



Dióxido de carbono, sus dos caras, Maribel Arroyo y Armando Ramírez-Monroy

Rolf Huisgen (1920-2020) y las reacciones 1,3-dipolares: una perspectiva muy personal, Fernando P. Cossío

Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos, María Matos, Susana Luque y Gemma Gutiérrez



## Anales de Química

### Revista de la Real Sociedad Española de Química

#### Editor General

Miguel Ángel Sierra  
*Universidad Complutense de Madrid*

#### Comité Editorial

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

José Manuel Costa  
*Universidad de Oviedo*

Óscar Millet  
*CICbioGUNE, Derio, Bizkaia*

Gabriel Pinto  
*Universidad Politécnica de Madrid*

M.<sup>a</sup> Carmen Redondo  
*Colegio Estudio, Madrid*

Elena Sáez  
*Universidad Complutense de Madrid*

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

Rolando A. Spanevello  
*Universidad Nacional de Rosario, Argentina*

Joaquín Tamariz  
*Instituto Politécnico Nacional, México*

Alejandro Toro-Labbé  
*Pontificia Universidad Católica de Chile*

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

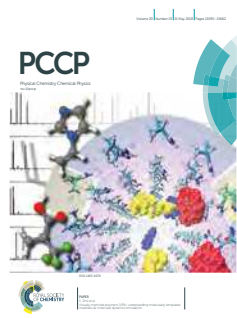
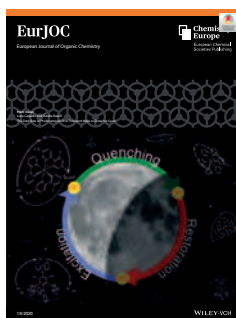
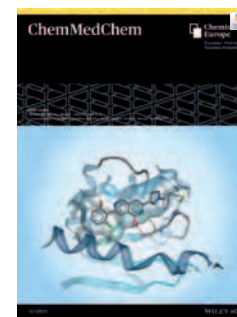
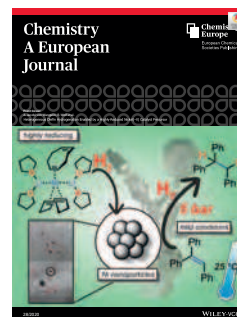
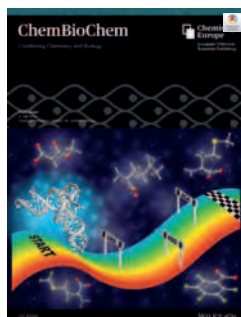
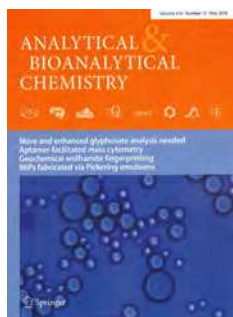
#### Secretaría Editorial

Patricia Yáñez-Sedeño  
*Real Sociedad Española de Química*  
[www.rseq.org](http://www.rseq.org)

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



### Revistas patrocinadas por la Real Sociedad Española de Química





Composición y producción:

Moisés Fernández  
Edinnova Taller Editorial

<b>Editorial</b> .....	56
<i>Miguel Ángel Sierra</i>	
<b>Carta del presidente</b> .....	58
<i>Antonio M. Echavarren</i>	
<b>Carta abierta de la RSEQ</b> .....	59
<i>J. Adolfo de Azcárraga, Antonio M. Echavarren y Francisco J. Marcellán</i>	
<b>Cartas al editor</b>	
Una carta de los alumnos de máster en Química .....	61
<b>Ensayo</b>	
Rolf Huisgen (1920-2020) y las reacciones 1,3-dipolares: una perspectiva muy personal .....	63
<i>Fernando P. Cossío</i>	
<b>Investigación Química</b>	
Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos .....	69
<i>María Matos, Susana Luque y Gemma Gutiérrez</i>	
<b>Enseñanza de la Química</b>	
Dióxido de carbono, sus dos caras .....	81
<i>Maribel Arroyo y Armando Ramírez Monroy</i>	
Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. Propuesta didáctica .....	88
<i>Otilia Val</i>	
<b>Noticias</b> .....	99
<b>Obituario</b>	
José Antonio Campo .....	118
Emilio Morán .....	120
<b>Radicales (muy) libres</b>	
I have a dream! .....	123
<i>Javier de Mendoza</i>	



