conductividad eléctrica (100 veces mayor que la del cobre), los hacen muy interesantes para fabricar sensores y actuadores en aplicaciones estructurales. Otros sistemas están basados en la combinación de aleaciones metálicas con memoria de forma junto con materiales piezoeléctricos y dispositivos electrónicos. Esta mezcla genera nuevos materiales híbridos que pueden utilizarse para la vigilancia y prevención de daños estructurales por ejemplo en reactores nucleares, ayudando a mejorar la seguridad de estas instalaciones.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN LA INDUSTRIA DE LA ALIMENTACIÓN Y EMPAQUETADO

Tan solo en Estados Unidos más de 40 millones de personas sufren anualmente algún tipo de intoxicación alimentaria y de ellos, alrededor de 138 mil acaban hospita-



Figura 7. Alimentos frescos con marcadores basados en productos químicos que cambian del color con el pH

lizados, terminando en fallecimiento del orden de 3.000. Para evitar estos problemas, la industria del empaquetado y de alimentación está utilizando **materiales inteligentes con respuesta a los cambios del pH, a la presencia de gases o sensibles a los cambios de temperatura.**^[17] Los alimentos frescos se empaquetan con un marcador inteligente, que mostrará la calidad del producto. Los alimentos refrigerados usan indicadores basados en compuestos fotocromáticos o termocromáticos. De esta manera, se puede conocer la calidad de los alimentos al adquirirlos.

El estado de la carne o del pescado puede medirse en función de la cantidad de amoníaco o sulfuro que emite (más amoníaco menos fresca). Aprovechando esta propiedad, se puede introducir en el envasado una tinta especial fabricada con productos químicos que cambian de color en función de la cantidad de amoníaco emitida. De esta manera, los consumidores pueden elegir y conocer el estado de los productos que van a consumir. De la misma manera, en el empaquetado de los productos refrigerados se implantarán compuestos químicos sensibles a la temperatura que nos permitan conocer si durante el proceso de almacenaje y transporte el producto ha estado en las condiciones adecuadas de refrigeración.

EJEMPLOS DE MATERIALES ESTÍMULO-RESPUESTA EN SISTEMAS DE DETECCIÓN DE COMPUESTOS TÓXICOS VOLÁTILES

La detección de gases tóxicos o de compuestos orgánicos volátiles (COVs), puede llevarse a cabo con estos materiales. Un ejemplo de ello son los polímeros de coordinación (PCs) con cadenas dobles Cu(I)-I. Estos polímeros de coordinación pueden actuar como *sensores* ya que responden a la presencia de determinados tipos de gases cambiando sus propiedades eléctricas.^[18,19]

Estos compuestos están basados en materiales versátiles y variados con estructuras dinámicas conocidos como polímeros de coordinación (compuestos formados por ion/es metálico/s y un/os ligando/s orgánico/s).

Algunos de ellos, como los que contienen dobles cadenas cobre-yodo y ligandos orgánicos derivados de piridinas, de fórmula genérica $[CuX(L)]_n$ (donde L puede ser un derivado orgánico de la piridina como el 2-amino-5-nitropiridina (ANP) y X = el halógeno Cl^- , Br^- o I^- (Figura 8, [a]), forman cadenas capaces de actuar como un muelle frente a diferentes estímulos (gases o

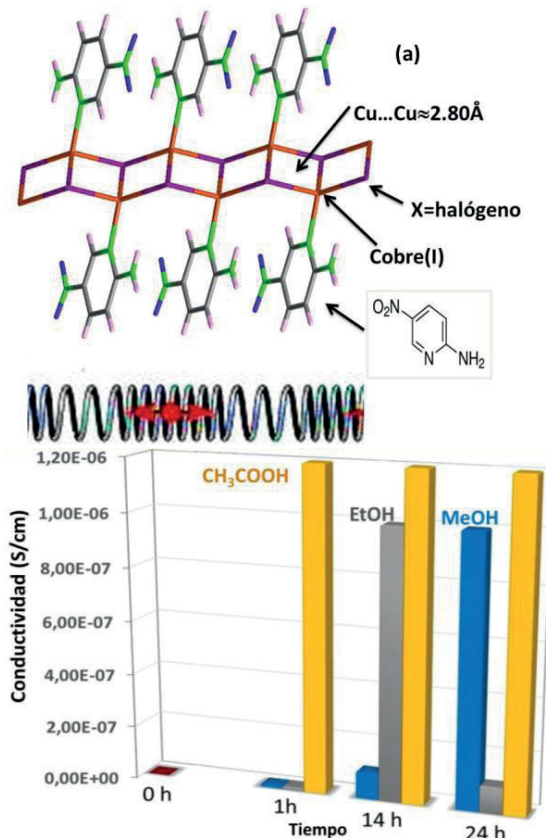


Figura 8. Polímero de coordinación de Cu(I) de fórmula $[Cu(ANP)]_n$ (a). Las cadenas pueden elongarse o encogerse como en un muelle en presencia de estímulos externos (gases), modificando sus propiedades eléctricas (abajo)



Figura 9. Respuesta eléctrica del polímero [CuI(ANP)]_n a distintos ciclos de ácido acético a 25°C

temperatura), los cuales provocan una respuesta en su comportamiento eléctrico. Es decir, la presencia de determinados tipos de gases modifica, de forma reversible, la conductividad eléctrica de estos polímeros de coordinación monodimensionales de cobre (I) (Figura 8).^[18,19]

Aprovechando esta característica, se ha estudiado su posible aplicación como *sensores* para determinar la presencia de compuestos orgánicos volátiles que presentan toxicidad, ensayándose frente al dietil éter, el metilfosfonato de dimetilo, el diclorometano, el ácido acético, el etanol o el metanol. Aquellos disolventes (o compuestos orgánicos volátiles) que pueden formar enlaces de hidrógeno (como el etanol, el metanol o el ácido acético), interaccionan con estos compuestos produciendo un aumento en la conductividad eléctrica del polímero en cuestión. Esta respuesta eléctrica es reproducible durante largos períodos de tiempo y el proceso es *on-off*, es decir, el material recupera la conductividad eléctrica inicial en ausencia del disolvente (Figura 9).

CONCLUSIONES

En un futuro muy cercano, los materiales inteligentes permitirán crear desde guantes quirúrgicos diseñados para hacer que el cerebro reciba distintas sensaciones como cambios de presión o cambios de temperatura, hasta dispositivos detectores de enfermedades con la finalidad de prevenirlas. Los campos de aplicación son ilimitados y la combinación para obtener nuevos materiales casi infinita. Según la base de datos, ISI web of Knowledge en los últimos 20 años se ha multiplicado por 10 el número de publicaciones anuales sobre este tema, con más de 18.000 trabajos relacionados. Las futuras aplicaciones de estos materiales abarcarán desde instrumentos electrónicos, procesadores, transductores, etc., hasta dispositivos aeroespaciales, analíticos y militares. Por todo ello, es seguro que los materiales inteligentes “estímulo respuesta” darán mucho que hablar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Síntesis de un fluido magnetoreológico

Materiales: Hierro en polvo (micropartículas), aceite de girasol e imán (a ser posible de neodimio). Varilla y recipiente de vidrio para el mezclado.

Procedimiento: Mezclar a temperatura ambiente el aceite con el hierro finamente pulverizado hasta formar una suspensión gris. Una vez conseguido, acercar el imán al recipiente de vidrio; se observará un cambio de estado de líquido a sólido. Si procede a alejar el imán el fluido magnetoreológico volverá a estado líquido.

Síntesis de [CuI(2-amino-5-nitropiridina)]_n ([CuI(ANP)]_n)

CuI (50 mg, 0,26 mmol) y 2-amino-5-nitropiridina (ANP) (36 mg, 0,26 mmol) se disuelven en 12 ml de acetonitrilo. La solución amarilla resultante se agita durante 2 horas a 25 °C y se filtra al aire. Una vez filtrada se deja cristalizar a 25 °C en una placa petri. Después de una semana, se obtienen cristales de color amarillo que se filtran y se lavan con agua, acetonitrilo y éter dietílico, secándose al aire (38 mg, rendimiento del 44% basado en Cu). Una cantidad apropiada de estos cristales se prensa para fabricar una pastilla y esta se dispone en un dispositivo similar al de la Figura 10, donde podrán detectarse cambios en la conductividad eléctrica en la presencia de ácido acético gaseoso, mediante el uso de un conductímetro.^[19]

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen las subvenciones recibidas por la Real Sociedad Española de Química (Sección Territorial de Madrid), el Ministerio de Investigación y Ciencia MICINN (MAT2013-46753-C2-1-P; MAT2013-46502-C2-1 y 2-P y MAT2016-75883-C2-2-P).

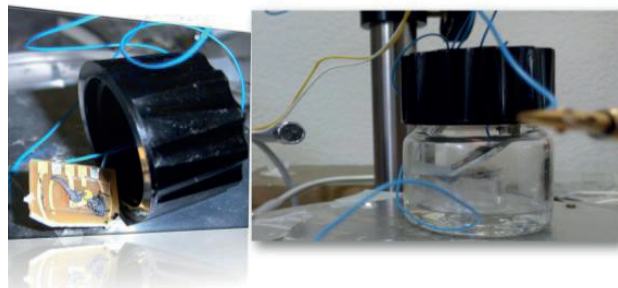


Figura 10. Dispositivo para el estudio de la respuesta eléctrica frente a gases

BIBLIOGRAFÍA

- [1] La inteligencia - Matej Hochel y Emilio Gomez Milán <https://espanol.free-ebooks.net/ebook/La-inteligencia>
- [2] R. W. Howard, *British J. Psychology*, **1993**, *84*, 27-37.
- [3] (a) T. Umedachi, K. Ito, A. Ishiguro, *Adaptive behavior*, **2015**, *23*(2), 97-108. (b) Y. H. Wu, Z.L. Zhang, Y. Leng, H. Zhou, T. Quian, *Neurocomputing*, **2015**, *148*, 63-69.
- [4] http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1904/
- [5] S. Guragain, B.P. Bastakoti, V. Malgras, K. Nakashima, Y. Yamauchi, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21* (38) 13164-13174.
- [6] A. Ölander, *J. Am. Chem. Soc.* **1932**, *54*, 3819-3833.
- [7] (a) W. J. Buehler, J. V. Gilfrich, R. C. Wiley, *J. Appl. Phys.* **1963**, *34*, 1475-1477. (b) F. E. Wang, W. J. Buehler, S. J. Pickart, *J. Appl. Phys.* **1965**, *36*, 3232-3239.
- [8] <http://www.bing.com/videos/search?q=nitinol+&&view=detail&mid=E1CD1E757D356EFC7F78E1CD1E757D356EFC7F78&FORM=VRDGR>
- [9] (a) A. J. McConnell, C. S. Wood, P. P. Neelakandan, and J. R. Nitschke, *Chem. Rev.* **2015**, *115*, 7729-7793. (b) Z. Hu, B. J. Deibert and J. Li, *Chem. Soc. Rev.*, **2014**, *43*, 5815-5840, (c) G. Z., Shanghua X., X. Han, B. Xin, Y. Yang, X. Wang, G. Li, Z. Shi y S. Feng *RSC Adv.*, **2015**, *5*, 40792-40797.
- [10] S. Hess, C. Aust, L. Bennett, M. Kroger, C.P. Borgmeyer, T. Weider, *Physica A*. **1997**, *240* (1-2), 126-144.
- [11] R. S. Lakes, *Science*, **1987**, *235* (4792) 1038-40.
- [12] A Paquit, K. Tong-lau, H Mclaughlin, J. Fresby, B. Quilty, D. Diamond. *Talanta*, **2006**, *69*, 515-523.
- [13] R. Pelton, *J. Colloid Interface Sci.* **2010**, *348* (2), 673-674.
- [14] Shi-Di Lan Chi-Jung Chang, Chih-Feng Huang, Jem- Kun Ch *RSC Adv.* **2015**, *5*, 73742-73751.
- [15] C. G. Granqvist, A. Azens, J. Smulko, L. B. Kish, *J. Phys: Conference Series*, **2007**, *93*, 012021.
- [16] (a) M. Hakovirta, B. Aksoy, J. Hakovirta, *Mater. Sci. Eng.*, **2015**, *53*, 331-335. (b) S. Mekid, N. Saheb, S. M. A. Khan, K. K Qureshi, *Sci. Technol. Adv. Mater.* **2015**, *16*, 034607.
- [17] S. S. Nagarkar, A. V. Desai, S. K. Ghosh, *Chem. Asian J.* **2014**, *9* (9), 2358-2376.
- [18] K. Hassanein, P. Amo-Ochoa, C. J. Gómez-García, S. Delgado, O. Castillo, P. Ocón, J. I. Martínez, J. Perles y F. Zamora. *Inorg. Chem.* **2015**, *54*, 10738-10747.
- [12] (a) P. Amo-Ochoa, K. Hassanein, C. J. Gómez-García, S. Benmansour, J. Perles, O. Castillo, J. I. Martínez, P. Ocón y F. Zamora, *Chem. Commun.*, **2015**, *51*, 14306-14309. (b) K. Hassanein, J. Conesa-Egea, S. Delgado, O. Castillo, S. Benmansour, J. I. Martínez, G. Abellán, C. J. Gómez-García, F. Zamora, y P. Amo-Ochoa, *Chem. Eur. J.* **2015**, *21*, 17282-17292 (c) M. Melzer, IK, Daniil; L., Gungun; Baunack, Stefan; Makarov, Denys; Schmidt, Oliver G. *Adv. Mater.*, **2015**, *27*, 8, 1306.

IUPAC INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY

IUPAC 100 LOGO Competition

Welcomes All to Submit Original Works of Design

Eligibility The competition is open to 3 categories: college and secondary and primary school students for all around the world.

Deadline 1 February 2017

Judging A panel of judges will select a shortlist of best designs; Shortlisted designs will be posted online for voting.

Prize The top entries and award will be noted in IUPAC magazine Chemistry International. The ultimate winning entry will be touched-up by a professional graphic designer and shared globally with all IUPAC member organizations and supporters to serve as the brand for the celebrations.

How to Submit Digital submission only
An online submission platform will be made available from iupac.org
Inquiry by email to iupac.100@iupac.org, with subject "iupac competition"

Entrega de Premios y Distinciones 2016 de la RSEQ

El día 10 de noviembre tuvo lugar la entrega de los Premios de la RSEQ del presente año 2016, en sus modalidades de Medalla de la RSEQ, Premios a la Excelencia Investigadora y Premio de Divulgación. En el mismo acto se entregaron las distinciones a los socios con al menos cincuenta años vinculados a la RSEQ.

El acto fue presidido por Marina Villegas, directora general de Investigación del MINECO, junto con Francisca García Caballero (vicerrectora de Postgrado e Investigación de la UIMP), M.^a Jesús Martínez (directora del CIB-CSIC), Jesús Jiménez-Barbero (presidente de la RSEQ) y José Manuel González (secretario general de la RSEQ). El profesor Manuel Martín Lomas pronunció unas palabras de agradecimiento en nombre de los socios con más de 50 años de servicio a la RSEQ.

La sesión finalizó con la impartición de la conferencia “De lo científico a lo tecnológico” por don Víctor García Pidal de Bruker Española. El acto tuvo lugar en el salón de actos del Centro de Investigaciones Biológicas del CSIC (Madrid).

PREMIOS CONCEDIDOS EN 2016

Medalla de la RSEQ (patrocinada por Bruker Española)

- Profesor Pedro J. Pérez Romero del Centro de Investigación en Química Sostenible (CIQSO) de la Universidad de Huelva.



Mesa Presidencial (de izquierda a derecha): Jesús Jiménez Barbero (presidente de la RSEQ), M.^a Jesús Martínez (directora del CIB CSIC), Marina Villegas (directora general de Investigación del MINECO), Francisca García Caballero (vicerrectora de Postgrado e Investigación de la UIMP) y José Manuel González (secretario general de la RSEQ)

Todas las noticias deberán enviarse a la Secretaría de Publicaciones pyanezs@ucm.es
Su publicación es discrecional al Comité Editorial de *Anales*.

Premios RSEQ de Excelencia y Divulgación

- Doctor Ramón Martínez Máñez de la Universidad Politécnica de Valencia. Premio patrocinado por CEPSA.
- Doctor Hendrik Jan Bolink del Instituto de Ciencia Molecular -ICMol, de la Universidad de Valencia. Premio patrocinado por la RSEQ.
- Doctor Paolo Melchiorre del Instituto Catalán de Investigación Química. Premio patrocinado por Janssen Cilag.

- Doctor Juan José Novoa Vide de la Universidad de Barcelona. Premio patrocinado por la RSEQ.
- Doctor Sergio Castellón Miranda de la Universidad de Rovira i Virgili, Tarragona. Premio patrocinado por BASF.

Premio de Divulgación

- Doctor Mario Redondo Ciércoles del IES Arquitecto Peridis de Leganés (Madrid). Premio patrocinado por la RSEQ.