Miguel Ángel Sierra

Érase una vez un país ni muy grande ni muy pequeño, más allá de las montañas que le separaban de otros países y que, como decían con orgullo sus habitantes, les hacían diferentes. Este país no había tenido una revolución como sus vecinos, ni dos guerras mundiales, pero para compensar había tenido una guerra entre hermanos que había valido por esas dos guerras y mucho más. Durante muchos años un señor bajito con bigote había dirigido (mejor dicho, había pisado) ese país con mano de hierro. Una de sus letanías era que su país era único y que no necesitaba para nada a sus países vecinos, ni tampoco al resto de los países del mundo, y muchos le creyeron. Y un buen día se murió como se muere todo el mundo y el país volvió a ser una monarquía con su rey, su reina y todo lo demás. Sus ciudadanos votaron y el país se transformó en una democracia. Después hubo muchos cambios y a los ciudadanos se les contó que su país era uno de los mejores del mundo. Pero para ver esto tenías que ser una persona lista. Si no lo eras y veías que algo raro pasaba, porque mucha gente no trabajaba, no había industria, muchos se enriquecían sin hacer o saber de “ná”, eras o un comunista trasnochado o un fascista irreverente, dependiendo de quien estuviera en el gobierno.

Y durante muchos años les contaron que todos los servicios que tenía ese país eran los mejores del mundo. Las mejores carreteras, la mejor sanidad, la mejor educación, la mejor investigación, y lo mejor de todo.

Pero para ver eso tenías que ser listo. Si no eras listo eso no lo veías. Veías carreteras con baches en los que te dejabas las ruedas del coche, listas de espera de varios meses en los hospitales para que te viesen un grano, un sistema de educación ignorado por los *rankings* internacionales, una investigación hecha con escasez de medios, sin una dirección clara, y que cambiaba de prioridades según el gobierno de turno. Por ningún sitio veían eso de que eran los mejores en todo.

Y un buen día llegó un dragón chiquitito, apenas perceptible, del otro lado del mundo. Y el dragón tenía una mala leche impresionante. En poco menos de dos meses arrasó ese país sin piedad. La mejor sanidad del mundo no pudo hacer frente a ese dragón porque no tenía medios para hacerlo. Y sus sanitarios se enfrentaron al dragón con las manos desnudas, dejándose por el camino su salud y en muchos casos sus vidas. Porque, eso sí, si hay algo que los ciudadanos de ese país tenían era valor. En ese país las cosas se habían hecho desde siempre por cojones.

Y de nuevo, como en otras catástrofes, los gobernantes miraron a sus magos que, trabajando con pocos recursos, pero con mucho afán, sobrevivían como podían.



Muchos magos se habían ido a otros países en los que no sólo se les respetaba, sino que además su capacidad de hacer magia se reconocía económicamente. Por primera vez en las comparencias en los medios de comunicación los dirigentes del país hablaban de magia. Y de nuevo se volvió a contar al pueblo que estábamos a la altura de otras comunidades de magos, los de aquellos países en los que la magia se respetaba y se pagaba, no día a día sino por décadas. Y, cómo no, el oro del país se vertió en magos que, a duras penas, habían sobrevivido en otros tiempos, con la esperanza de que derrotaran al dragón. Esto era algo tan arraigado en ese país que hasta tenían un refrán popular al respecto “nadie se acuerda de Santa Bárbara hasta que truena”.