Entrega de la Medalla de la RSEQ al profesor Pedro J. Pérez Romero (CIQSO) Universidad de Huelva. Entregan el premio Jesús Jiménez Barbero (presidente de la RSEQ) y Víctor Pidal (Bruker Española)

Premios RSEQ de Excelencia y Divulgación



Dr. Ramón Martínez Máñez. Entregan el premio: M.^a Jesús Martínez y Rosario Jerez de la Vega (CEPSA)



Dr. Hendrik Jan Bolink. Entregan el premio: Francica García y Marina Villegas



Premios RSEQ de Excelencia y Divulgación



Dr. Paolo Melchiorre. Entregan el Premio: Jesús Jiménez Barbero y Laura Iturriño



DR. SERGIO CASTILLÓN MIRANDA. ENTREGAN EL PREMIO: JESÚS JIMÉNEZ BARBERO Y FERNANDO MONTIL



Dr. Juan José Novoa Vide. Entregan el premio: Francisca García y M.ª Jesús Martínez



Dr. Mario Redondo Ciércoles. Entregan el premio: Francisca García y Marina Villegas



Distinciones a los socios con más de 50 años de servicio a la RSEQ

Socios que asistieron al acto:

- Dr. Miguel Alario Franco
- Dr. Alberto Arce Arce
- Dr. Antonio Espinosa Úbeda
- Dr. Franco Fernández González
- Dr. Manuel Gómez Guillén
- Dr. José María Guill Pinto
- Dr. Claudio Gutiérrez de la Fe
- Dr. Manuel Martín Lomas
- Dr. Luis Matutano Aranda
- Dr. Alfredo Mederos Pérez
- Dra. Carmen Pardo Gutiérrez del Cid
- Dr. José Manuel Pereña Conde
- Dr. Benjamín Rodríguez González
- Dr. José Gonzalo Rodríguez López
- Dr. José Luis Sotelo Sancho
- Dr. Cristóbal Valenzuela Calahorro
- Dr. Salvador Vega Noverola



El profesor Manuel Martín Lomas, pronunciando unas palabras en nombre de los socios con más de 50 años en la RSEQ



Don Víctor García Pidal (Bruker Española) impartiendo la conferencia "De lo científico a lo tecnológico"



Nazario Martín, Premio Hispano-alemán Elhúyar-Goldschmidt 2016 de la Sociedad Química Alemana

La Gesellschaft Deutscher Chemiker ha concedido el Premio Hispano-alemán Elhúyar-Goldschmidt a Nazario Martín. Este premio, que se concede conjuntamente entre la Sociedad Química Alemana y la Real Sociedad Española de Química, reconoce la labor investigadora de los galardonados y permite la impartición de una serie de conferencias en Alemania y España por parte del investigador español o alemán, respectivamente.

Nazario Martín es catedrático de Química Orgánica en la Universidad Complutense Madrid y director adjunto del Instituto IMDEA-Nanociencia de la Comunidad de Madrid.

Los intereses de investigación del profesor Martín abarcan una amplia gama de objetivos, con énfasis en la

química molecular y supramolecular de nanoestructuras de carbono, tales como fullerenos, nanotubos de carbono y grafenos, sistemas de p-conjugados como cables moleculares y moléculas electroactivos, en el contexto de los procesos de transferencia de electrones, aplicaciones fotovoltaicas y la nanociencia.

En 2006-2012 ha sido el presidente de la Real Sociedad Española de Química.

Entre sus galardones y reconocimientos se encuentran el Premio Dupont de Ciencia (2007), el Premio Rey Jaime I de Investigación Científica (2012) y el Premio Miguel Catalán (2014) actualmente es presidente de la COSCE.



Nazario Martín recibe el Premio Hispano-alemán Elhúyar-Goldschmidt. A su derecha, Andreas Hirsch de la Universidad de Erlangen-Núremberg

XIII Simposio de Investigadores Jóvenes de la RSEQ

Entre los días 8 y 11 de noviembre de 2016 tuvimos el placer de acoger en La Universidad de La Rioja, en Logroño, el XIII Simposio de Investigadores Jóvenes de la RSEQ. En dicho Simposio se congregaron un total de 133 inscritos, que junto con otros ponentes invitados sumaron un total de 150 participantes, todo un éxito de asistencia. En el acto de inauguración del Simposio, estuvieron presentes el rector de la Universidad de La Rioja, representantes del Gobierno de La Rioja y el Ayuntamiento de Logroño, así como los presidentes de la RSEQ (Jesús Jiménez Barbero), el Grupo Especializado de Jóvenes Investigadores de la

RSEQ (Emilio J. Cocinero), y representantes de la plataforma Suschem y las compañías Sigma-Aldrich (Merck) y Mesrelab. En dicho acto se entregaron, asimismo, los Premios de Investigación a Jóvenes Investigadores de la RSEQ 2016 y los VIII Premios SusChem-JIQ 2016, destinados a reconocer trayectorias y publicaciones destacadas en cualquier área de la Química.

Uno de los principales objetivos del comité organizador fue estimular y favorecer la presentación de comunicaciones orales por parte del mayor número posible de asistentes. Así, a lo largo de los tres días del Simposio, se



XIII Simposio de Investigadores Jóvenes de la RSEQ

impartieron 6 conferencias plenarias, 5 comunicaciones orales *Hot Topic*, otras 10 comunicaciones seleccionadas y más de 40 comunicaciones cortas, presentándose también más de 60 pósters. El nivel y calidad de las presentaciones fue altísimo, entregándose dos premios y una mención especial a las mejores comunicaciones cortas, y otros dos premios a los mejores pósters.

El elevado carácter multidisciplinar de las contribuciones presentadas convirtió al Simposio, una vez más, en un inmejorable escaparate para admirar y sentir la ciencia competitiva y de calidad que se hace en España de la mano de nuestros investigadores más jóvenes y comprometidos. Organizadas en sesiones pretendidamente temáticas, las conferencias, muchas ellas de marcado carácter multidisciplinar, cubrieron los temas más punteros de investigación en Química: catálisis homogénea, heterogénea y enzimática, ingeniería de proteínas, sensores avanzados, nuevos materiales fotovoltaicos y luminiscentes, química médica, computación, etc.

Atendiendo a otro de los objetivos centrales del Simposio –la valorización de los estudios superiores en Química de cara a un desarrollo profesional– se celebró una mesa redonda-debate abierta no sólo a los participantes, sino también a alumnos de distintos masters. En dicho acto, representantes de empresas farmacéuticas (Lilly), nanotecnología (Avanzare), realidad virtual (CreativiTIC) y la iniciativa *EmprendeRioja*, moderados por Javier García Martínez, catedrático de la Universidad de Alicante y CEO de la empresa desarrolladora de zeolitas Rive Technology, ofrecieron sus experiencias y aportaron valiosos consejos

para el desarrollo exitoso de perfiles laborales y emprendedores. Dicho acto, que contó con la animada intervención de los participantes, fue flanqueado por sendas conferencias divulgativas sobre el papel y lugar de la química en la Red a cargo de Héctor Busto, y sobre el análisis sensorial en la cata de vinos a cargo del prestigioso sumiller Carlos Echapresto. Acto seguido pudimos disfrutar de una visita y cena en las reconocidas Bodegas Franco Españolas, con abundante presencia de los bien conocidos caldos de nuestra tierra.

Si la calidad de las presentaciones fue altísima, el ambiente de cordialidad y unidad entre los participantes resultó especialmente destacable, lográndose quizás el objetivo más prioritario y ambicioso del Simposio: establecer nuevas colaboraciones entre nuestros investigadores más jóvenes, a fin de fortalecer las relaciones entre distintos grupos y disciplinas, algo cada vez más necesario en la ciencia que viene.

Como organizadores, nos sentimos honrados de haber contado con la presencia y apoyo de tantos y tan buenos participantes. Asimismo, esperamos haber contribuido a dar a conocer nuestra modesta y joven Universidad y nuestra hospitalaria ciudad, a consolidar y visibilizar el papel crucial de nuestros jóvenes investigadores, y a fomentar una actitud positiva ante los, sin duda, enormes retos ante los que se encuentra nuestra Química. ¡Nos vemos el año que viene en Badajoz!

GONZALO JIMÉNEZ
y FRANCISCO CORZANA
Organizadores SIJ2016

Acto conmemorativo del 30 Aniversario de la creación del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química

El 28 de noviembre de 1986 se convocó la primera reunión del Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la Física y la Química, común a las Reales Sociedades Españolas de Física y de Química. Se trató de una iniciativa del doctor Salvador Senent, que sería el primer presidente del Grupo. El evento, celebrado en Madrid, contó con unos sesenta asistentes. La idea principal fue agrupar esfuerzos, iniciativas y retos de docentes, especialmente de enseñanzas medias, pero también del ámbito universitario, en un Grupo que fuera común a las dos Reales Sociedades, que se habían separado seis años antes.

Con motivo de la conmemoración del 30 aniversario de la creación del Grupo, el pasado 11 de noviembre se celebró una mesa redonda en la sede que comparten ambas sociedades en Madrid, presidida por los profesores Manuela Martín (presidenta del grupo), Inés Pellón (presidenta del Grupo Especializado de Historia de la Ciencia de la RSEQ) y Gabriel Pinto (vicepresidente primero del grupo).

El evento reunió a una veintena de participantes y en el marco del mismo se hizo un homenaje a los dos presidentes anteriores del grupo, los doctores Pilar Escudero y Julio Casado. El doctor José María Hernández (vicepresidente segundo del grupo) recogió las distinciones para hacérselas llegar personalmente. También se entregaron los diplomas acreditativos de las becas que el grupo concedió a alumnos que están finalizando o han realizado recientemente el Máster de Formación del Profesorado, en la especialidad de Física y Química. Esta iniciativa, realizada por primera vez este año, persigue animar a profesores en formación de estas áreas a integrarse en la RSEF o la RSEQ y, para ello, se les abonará la cuota



Las doctoras Inés Pellón (*izquierda*) y Manuela Martín (*derecha*), presidentas de los Grupos Especializados de Historia de la Ciencia y de Didáctica e Historia de la Física y la Química, respectivamente, durante el desarrollo de la mesa redonda

correspondiente al año 2017, para que se incorporen a la sociedad que deseen de las dos y al grupo común de Didáctica e Historia. El profesor Luis Moreno envió un escrito de agradecimiento, en representación de los becados, donde resaltó la importancia de la imbricación de la historia en las enseñanzas de física y química desde las primeras etapas educativas.

Durante la mesa redonda se impartieron las siguientes ponencias: “Constitución y evolución del Grupo Especializado” (doctora Manuela Martín), “Fomentando enlaces entre profesores: la importancia del asociacionismo” (doc-



Algunos de los asistentes al acto conmemorativo

tor Gabriel Pinto), “La Didáctica a través de las Bienales de la RSEQ” (profesora Alicia Coballes), “Las Olimpiadas de Química” (doctor Ángel Coballes), “La Química en la enseñanza de las Ciencias de la Naturaleza en Educación Primaria: Presencia en el currículo, recursos utilizados por maestros/as en activo y necesidades manifestadas en su formación inicial y continua” (doctora Araceli Calvo), y “Los trabajos fin de Máster en la titulación de Formación del Profesorado” (doctor Francisco Sotres).

Finalmente, hubo un coloquio y puesta en común donde se resaltaron algunos de los aspectos tratados en las po-

nencias y otros, como la importancia de los métodos de resolución de problemas y la contextualización histórica de las dos ciencias, física y química. Como resumen de lo tratado, y de la historia del propio grupo podríamos recoger la frase que enunció la doctora Calvo en su intervención, basada en corrientes actuales de la neurociencia cognitiva: “sin emoción en el aula no puede haber aprendizaje”.

MANUELA MARTÍN y GABRIEL PINTO
Grupo Especializado de Didáctica e Historia de la
Física y la Química

Fernando Cossío, Premio Centenario de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza

La Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza, fundada en 1916, ha celebrado recientemente su centenario con diversas actividades, entre ellas la creación de cuatro Premios Centenario asociados a sus cuatro secciones. En particular, el Premio de Investigación Centenario de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza correspondiente a la sección de Químicas, recayó en nuestro socio Fernando Cossío, catedrático de Química Orgánica de la Universidad del País Vasco. Su entrega se celebró el pasado 10 de noviembre de 2016 en una sesión extraordinaria de la Academia, celebrada en la sala de grados de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza, donde impartió una conferencia titulada “Tres décadas de investigación en Química experimental y teórica: del enlace químico al diseño de fármacos epigenéticos”. El doctor Cossío expresó su agradecimiento por el premio recibido y por poder impartir una conferencia en su “alma mater”, recordando sus años en Zaragoza, donde cursó sus estudios de licenciatura en ciencias químicas, que fueron cruciales en su formación, y su placer de estar rodeado en este acto por algunos de quienes fueron sus profesores y por su familia. En la mencionada sesión extraordinaria de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza el doctor Cossío recibió también el diploma de Académico Correspondiente por la sección de Químicas.

Fernando Cossío Mora, es licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Zaragoza (1982) y doctor por la Universidad el País Vasco UPV/EHU (1986). En su Departamento de Química Orgánica I de la Facultad de Ciencias Químicas de San Sebastián ha sido primero profesor titular (1988) luego catedrático desde 2002 hasta la actualidad. De 1987 a 1988 realizó una estancia posdoctoral con el profesor Jean-Paul Picard en el CNRS de Talence (Francia), y en 1988 otra con el profesor Kendall N. Houk en la Universidad de California, Los Ángeles. En su trayectoria de gestión ha sido decano de la Facultad de Ciencias Químicas de la UPV/EHU 1999-2001, vicerrector de



El doctor Fernando Cossío

Investigación y de Relaciones Internacionales de la UPV/EHU de 2001 a 2004, y desde 2009 es Director Científico de la Fundación IKERBASQUE. Además, actualmente es coordinador de la ANEP del área de Química. Desde 1993 dirige un grupo de investigación de Química Biorgánica Teórica y Experimental, reconocido por el Gobierno Vasco con la máxima distinción. Su trayectoria científica está avalada por 213 publicaciones en revistas internacionales indexadas (h=41), 14 patentes, algunas en explotación, y 22 tesis doctorales dirigidas en el área de la Química Orgánica sintética y computacional y ha desarrollado compuestos de interés para enfermedades oncológicas.

LUÍS ORO
Universidad de Zaragoza

Tomás Torres Cebada, Premio de la Society of Porphyrins and Phthalocyanines (SPP)

Tomás Torres Cebada, catedrático de Química Orgánica en la Universidad Autónoma de Madrid e investigador asociado senior en el Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Nanociencia (IMDEA-Nanociencia), ha sido galardonado con el Premio “Linstead Career Award in Phthalocyanine Chemistry 2016”. Este premio se otorga cada dos años por la Society of Porphyrins and Phthalocyanines (SPP) a “científicos altamente distinguidos, por su calidad y trayectoria a lo largo de toda su vida investigadora”. El premio ha sido entregado durante la 9th International Conference on Porphyrins and Phthalocyanines (ICPP-9) celebrado en Nanjing, China.

Las contribuciones del profesor Torres incluyen fundamentalmente la síntesis de ftalocianinas asimétricas y subftalocianinas, su conjugación con nanoestructuras de carbono (fullerenos, nanotubos y grafeno), la organización supramolecular en disolución y fases condensadas, y aplicaciones de estos compuestos en óptica no lineal (NLO), fotosíntesis artificial (transferencia electrónica fotoinducida), fotovoltaica molecular (células solares orgánicas, híbridas y perovskitas), y más recientemente en áreas de



Tomás Torres

nanotecnología (organización y síntesis en superficies) y nanomedicina (terapia fotodinámica, PDT, de cáncer y aterosclerosis, e inactivación de bacterias y virus). Torres ha publicado más de 500 artículos, revisiones y patentes, situando el valor de su índice h en 73, con 14 “highly cited papers” (Thomson Reuters) en la actualidad.

El doctor Carlos Romero Nieto recibe el Premio Hengstberger

El pasado 29 de octubre el doctor Carlos Romero Nieto, natural de Socuéllamos, Ciudad Real, recibió el prestigioso premio Hengstberger de la Universidad de Heidelberg durante la celebración de su 630 aniversario. Esta mención reconoce la trayectoria investigadora del doctor Romero Nieto así como su importante aportación en el campo de los materiales orgánicos y en área de los heterociclos de fósforo.

La Universidad de Heidelberg, fundada en 1386, es una universidad élite que ostenta el primer puesto en el ranking de universidades alemanas. En ella, han sido otorgados un total de 11 premios Nobeles. El doctor Romero Nieto ha señalado: “es un honor recibir esta mención de la Universidad de Heidelberg. Por esta universidad han pasado algunos de los químicos más importantes de la historia tales como Mendeleev que inventó la tabla periódica. Desde luego este premio supone una gran inyección de moral para seguir investigando.”

El doctor Romero Nieto, que obtuvo su doctorado en química orgánica por la Universidad de Castilla-La Mancha, lidera desde 2013 un equipo de investigación en la Universidad de Heidelberg. Su investigación se centra principalmente en la preparación de nuevas moléculas con átomos de fósforo capaces de emitir luz y responder a estímulos externos.



El doctor Carlos Romero Nieto

Estos materiales ofrecen nuevas posibilidades tecnológicas desde pantallas de dispositivos auto-recargables a la luz hasta la monitorización selectiva de determinados cánceres, aplicaciones que están actualmente siendo desarrolladas.