Y mientras tanto, las mesnadas que querían acceder al gobierno, lejos de apoyar a éste en tiempos difíciles, se dedicaban a poner todo tipo de obstáculos a las decisiones de los dirigentes que intentaban combatir al dragón. Algo muy, muy de ese país. Al enemigo ni agua. En otros países que luchaban con este mismo dragón la unidad era algo que se daba por supuesto. Pero esos países eran extranjeros, con costumbres diferentes, bárbaros, herejes.

Mientras tanto, los ciudadanos de ese país seguían siendo los mejores. Se discutía sin tregua por qué no se volvían a reactivar los juegos públicos, y se gastaban recursos, que hacían falta en otros sitios, en analizar a los héroes que se ganaban la vida dando patadas a una bola, para ver si habían estado expuestos al aliento del dragón. Los centros de formación de magos (los únicos que podían luchar de forma eficiente contra el dragón) se mantenían cerrados, pero daba igual. A nadie parecía importarle.

Además, acostumbrados como estaban los magos de ese país a la forma de actuar de sus dirigentes, tenían

la seguridad de que, durante los siguientes años, el oro necesario para desarrollar las artes mágicas iría a parar a aquellos que habían sido lo suficientemente hábiles o afortunados como para decir que podían luchar contra el dragón. Esto era lo importante. El hecho de que la magia no se aprendía o desarrollaba de la noche a la mañana era irrelevante. Que la magia necesitara del conocimiento de todos los magos, desde los come-piedras y los extractores de esencias hasta los transmutadores de elementos, para ser eficiente, no era importante. Para percibir que lo importante era dar oro solo a los combatientes contra el dragón había que ser listo. En caso contrario, eras considerado o bien un resentido con el sistema o un envidioso que no había podido proponer algo interesante para luchar contra el dragón. Había pasado antes, con el extraño mal que años atrás enloqueció a las vacas o cuando los mares se volvieron negros con el chapapote.

Nadie podía prever que llegaría un dragón a ese país y que sería terrible. Las consecuencias del paso del dragón fueron demoledoras, pero, los dirigentes de ese país (los que gobernaban y los otros) seguían insistiendo en que todo era excelente, desde la gestión de su sanidad hasta su sistema educativo-universitario. Y como había ocurrido siempre en ese país, se compraron masivamente todo tipo de equipos y drogas para luchar contra el dragón, de una manera descoordinada e inefi-

ciente. El país pasó de una docencia arcaica a una docencia moderna *on-line*. Pero esto solo lo veían los ciudadanos inteligentes. Los que no eran tan listos veían que un porcentaje importante de alumnos no tenía posibilidad de acceder a esa docencia *on-line*. La razón era muy simple. En su casa el poco oro que llegaba era para comer, no había oro para internet y ordenadores.

Y el jefe de los magos, que no era un “archimago”, ni siquiera un nigromante, pero que había visto las estrellas montado en carrozas voladoras de países extranjeros, insistió en que el arma definitiva contra el dragón la harían sus magos, que tenían los mejores medios y la mejor infraestructura para ello. E insistió día tras día, tanto que parecía que el país estaba a la cabeza del mundo en la lucha contra el dragón. Los magos miraban asombrados, la magia se creaba de la nada después de años de abandono y olvido.

Y así, un buen día, un niño se levantó y miró al país con ojos inocentes. Agarrándose a su madre dijo “mami, el país está desnudo”.

Gracias por leer.

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

Antonio M. Echavarren

Estimados Socios:

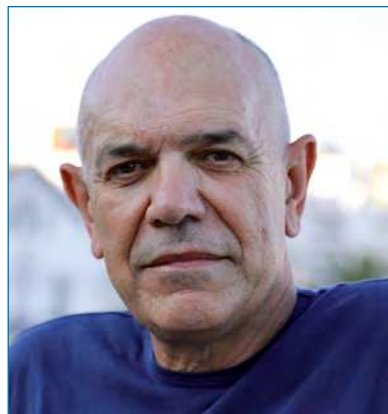
**E**l mundo ha sufrido durante estos tres últimos meses una convulsión de unas dimensiones desconocidas desde hace generaciones como consecuencia de la pandemia por el SARS-CoV-2. Desgraciadamente, España se ha encontrado entre los países más afectados, con un número de fallecidos que oscilan entre los aproximadamente 28.000 reconocidos oficialmente, hasta más de 43.000, si se considera el “exceso de mortalidad anual”. Entre ellos, nuestros compañeros José Antonio Campo y Emilio Morán, ambos profesores del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad Complutense, a cuyas familias quiero trasladar el más sentido pésame.