ChemFest, Ciudad Real 2016

Durante los pasados 1 y 2 de diciembre se ha desarrollado en Ciudad Real la “ChemFest, Ciudad Real 2016”. Este festival ha sido organizado por la Sección Territorial de Castilla La-Mancha y, en su programa, ha contado con diferentes actividades como espectáculos de monólogos científicos, conferencias, mesas redondas, talleres de comunicación, etc. Por primera vez, en la capital, la compañía “Big Van. Científicos sobre ruedas” actuó en doble función con un divertido espectáculo interactivo ante más de 500 alumnos de enseñanza media en el IES Maestro Juan de Ávila. Investigadores y expertos en divulgación como el profesor Javier García Martínez (catedrático de la Universidad de Alicante), Enrique Royuela (virologo, periodista y director de la revista *Principia*), José Manuel Pérez (responsable de la página de Facebook “Por la creación de un Ministerio de Ciencia”) o Pilar Gil (periodista especializada en ciencia y medioambiente de la revista *Quo*) se han reunido estos días para explicar el papel de las nuevas tecnologías en la educación y la divulgación científica.

La Sección Territorial de Castilla-La Mancha ha aprovechado la “ChemFest, Ciudad Real 2016” para hacer entrega de los premios a la mejor Tesis Doctoral en su segunda edición. Este año el *accésit* ha correspondido a la doctora Noemí Alarcos Carmona por su Tesis titulada “Sistemas nanoconfinados: análisis en tiempo real mediante espectroscopía láser para futuras aplicaciones en nanociencia”. El primer premio ha correspondido a la doctora Myriam Barrejón Araque, por su Tesis “Tuning the properties of graphene & carbon nanotubes through chemical modification”. El acto de entrega de galardones se clausuró con una conferencia invitada a cargo del profesor Alfredo Pérez Rubalcaba. El doctor Rubalcaba fue profesor de Química Orgánica durante dos cursos académicos en el antiguo Colegio Universitario de Ciudad Real a finales de la década de los 70 e inauguró el actual edificio de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas de la UCLM durante su etapa como Ministro de Educación y Ciencia. Su relación con la ciudad ha sido, por tanto, y desde hace varios años, muy estrecha y cercana.



El profesor Alfredo Pérez Rubalcaba junto a las premiadas y los responsables de la Real Sociedad Española de Química en Castilla-La Mancha

Simposio en honor del profesor K. N. Houk en la Universidad de La Rioja

El pasado 22 de abril tuvimos el honor de contar en la Universidad de La Rioja (UR) con la presencia del profesor Kendall N. Houk (UCLA, <http://www.chem.ucla.edu/houk>), en torno al cual celebramos un simposio en Química Biológica Computacional de un día de duración. El profesor Houk es uno de los científicos más reconocidos y prolíficos (más de 1.000 artículos publicados) en el campo de la química computacional aplicada. Entre los conferenciantes tuvimos el placer de contar con hasta tres generaciones de investigadores españoles y europeos que comenzaron su carrera investigadora como miembros del grupo del profesor Houk. Así, abrió el simposio el profesor Fernando Cossío (UPV/EHU, Director Científico de la Fundación Ikerbasque) con una interesante conferencia sobre estudios de mecánica cuántica de mecanismos de reacción enzimáticos. En el mismo simposio dedicado a catálisis enzimática, los profesores Iñaki Tuñón (UV) y Rodrigo Martínez (UR) presentaron aplicaciones de cálculos híbridos de tipo QM/MM y Marc García-Borrás (UdG, actual posdoc con el profesor Houk) describió perspectivas futuras para el diseño computacional de enzimas con actividades no naturales. En la segunda sesión, dedicada a estructura molecular y reconocimiento, la profesora Sonsoles Martín Santamaría (CIB) ofreció una interesante aproximación multiescala para el diseño de nuevos fármacos e inhibidores combinando distintos métodos de cálculo. Francisco Corzana (UR) revisó la aplicación de la dinámica molecular asistida por datos de resonancia magnética nuclear para el análisis estructural de péptidos antitumorales, tanto en estado libre como asociado. Por último, Ferrán Feixas (UdG) presentó varias aplicaciones de un novedoso método de dinámica molecular acelerada para estudiar fenómenos clave en biología, como el plegamiento de proteínas y cambios estructurales asociados a enfermedades neurodegenerativas. Ya en la última sesión, la profesora Nihan Çelebi-Ölcüm (Yeditepe Üniversitesi, Estambul) y Gonzalo Jiménez-Osés (UR, organizador del simposio), presentaron resultados de sus investigaciones en diseño y estudio computacional de enzimas para reacciones no naturales, realizadas durante sus períodos postdoctorales en UCLA. Como colofón al simposio, el profesor Houk nos ofreció una maravillosa lección magistral sobre la evolución de los métodos computacionales en química biológica, y revisó alguno de sus trabajos más destacados



El profesor K. N. Houk

en química bioortogonal, organocatálisis y rediseño de citocromos, realizados siempre en colaboración con biólogos moleculares. Para finalizar, los asistentes pudieron de una sesión de posters más relajada, en la que tuvieron oportunidad de interactuar y departir con el profesor Houk y los conferenciantes.

Entre los cerca de 100 participantes al simposio, centrado fundamentalmente en estudiantes de grado y posgrado, se encontraron antiguos miembros del grupo de Houk de distintas generaciones e investigadores de química y bioquímica de distintas universidades y centros de investigación.

Desde estas líneas quiero agradecer sinceramente la presencia del profesor Houk y todos los excelentes conferenciantes por su apoyo y la elevada calidad de sus presentaciones, así como a los patrocinadores del evento, muy especialmente Gaussian, Inc. y la RSEQ (grupo especializado en química biológica y sección territorial de La Rioja), sin los cuales la celebración de este evento no hubiera sido posible.

GONZALO JIMÉNEZ-OSÉS
Investigador Ramón y Cajal
Universidad de La Rioja

Presentación del equipo español encargado de calibrar el instrumento SuperCam de la NASA

El 16 de diciembre se presentó en la Universidad de Valladolid el consorcio interuniversitario encargado del sistema de calibración del instrumento SuperCam de la misión MARS 2020 de la NASA y que ha sido diseñado para el análisis combinado por espectroscopia LIBS, Raman, Fluorescencia, Infrarrojo y Visible de los materiales de la superficie de Marte a distancia. SuperCam combinará esta potencia analítica con la imagen detallada en color para situar los puntos de análisis en su contexto petrográfico. Este instrumento es una versión avanzada y mucho más compleja que el actual ChemCam, un espectrómetro LIBS a distancia trabajando en la superficie marciana con el vehículo Curiosity.

La presentación corrió a cargo de Fernando Rull, director científico ante la NASA, acompañado por los rectores de la Universidad de Valladolid, Daniel Miguel San José, y País Vasco, Iñaki Goirizelaia, y los vicerrectores de la Complutense y Málaga, Mercedes Gómez Bautista y Víctor Muñoz. El acto contó con la presencia de la Directora General de Universidades e Investigación de la Junta de Castilla y León, Pilar Garcés, los responsables científicos de las otras tres universidades, y varios miembros de los equipos de investigación.

En la Universidad de Valladolid recae la responsabilidad de coordinar el conjunto de actividades, interactuar directamente con la dirección del instrumento y de la misión, y entregar el sistema de calibración en tiempo y forma para su integración en el vehículo MARS 2020. La Complutense se encargará del plan de calibración, sobre todo, en el protocolo de calibración la cruzada Raman-LIBS, así como dar soporte en el sistema Raman. La Universidad del País Vasco asumirá la labor de verificar, mediante técnicas complementarias a las usadas en SuperCam, las propiedades del conjunto de muestras de calibración antes y después de los ensayos termo-mecánicos de calificación. La Universidad de Málaga tiene la responsabilidad de verificar las muestras mediante la técnica LIBS en condiciones de ambiente marciano; también dará soporte en la técnica LIBS.

El consorcio interuniversitario en su conjunto también participará en la ciencia de la misión, una vez que el vehículo MARS 2020 aterrice en el planeta rojo, y en el acto de presentación se abordó la posibilidad de construir un centro de operaciones para la recepción de los datos.