Algunos de nosotros hemos perdido amigos o familiares durante estos meses, además de ver como nuestra manera de vivir y de trabajar cambiaba casi de la noche a la mañana. Otros han llegado a perder el trabajo. En este escenario suena casi a frivolidad lamentarse por la cancelación de prácticamente todas las reuniones científicas. Aunque confío en que pronto podamos retomar la actividad normal, mientras tanto, haremos lo posible desde la RSEQ por seguir manteniendo simposios de forma telemática, al igual que hemos organizado de esta forma las últimas Juntas de Gobierno.

Dentro de la situación extraordinaria que hemos vivido, querría abordar un aspecto de la mal llamada “desescalada” que nos ha afectado a muchos directamente, como es el de la reapertura de las universidades y centros de investigación.

Aunque muchos laboratorios han conseguido finalmente retomar la actividad durante los meses de mayo y junio, el Ministerio (¿o Ministerios?) no ha considerado todavía prioritario que se reanuden las clases o hacer exámenes de fin de curso de forma presencial. Aunque sin duda se puede argumentar que cerrar todo hasta septiembre protegerá la salud de los estudiantes, estas razones resultan contradictorias con el hecho de que esos mismos estudiantes puedan estar ahora mismo compartiendo unas cervezas en grupo, codo con codo, en las terrazas de los bares.

Al hilo de esta reflexión, querría llamar la atención sobre actitudes como las reflejadas en una columna de opinión en *eldiario.es* el 21 de mayo escrita por dos investigadoras del CSIC que son, a la vez, delegadas de CC. OO., en la que critican las prisas de muchos investigadores a la hora de reabrir aquellos laboratorios de investigación que no centrasen su actividad en el SARS-CoV-2. Es decir, el resto no realizamos una actividad científica “esencial”. Estas investigadoras califican de “argumentos fútiles y de actitudes irresponsables” a los que habían mostrado, en



su opinión, indebidas prisas en reabrir los laboratorios. Esa columna tuvo réplica dos días más tarde en el mismo diario por parte de la Sociedad Española de Investigación sobre el Cáncer y de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular, en la que se aclaraba que son precisamente los investigadores en esa área los mayores expertos en bioseguridad. Igualmente, los químicos estamos perfectamente entrenados a manipular productos tóxicos y nuestros laboratorios son fácilmente adaptables al trabajo en las nuevas condiciones, manteniendo las distancias de seguridad, trabajando por turnos y reforzando las medidas higiénicas para evitar contagios.

Si ha sido urgente reabrir las peluquerías, otros comercios y las terrazas de los bares, ¿por qué ha costado tanto reabrir los laboratorios? ¿Por qué nadie en el Gobierno ha considerado que toda la investigación científica, no solo la del SARS-CoV-2, es tarea prioritaria del país? Entre muchas razones tan evidentes que da pereza reiterarlas, ¿no es prioritario también que nuestros estudiantes completen su masters y doctorados, para lo que es casi siempre necesario el trabajo experimental, para continuar con sus carreras investigadoras o profesionales? En el momento de escribir estas líneas, la mayor parte de nuestros estudiantes de master, atrapados en la confusión ministerial sobre la naturaleza de sus estudios, siguen esperando a que se les autorice a poder completar sus trabajos experimentales. Es de temer que, para salir del paso, se les acabe ofreciendo presentar un mero trabajo bibliográfico, un tipo de “aprobado general”, en línea con la continua degradación de los estudios que sufrimos desde hace años.

La preocupación de los estudiantes de máster de las universidades españolas se refleja en la Carta al Editor que aparece en este número de *Anales de Química*.

ANTONIO M. ECHAVARREN

Presidente de la Real Sociedad Española de Química

## El Ministerio de Educación y Formación Profesional no incluye las Matemáticas entre las materias comunes del Bachillerato

COMUNICADO DE LOS PRESIDENTES DE LAS REALES  
SOCIEDADES ESPAÑOLAS DE FÍSICA, QUÍMICA Y MATEMÁTICAS

17 de mayo de 2020

A lo largo de sus más de cien años de historia, y pese a las diversas y a veces difíciles vicisitudes que han atravesado a lo largo de su existencia, las Reales Sociedades Españolas de Física (RSEF), Química (RSEQ) y Matemáticas (RSME)<sup>1</sup> han dedicado sus esfuerzos al apoyo de la educación y la investigación en sus respectivas especialidades y, en conjunto, al avance científico y cultural de nuestro país; en suma, a su progreso económico y social. En sus orígenes, las sociedades contribuyeron de forma decisiva al despegue en España de nuestras respectivas ciencias durante lo que hoy se conoce como la Edad de Plata de la Ciencia Española, abruptamente concluida con la guerra civil (véanse nuestras webs, abajo). Más recientemente, esa actividad de fomento de la ciencia y de defensa de la cultura científica ha sido desarrollada por nuestras sociedades a través de iniciativas de alcance nacional e internacional que la RSEF, RSEQ y la RSME realizan fundamentalmente gracias a las aportaciones de las cuotas anuales de sus miembros pues las tres son completamente independientes y sin ánimo de lucro.

Sin embargo, el gran capital de conocimiento científico, educativo y cultural que almacenan nuestras sociedades ha sido tradicionalmente ignorado por Ministerios de todo tipo y color, incluso cuando se les han remitido Informes sobre alguna cuestión relevante. No obstante, eso no implica que en ocasiones especiales nuestras Sociedades, en cumplimiento de sus fines, no deban alzar su voz públicamente cuando se proyectan cambios legislativos de calado que pueden resultar muy lesivos para la ciencia y la sociedad española en su conjunto.

Este es el caso del “*Proyecto de Ley Orgánica por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación*”. No nos corresponde aquí analizar ese proyecto ni la *langue de bois* que domina el texto<sup>2</sup>, aunque sí cabría resaltar el hecho de que las *modificaciones* que contiene ese proyecto ocupan 81 páginas. Solo queremos comentar aquí lo que concierne a las asignaturas comunes del Bachillerato. El nuevo Art.

34.1 de la ley establecería que éste tendría tres modalidades:

1) Ciencias y Tecnología; 2) Humanidades y Ciencias Sociales y 3) Artes. A continuación, el Art. 34.2 dispone que “el bachillerato se organizará en materias comunes, en materias de modalidad y en materias optativas”. Y, seguidamente, el Art. 34.6 dictamina que “las materias comunes del bachillerato serán *a)* Educación Física; *b)* Filosofía; *c)* Historia de la Filosofía; *d)* Historia de España; *e)* Lengua Castellana y Literatura y, si la hubiere, Lengua Cooficial y Literatura y *f)* Lengua Extranjera. Como se comprueba, *las Matemáticas no figuran entre las asignaturas comunes*.

Creemos que esta omisión es un gravísimo error. Por supuesto, las matemáticas son esenciales en el estudio de la naturaleza: como ya observó Galileo ¡en 1623!, *il libro della natura è scritto in linguaggio matematico*. La Ciencia (y no solo ella) depende de las matemáticas y cada día lo hace en un mayor grado. Y es preciso asimilar una base general de las mismas cuanto antes: las matemáticas son un lenguaje y, como sucede con todas las lenguas, hay que aprenderlo cuando se es muy joven para poder utilizarlo bien. Omitir las matemáticas entre las asignaturas comunes erige una barrera que, además, dificultará mucho o incluso hará imposible que un alumno pueda cambiar si lo desea su trayectoria u orientación profesional en un futuro. La alfabetización científica requiere adquirir tempranamente unos mínimos conocimientos matemáticos.