Acto de presentación, de izquierda a derecha: Javier Laserna, Química Analítica (UMA); Mercedes Gómez Bautista, Vicerrectora de la UCM; Fernando Rull, Director Científico (UVA); Víctor Muñoz, Vicerrector de la UMA; Pilar Garcés, Directora General de Universidades e Investigación de la Junta de Castilla y León; Daniel Miguel, Rector de la UVA; Iñaki Goirizelaia, Rector de la UPV-EHU; Amaia Maseda, Vicerrectora de la UPV-EHU; Juan Manuel Madariaga, Química Analítica (UPV-EHU) y Valentín García Baonza, Química Física I (UCM)

Premios Nobel 2016

El científico francés Jean-Pierre **Sauvage**, el inglés J. Fraser **Stoddart** y el holandés Bernard L. **Feringa** han sido **galardonados** con el premio Nobel de Química 2016 por el diseño y síntesis de máquinas moleculares.

La organización reconoció con el galardón el trabajo de estos tres químicos que **han ayudado con su obra al avance de la nanotecnología**, al afán científico por desarrollar “las máquinas más pequeñas”.

Stoddart ve la Química en varios colores

Para mí es un gran placer escribir en unas líneas cómo fue mi estancia en la Universidad de Sheffield en los laboratorios del profesor F. Stoddart y cómo fue la primera síntesis de un [2]-catenano en el grupo de Fraser.

En 1988 yo estaba haciendo el doctorado en el Instituto de Química Orgánica General (IQOG- CSIC). Mi jefa, la investigadora Soledad Penadés, me propuso hacer una estancia predoctoral con el profesor Stoddart gran experto en Química de Carbohidratos. En aquellos tiempos esto no era frecuente y tuve que pedir una beca de la Royal Society para poder desplazarme a Inglaterra. Me concedieron la beca para cuatro meses y pensé que me tenía que estudiar todas las publicaciones de Stoddart porque me daba pavor no dar la talla científica. Descubrí que Stoddart estaba también interesado en la Química Supramolecular, basada en el estudio de las interacciones entre moléculas.

Llegué a Sheffield y al viejo edificio de la Universidad donde Fraser tenía su grupo. El profesor Stoddart me propuso un proyecto que nada tenía que ver con la Química de Carbohidratos sino con su línea de investigación en Química Supramolecular. Acepté un proyecto escrito en un papel con bolígrafos de cuatro colores. Sí, sí, Stoddart veía la Química, su Química, en color y plasmaba cualquier nota científica a mano y en varios colores!

El proyecto consistía en un nuevo método de síntesis de catenanos usando interacciones no covalentes como efecto molde. Francamente, aquello me pareció un proyecto de ciencia ficción, pero pensé que si salía iba a ser algo realmente importante. Merecía la pena intentarlo haciendo uso de mi conocimiento de su química previa en el área.

Tuve la oportunidad así de tener en mis manos los fragmentos de las moléculas que tenían mejores interacciones entre sí y que eran ideales para la prueba de concepto. Puse la reacción de formación del [2]-catenano con muchísima expectativa por parte de Stoddart y de Neil Spencer. En el matraz precipitó un sólido coloreado que no perdió su color al lavarlo para filtrarlo. ¡Era un complejo de transferencia de carga! y ¡no se destruía al diluir! Puede ser el [2]-catenano. ¡Mi ilusión fue máxima!



El profesor Stoddart

Aquel viejo departamento se puso en marcha a toda velocidad y en dos horas aquel sólido coloreado estuvo caracterizado con todas las pruebas analíticas y químico físicas. Todo indicó que el producto aislado con un 70% de rendimiento era el primer [2]-catenano del grupo de Stoddart.

El siguiente paso, dada la complejidad de la estructura, era cristalizar para difracción de Rayos-X. Aquel día era viernes, yo dejé sobre mi poyata una serie de muestras del compuesto cristalizando lentamente y me fui a casa. Estuve sin dormir de la emoción todo el fin de semana.

Llegué el lunes al laboratorio a mirar si alguno de los viales contenían cristales adecuados para el estudio. La gran sorpresa fue que los viales habían desaparecido de mi poyata. ¡Menudo susto! La historia es que Fraser había ido al laboratorio en el fin de semana y al ver que los cristales eran buenos, tomó un tren a Londres y los llevó a hacerla difracción de Rayos-X. ¡Otra emoción! Así era Fraser.

La estructura se corroboró en estado sólido por Rayos-X. A continuación vino la caracterización por RMN de las propiedades dinámicas de los dos anillos del [2]-catenano, siempre de la mano de Neil Spencer.

Aquel nuevo método de síntesis llevó inmediatamente a la síntesis de rotaxanos y fue el inicio de los brillantes trabajos de investigación del profesor Stoddart y su grupo hacia estructuras de máquinas moleculares.

Tuve la oportunidad de contribuir al inicio de esta química que ha sido galardonada con el Premio Nobel y de conocer a un hombre brillante, entusiasta, de gran talla y

aprender de él que el riesgo en investigación es importante para dar saltos con relevancia en Ciencia y que la Química se escribe en colores. ¡Enhorabuena, profesor Stoddart!

CRISTINA VICENT LASO

Investigadora científica del Instituto de Química Orgánica General (IQOG-CSIC)

Ben Feringa

Cuando, en enero del año 2004, me incorporé al grupo de Investigación de Ben Feringa no podía ni imaginar de qué manera aquellos siguientes dos años de postdoc iban a cambiar mi concepción de la ciencia y, en definitiva, mi futuro científico y personal. Tras 8 horas de espera en el, entonces aeropuerto de Barajas, aterricé en la gélida ciudad de Groningen a altas horas de la madrugada. A primera hora de la mañana, tras un par de horas de sueño, conocí a Ben en su despacho del Instituto Zernike. Debí leer en mi cara la fatiga, pues inmediatamente me envió a casa a descansar. Me dio su número móvil particular y me dijo: “No dudes en llamarme si te surge algún problema”. En aquel momento pensé que sólo trataba de ser amable, pero, ¡lo decía totalmente en serio!

Yo conocía la reputación del grupo de investigación en catálisis pero, para mi disgusto, Ben me ofreció un proyecto de investigación en nanotecnología. ¿Pero qué es esto? Bueno, en realidad se trata de diseñar moléculas complejas utilizando la Química Orgánica... puedo hacerlo. En un principio, trabajé paralelamente en la funcionalización de nanopartículas con motores moleculares así como en la modulación de la velocidad de rotación en motores moleculares derivados de fluoreno. Luego aplicamos estos motores como dopantes en cristales líquidos, demostrando por primera vez que un motor molecular es capaz de ejercer un trabajo mecánico. Un 1% de motor molecular, utilizado como dopante quirral en una matriz de cristal líquido, era capaz de mover objetos 10.000 veces mayores que él. Todos nos frotábamos los ojos... ¡No lo podíamos creer!

Con Ben, uno se da cuenta al instante de que esta delante de un genio. Con una elocuencia y un entusiasmo fuera de lo común es capaz de convencer a cualquiera de que, algo que parece irrealizable, es en realidad una tarea sencilla. Si le escuchas, estás perdido. Para él no existen los límites cuando se trata del diseño de nanoestructuras, claro que ¡él las diseña sobre el papel! “¡No me digas que no es posible hasta que lo hayas probado!”, repetía.

En su despacho reina el caos, un desorden ordenado. En él nos reuníamos el grupo de nanotecnología, entonces de tamaño relativamente pequeño... ¡Los lunes a primera hora! El conjunto era entonces (hoy más aún) muy heterogéneo con físicos, químicos, biotecnólogos... algunos de



El profesor Ben Feringa

ellos neerlandeses pero, una gran parte de ellos, de muy diversas procedencias. Ahí resida quizás parte de la raíz de su éxito.

Desde Paterswolde, un pequeño pueblo al sur de Groningen, con lluvia, nieve o hielo (cosa frecuente en el Norte de Holanda), recorría prácticamente cada día en bicicleta los 15 km que separan su casa del Campus de Zernike. Allí trabajaba de manera entusiasta de primera hora de la mañana a última de la tarde dirigiendo el grupo de investigación... no era raro que olvidara la hora de la comida. A diario, la puerta de su despacho casi siempre estaba abierta cuando se le necesitaba y, mientras que la supervisión de sus alumnos de doctorado era exhaustiva, los investigadores con más experiencia gozaban de un mayor grado de libertad para llevar a cabo sus ideas. Esto, unido a la extraordinaria financiación del grupo de investigación, se traducía en unas condiciones de trabajo ideales para cualquier científico.

Con frecuencia Ben acudía a los “Borrel” o fiestas que organizábamos continuamente para celebrar publicaciones relevantes, lecturas de tesis, cumpleaños o con cualquier otro tipo de excusa y disfrutaba mezclado entre la gente con una cerveza y una buena conversación con cualquiera. Un tipo cercano y divertido. Anualmente invitaba a todo el grupo de investigación a una barbacoa en el jardín de su casa, donde también tuve la oportunidad

de conocer a su familia: su mujer Betty, con una paciencia infinita, y sus tres hijas Femke, Hannah y Emma, todas ellas encantadoras.