Una de las características de nuestro tiempo es precisamente el alto contenido matemático que tiene buena parte de la información que recibimos y que afecta a nuestras vidas. El *anumerismo* de una fracción no desdeñable de la sociedad española deja indefensos a muchos ciudadanos ante buena parte de los datos numéricos que recibe y, lo que no es asunto menor, para detectar una posible tergiversación de esos datos, sea ésta casual o intencionada. Hay pues razones muy serias para evitar el *anumerismo*, incluso *de defensa de la democracia*: esta requiere una sociedad informada y no sumisa, por lo que la sociedad necesita un conocimiento elemental de las matemáticas. En estos terribles tiempos de la COVID-19 se procura, con razón, hacer el

<sup>1</sup> [www.rsef.es](http://www.rsef.es), [www.rseq.org](http://www.rseq.org), [www.rsme.es](http://www.rsme.es).

<sup>2</sup> <https://www.educacionyfp.gob.es/dam/jcr:8c7d3863-aaa7-4bbd-91b2-4d05bcb80286/apl-lomloe-web2020-03-03.pdf>.

mayor número posible de pruebas para conocer su distribución en España. Pues bien, para medir la extensión del *anumerismo* en la sociedad española bastaría hacer esta pregunta elemental a una muestra suficientemente amplia de sus ciudadanos: ¿cuánto son los tres quintos de dos tercios? Estamos seguros de que los redactores (y/o redactoras) de la nueva ley orgánica *de educación* responderían en dos segundos, pues así de sencilla es la pregunta. Pero, como ese no es universalmente el caso, resulta extraño observar que entre las materias *comunes* del Bachillerato se prevean *dos* asignaturas de filosofía y ninguna de matemáticas (ni tampoco de ciencias generales) pues, etimológicamente, filosofía es “amor a la sabiduría”.

Más aún: desde hace mucho tiempo ya no cabe hacer filosofía al margen de la ciencia, algo que no parecen apreciar los redactores (y/o redactoras) de las modificaciones de Ley Orgánica de Educación. Sin embargo, cuando hoy se conoce el mecanismo –las mutaciones genéticas y la selección natural– de la aparición y evolución de las especies, cuando ya se ha descifrado el genoma humano y la ingeniería genética no hace más que avanzar, cuando aspectos del comportamiento pueden analizarse a la luz de la sociobiología, cuando se sabe que ciertas comunidades de primates y otros mamíferos poseen rudimentos de cultura, cuando la investigación sobre los procesos neuronales y de adquisición del conocimiento no hace sino progresar, cuando se

conoce que el espacio-tiempo no es euclídeo pese a lo que afirmó Kant *a priori*, cuando la futura computación cuántica y la inteligencia artificial podrían cambiar completamente nuestras vidas, resulta obvio que hoy no cabe pensamiento filosófico al margen de la ciencia. Todo esto resulta evidente ahora mismo, cuando la COVID-19 requiere de la urgente invención de nuevos fármacos y vacunas que detengan esta y futuras pandemias. Y no puede haber ciencia sin matemáticas, palabra que, por cierto y también etimológicamente, significa conocimiento. Por ello, el mencionado proyecto de ley orgánica debe ser modificado para no privar de esa mínima formación matemática a *ninguno* de nuestros futuros bachilleres. Sencillamente, ni ellos ni el país se lo merecen.

Finalmente, queremos resaltar que la UNESCO ha declarado el 14 de marzo (rememorando el número  $\pi$  -*pi*- al estilo del calendario anglosajón 3/14 que escribe el mes antes del día) como Día Internacional de las Matemáticas<sup>3</sup>. En su primera celebración (2020), el mensaje *Mathematics is everywhere* pone de manifiesto esa presencia de las matemáticas en nuestra vida cotidiana que debe reflejarse también en el ámbito educativo.

J. ADOLFO DE AZCÁRRAGA, ANTONIO M. ECHAVARREN  
Y FRANCISCO J. MARCELLÁN, PRESIDENTES DE LA RSEF,  
LA RSEQ Y LA RSME, RESPECTIVAMENTE

<sup>3</sup> <https://en.unesco.org/commemorations/mathematics>



## Carta de los alumnos de máster en Química

Dirigido a:  
Antonio M. Echavarren, presidente de la Real Sociedad Española de Química

15 de junio de 2020

Le enviamos este escrito con el ruego de que se le dé la máxima difusión en la Real Sociedad Española de Química. Este escrito ha sido redactado por estudiantes de máster en Química de diversas universidades españolas con el propósito de hacer pública la situación en la que nos encontramos con respecto a la realización de los trabajos de fin de máster a consecuencia de la pandemia del COVID-19.

Tras la declaración del Estado de alarma, el 14 de marzo del 2020, mediante el Real Decreto 463/2020, que se ha ido prorrogando y que sigue vigente a día de hoy, en su Art. 9 se establece que se suspende la actividad educativa presencial en todos los centros y etapas, ciclos, grados, cursos y niveles de enseñanza [...] incluida la enseñanza universitaria, así como cualesquiera otras actividades educativas o de formación impartidas en otros centros públicos o privados. Así pues, se suspendió toda actividad formativa presencial, incluyendo la realización de los trabajos de fin de máster. En el caso de la Química y de otras disciplinas científicas, estos trabajos de fin de máster están vinculados a la investigación científica y su actividad principal se lleva a cabo en laboratorios, junto con estudiantes de doctorado, investigadores posdoctorales y profesores. El aprendizaje experimental supone al menos el 50% de la formación de la mayor parte de los másteres en Química, lo que los hace tan atractivos en nuestro campo y es el motivo por el cual la mayoría de nosotros optamos por estos estudios. Esta formación es un requisito imprescindible para nuestra carrera científica, tanto para continuar con los estudios de Doctorado en la Universidad o en centros de investigación, como para trabajar en empresas.

El pasado 21 de mayo de 2020, el ministro de Universidades, Sr. Manuel Castells Oliván, se dirigió mediante un escrito a la Conferencia de Rectores de las Universidades Españolas (CRUE) autorizando que siguieran su curso las prácticas externas de los estudios de grado y máster de las universidades españolas que se realicen en empresas, instituciones o entidades que no tuvieran limitada totalmente su actividad. No obstante, este escrito no hace mención a los trabajos de fin de máster, declarándose que todo aquello que no estuviese explícitamente permitido, estaría prohibido.

En nuestra opinión, realizar el trabajo de fin de máster, esencial en el plan de estudios, debería tener mayor

consideración que las prácticas externas, que no son obligatorias. A pesar de ello, las autoridades ministeriales no han permitido hasta la fecha que los estudiantes de máster puedan retomar dicha actividad junto a sus compañeros de doctorado e investigadores posdoctorales que en muchas universidades y centros de investigación llevan ya semanas trabajando, manteniendo naturalmente las medidas de precaución necesarias para evitar el contagio por COVID-19.

En este momento crítico para la sociedad, en el que debería ser más patente la importancia de la investigación e innovación, las autoridades ministeriales parecen haber olvidado que para los estudios de máster en Química y otras disciplinas científicas la experimentación en laboratorios de investigación es fundamental. Sin embargo, nos encontramos con resoluciones en las que se nos ignora. Los comunicados que hemos recibido por parte de los equipos rectorales de las Universidades han sido muy escasos y sin información concreta. Actualmente no hay directrices ni se han ofrecido alternativas para continuar con nuestros proyectos. Lamentablemente, una vez más, se da preferencia a los aspectos recreativos, a la educación no universitaria y a las academias privadas, olvidando que esta primera etapa de investigación desarrollada en el contexto de los másteres es fundamental para apoyar nuestra vocación científica.