Cuando aquel período llegó a su fin, en mi discurso de despedida, afirmé: “no puedo imaginar un lugar mejor que éste para hacer un posdoc: el grupo, la universidad, la ciudad, el país...”. Luego, al regresar definitivamente a

mi Vitoria-Gasteiz natal, le dije a mi esposa: “algún día le darán el Nobel”... El resto ya es historia.

Gefeliciteerd Ben! ¡Te lo mereces!

JAVIER VICARIO

Investigador del Departamento de Química Orgánica
de la Facultad de Farmacia de la UPV/EHU
Vitoria-Gasteiz

Jean Pierre Sauvage

Jean Pierre Sauvage, nació en París en 1944. Especializado en la química supramolecular, actualmente desarrolla su labor en la Universidad de Estrasburgo donde es profesor emérito. Trabajó en áreas como la reducción electroquímica de CO_2 . Sus investigaciones se centran en la topología molecular, específicamente en las arquitecturas moleculares mecánicamente entrelazadas.

Fue elegido Académico Correspondiente de la Academia de Ciencias de Francia el 26 de marzo de 1990, y miembro de esta institución el 24 de noviembre de 1997. Director de investigaciones en el CNRS. En 2014, la Fundación de la Chimie Maison le otorgó su Gran Premio calificándolo como “uno de los más creativos y más eminentes químicos franceses”.

Aunque el físico americano Richard Feynman predijo en los años 50 la posibilidad de fabricar nanomáquinas, Jean Pierre Sauvage dio el primer paso hacia las máquinas moleculares con su síntesis del primer catenano en 1983. De esta forma se demostró la posibilidad de conectar dos moléculas anulares para formar un catenano. En este caso, los enlaces entre moléculas eran de naturaleza mecánica, con un entrelazado entre ambas. Este fue el inicio de una área de investigación en un lugar que Feynman afirmaba “había mucho sitio”. Los trabajos



Jean Pierre Sauvage

de pioneros como Jean-Pierre Sauvage nos permitirán ir ocupando poco a poco este espacio.

Enhorabuena al profesor Sauvage

El equipo editorial de *Anales de Química*

Software BioProfe: ejercicios de física, química y matemáticas para descargar y resolver en computadora o tableta

El sector de la educación se enfrenta al reto de adaptar su actividad a las TIC. En estos últimos años se ha empezado a introducir en la actividad diaria de los centros los dispositivos electrónicos que son ya habituales en la vida de las personas en sus hogares, en sus centros de trabajo y durante el resto de su actividad diaria fuera del ambiente familiar y profesional.

Hasta ahora, el método tradicional de enseñanza es el que ha continuado teniendo presencia en la mayoría de los centros de educación. Profesores que imparten sus clases presencialmente, alumnos que llevan a cabo sus tareas manualmente, y unos procesos de evaluación que son también eminentemente presenciales.

Evidentemente no se puede cambiar un método de enseñanza de la noche a la mañana. Sobre todo cuando éste está tan arraigado y ha demostrado ser tan efectivo. Pero sí que es posible ir adaptando su metodología a los nuevos tiempos. Si el uso de los dispositivos electrónicos –smartphones, tabletas u ordenadores– es ya habitual, si no imprescindible, en la vida de las personas, la comunidad educativa no puede ser ajena a esta realidad.

BioProfe es un software que está disponible para las plataformas de las principales marcas (Microsoft, Apple, Google...) en sus diversas versiones para ordenadores de sobremesa, portátiles, tabletas y smartphones bajo sus diferentes sistemas operativos (Windows, iOS, Android...). Está diseñado para ofrecer la posibilidad a los alumnos de estudiar los conceptos de las asignaturas de Matemáticas o de Física y Química y realizar ejercicios de diferentes disciplinas, y a los docentes la opción de generar, corregir y evaluar. Se trata de una buena plataforma para facilitar la realización de ejercicios de ampliación y refuerzo de las áreas que se han incluido hasta la fecha en el producto.

La descarga de la aplicación se puede hacer desde Windows Store, Windows PC, Appstore y Google Play dependiendo de nuestro dispositivo.

La plataforma se compone de dos aplicaciones:

- BioProfe Reader, para el estudiante, que le permite resolver los ejercicios y es una aplicación gratuita.
- BioProfe Solutions, para el profesor, es una aplicación con coste que se compone de dos herramientas cuyas funcionalidades comentamos a continuación:



- BioProfe Creator le permite crear los ejercicios que serán enviados a los alumnos.
- BioProfe Corrector permite la corrección de los exámenes y la obtención de estadísticas acerca de los mismos.

Los profesores pueden a través de BioProfe Solutions crear ejercicios específicos para un determinado tema, corregirlos y hasta evaluar a sus alumnos. Posibilita verificar que los alumnos están realizando progresos en su aprendizaje, al mismo tiempo que se les puede evaluar en función de los resultados que estén obteniendo en los ejercicios del software.

La herramienta BioProfe Creator permite elaborar ejercicios o exámenes autocorregibles de cualquier asignatura en cualquier nivel del sistema educativo que podrá enviar a sus alumnos para que estos los resuelvan de una forma dinámica e intuitiva, utilizando sus propios dispositivos. Dichos ejercicios podrán contener texto (a desarrollar o preguntas tipo test), fórmulas matemáticas y gráficos. Además, una vez resueltos por los alumnos, podrán tener acceso a los datos estadísticos con la evolución de cada uno de ellos, o de la clase en su conjunto.

BioProfe posee editor de fórmulas, que posibilita interactuar con los ejercicios desde cualquier dispositivo fijo o móvil.

Esta aplicación pone a disposición de sus usuarios una novedosa solución para ejercicios y exámenes basada en la creación y resolución de incógnitas dentro de las fórmulas mediante sencillos teclados virtuales que aparecen en el momento en que se seleccionan dichas incógnitas, con lo que se aporta un gran valor añadido a asignaturas como Física, Química o Matemáticas. La tabla periódica de elementos ha sido recientemente incluida en dicha solución, ofreciendo una alternativa única en el mercado para Química. Así, los teclados virtuales emergentes pueden ser de cinco tipos:

- Numérico.
- Razones trigonométricas (seno, coseno, tangente, etc.).
- Los signos “+” y “-”.
- Tabla Periódica para que el alumno escoja un elemento químico.
- Los tres enlaces químicos (simple, doble y triple).

Cada rama de cada asignatura cuenta con bloques de teoría que puedan servir al estudiante de apoyo en la resolución de los ejercicios y con exámenes “demo” con los que podrán practicar y comprobar las utilidades y funcionalidades de BioProfe. La herramienta ha sido desarrollada en español e inglés, al igual que todos y cada uno de los ejercicios incluidos en ella.

Cabe también destacar que el usuario no encontrará únicamente ejercicios de Física, Química o Matemáticas

en BioProfe. Otras disciplinas, como Historia, Geografía, Ciencia, Música, Cine y Televisión o Arte, cuentan también con un número considerable de exámenes a su disposición.

Todas estas funcionalidades reunidas en una sola herramienta hacen que BioProfe se posiciona como una completa propuesta que aporta un valor añadido a la oferta educativa que los estudiantes y profesores tienen hoy día a su alcance.

En mi opinión la mayor ventaja de esta aplicación es que nos permite a los profesores estar en permanente contacto con nuestros alumnos, verificando si están realizando progresos en su aprendizaje, al mismo tiempo que los evaluamos en función de los resultados que estén obteniendo. Por su parte, los alumnos contarían con una buena herramienta para mejorar sus habilidades en algunas de las asignaturas en las que encuentran más dificultades, entre las que se encuentran Matemáticas, Física y Química. Aunque en la red se puede tener acceso a numerosos ejercicios de estas materias, la mayoría o no están resueltos o sólo indican el resultado final, sin explicar el procedimiento que se ha utilizado para resolverlos.

BioProfe permite que los alumnos puedan practicar y rehacer una y mil veces los ejercicios, contando además con la ayuda y seguimiento personalizado del profesor.

CARMEN REDONDO
Colegio Estudio
Editora Asociada de *Anales de Química*

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.

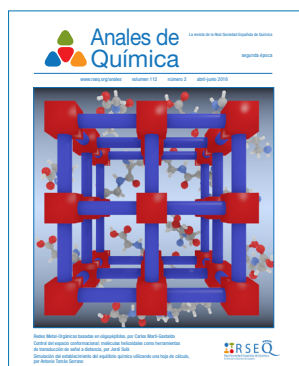
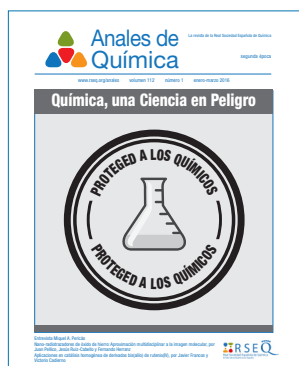
A partir de enero de 2016, se rechazarán todos los artículos que incumplan estas normas



ENVÍA TUS ARTÍCULOS A
www.analesdequimica.es



The screenshot displays the website for 'Anales de Química'. At the top, there is a navigation bar with links: INICIO, ACERCA DE, INICIAR SESIÓN, REGISTRARSE, BUSCAR, ACTUAL, ARCHIVOS. Below this, the journal title 'Anales de Química' is prominently displayed. A descriptive paragraph follows, stating that the journal publishes original scientific works, reviews, and research in chemistry, with a focus on quality and relevance. Below the description, the current issue is identified as 'Vol. 112, núm. 3 (2016): Anales de Química'. A 'TABLA DE CONTENIDOS' section is visible, featuring a thumbnail image of the journal cover. On the right side, there is a sidebar with several sections: 'Ayuda de la revista', a user login form (USUARIO/A) with fields for 'Nombre de usuario/a' and 'Contraseña', and a 'Notificaciones' section with 'Ver' and 'Suscribirse' options. Below that is a 'CONTENIDO DE LA REVISTA' section with a search bar and a 'Buscar' button. At the bottom of the sidebar, there are options for 'Examinar' (Por número, Por autor/a, Por título) and 'TAMAÑO DE FUENTE' (font size controls). An 'INFORMACIÓN' section at the very bottom provides links for 'Para los lectores/as', 'Para los autores/as', and 'Para los bibliotecarios/as'. The ISSN number 1575-3417 is also visible at the bottom left of the page content.



ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

• **Pilar Amo-Ochoa**

¿Qué tiene que ver la piezoelectricidad con la inteligencia? • 2016, 112 (4) 242-248.

• **Tomás Serrano, Antonio**

Simulación del establecimiento del equilibrio químico utilizando una hoja de cálculo • 2016, 112 (2) 95-100.

• **Ruiz Morillas, Nuria**

El documental como recurso didáctico y el decrecimiento como tema debate en el estudio de las Ciencias Ambientales • 2016, 112 (1) 41-45.

HISTORIA DE LA QUÍMICA

• **Cepeda Ruiz, Javier**

Véase, Román Polo, Pascual.

• **Martín Sánchez, Manuela**

Una aproximación a la historia de la enseñanza de la Química en España en niveles no universitarios • 2016, 112 (4) 231-241.

• **Martín Sánchez, María Teresa**

Véase, Martín Sánchez, Manuela.

• **Pérez Yáñez, Sonia**

Véase, Román Polo, Pascual.

• **Gabriel Pinto Cañón**

Véase, Martín Sánchez, Manuela.

• **Román Polo, Pascual**

¿Moseleyo, moseleyo o moseleyón? Una excelente oportunidad para honrar a Moseley en el centenario de su muerte • 2016, 112 (1) 101-106.

• **Wisniak, Jaime**

Eugène Souberain: Descubrimiento del cloroformo y otros compuestos clorados • 2016, 112 (1) 35-40.

• **Monforte Moreno, Manfredo**

Química y Defensa: matrimonio de conveniencia • 2016, 112 (3) 171-179.

INVESTIGACIÓN QUÍMICA

• **Acuña-Parés, Ferrán**

Véase, Lloret-Fillol, Julio.

• **Busto, Jesús H.**

Colaboración científica en la investigación química española: análisis de artículos de química publicados en revistas de impacto • 2016, 112 (4) 216-224.

• **Cadierno, Victorio**

Aplicaciones en catálisis homogénea de derivados bis(alilo) de rutenio (IV) • 2016, 112 (1) 24-34.

• **Call, Arnau**

Véase, Lloret-Fillol, Julio.

• **Casadevall, Carla**

Véase, Lloret-Fillol, Julio.

• **Castro-Osma, José A.**

Utilización de dióxido de carbono como fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos • 2016, 112 (4) 207-215.

• **Codolà, Zoel**

Véase, Lloret-Fillol, Julio.

• **Fernández-d'Arlas Bidegain, Borja**

Series liotrópicas en la química macromolecular • 2016, 112 (1) 79-94

- **Francos, Javier**
Véase, Cadierno, Victorio.
- **Herranz, Fernando**
Nano-radiotrazadores de óxido de hierro: Aproximación multidisciplinar a la imagen molecular • **2016**, *112* (1) 15-23.
- **León, Joaquín**
Véase, Busto, Jesús H.
- **Lloret-Fillol, Julio**
Catalizadores para la conversión de la energía solar en enlaces químicos • **2016**, *112* (3) 133-141.
- **Magriñá, Marta**
Véase, Busto, Jesús H.
- **Martí-Gastaldo, Carlos**
Redes Metal-Orgánicas basadas en oligopéptidos • **2016**, *112* (2) 69-78.
- **Martínez, Claudio**
Véase, Muñiz, Kilian.
- **Muñiz, Kilian**
Formación de enlaces Alquilo-Nitrógeno catalizada por paladio **2016**, *112* (3) 142-150.
- **Pellico, Juan**
Véase, Herranz, Fernando.

- **Rodríguez de Lera, Ángel**
Epigenética y modulación química de la transcripción génica con productos naturales • **2016**, *112* (3) 151-170.
- **Ruiz-Cabello, Jesús**
Véase, Herranz, Fernando.
- **Solà, Jordi**
Control del espacio conformacional: moléculas helicoidales como herramientas de transducción de señal a distancia • **2016**, *112* (2) 59-67.

OPINIÓN

- **Martín-Lomas, Manuel**
Palabras en nombre de los galardonados con la «Medalla de los cincuenta años» de la Real Sociedad Española de Química • **2016**, *112* (4) 205-206.
- **M. Pérez, Emilio**
Los nudos y el *brexít* • **2016**, *112* (3) 130-132.

QUÍMICA Y SOCIEDAD

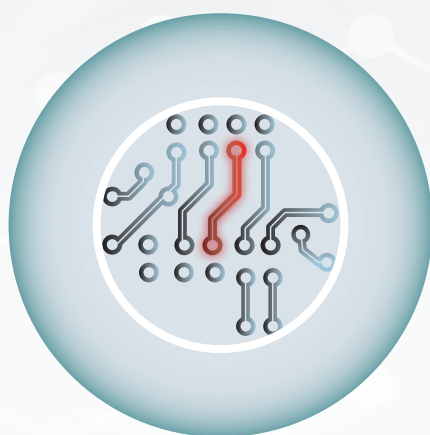
- **Gómez Sainz de Aja, Nieves**
La actividad de la Autoridad Nacional Española en el marco de la Convención para la Prohibición de las Armas Químicas • **2016**, *112* (4) 225-230.

MATERIALS TO DRIVE INNOVATION



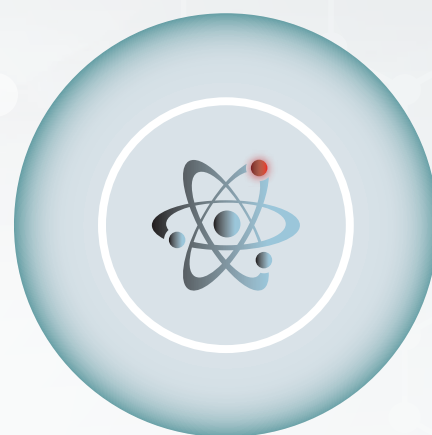
BIOMEDICAL

- Materials for drug delivery, bone and tissue engineering
- PEGs, biodegradable and natural polymers
- Functionalized nanoparticles
- Block copolymers and dendrimers
- Nanoclays



ELECTRONICS

- Nanowires
- Printed electronics inks and pastes
- Materials for OPV, OFET and OLED
- Nanodispersions
- CNTs and graphene
- Precursors for PVD, CVD and sputtering



ENERGY

- Electrode and electrolyte materials for batteries and fuel cells
- Hydrogen storage materials, including MOFs
- Phosphors
- Thermoelectrics
- Nanomaterials
- Precursors for nanomaterials and nanocomposites

Find more information on our capabilities at

aldrich.com/matsci

*Enabling Science to
Improve the Quality of Life*

Order/Customer Service: sigma-aldrich.com/order
Technical Service: sigma-aldrich.com/techservice
Development/Custom Manufacturing Inquiries **SAFC**[®] safcglobal@sial.com
Safety-related Information: sigma-aldrich.com/safetycenter

World Headquarters
3050 Spruce St.
St. Louis, MO 63103
(314) 771-5765
sigma-aldrich.com