Cordialmente,

ÀLEX MARTÍ y GALA OGALLA  
(Master in Synthesis, Catalysis and Molecular Design,  
Universitat Rovira i Virgili)

AMANDA ABAD  
(Máster de Genética, Física y Química Forense,  
Universitat Rovira i Virgili)

ARIADNA DASCA BENEITO  
(Máster en Nanociencia, materiales y procesos:  
Tecnología Química de Frontera, Universitat Rovira i Virgili)

MARÍA JESÚS AGUILERA ROLDÁN,  
ISABEL ARRANZ DE LA CALLE  
y MARÍA BRAUN CORNEJO  
(Máster de Química Orgánica, Universidad Autónoma de Madrid)

JAVIER ACERO GÓMEZ  
(Máster en Técnicas Cromatográficas  
en el Sector Químico-Farmacéutico, Universidad de Alcalá)

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



XXXVIII REUNIÓN BIENAL

**RSEQ**  
GRANADA 2021

28 DE JUNIO / 2 DE JULIO

REAL SOCIEDAD ESPAÑOLA DE QUÍMICA





## Rolf Huisgen (1920-2020) y las reacciones 1,3-dipolares Una perspectiva muy personal

Fernando P. Cossío

El pasado 26 de marzo de 2020 nos enteramos de la triste noticia del fallecimiento del profesor Rolf Huisgen, a la edad de noventa y nueve años. No llegó a los cien por muy poco, ya que había nacido el 13 de junio de 1920. La noticia me llegó a través del *tuit* que envió urbi et orbi *Angewandte Chemie*. Como es lógico, me pilló en mi confinamiento domiciliario y me dejó bastante apenado. Confieso que lo primero que pensé fue: “Ya no le darán el premio Nobel”. Es conocido que fue candidato varias veces, pero no llegó a recibir el premio por razones que son difíciles de comprender. En esta misma revista, el profesor José Elguero mencionó el año pasado<sup>[1]</sup> la posibilidad que se barajaba entonces de que las reacciones 1,3-dipolares recibieran el galardón, a través de su variante *click* promovida por Barry Sharpless<sup>[2]</sup> y la aplicación de la reacción en química bioorgánica por Carolyn Bertozzi.<sup>[3]</sup> En dicho artículo, el profesor Elguero indicaba que le parecía inaceptable que se diera el premio a quienes expandieron la reacción y no a quien la descubrió. Estoy de acuerdo con el profesor Elguero. Desde luego, en ciencia siempre (o casi siempre) hay precedentes. Ya escribió el filósofo Alfred N. Whitehead<sup>[4]</sup> que: *Everything of importance has been said before by somebody who did not discover it*. En el caso de las reacciones 1,3-dipolares, esos “alguien” fueron, que sepamos, Eduard Buchner<sup>[5]</sup> y Ernst Beckmann,<sup>[6]</sup> quienes describieron a finales del siglo XIX la formación de aductos en el contexto de la química de



Figura 1. Rolf Huisgen en 2004 (Lic. Creative Commons). Esta fotografía refleja el interés de Huisgen por las artes, en particular la pintura

diazocompuestos y oximas, aunque no la reconocieron como una reacción 1,3-dipolar. Fue Huisgen quien identificó esta reacción<sup>[7]</sup> y le dio carta de naturaleza:<sup>[8]</sup> es decir, quien la *descubrió*. Además, puso la reacción en el contexto de las cicloadiciones y estableció la clasificación general de los 1,3-dipolos.<sup>[9]</sup> No contento con ello, predijo nuevas reacciones de este tipo. No es de extrañar que, como consecuencia de esta inmensa labor, con el tiempo la reacción 1,3-dipolar, en sus diferentes versiones, pasaría a llamarse conjuntamente “Huisgen reaction”.

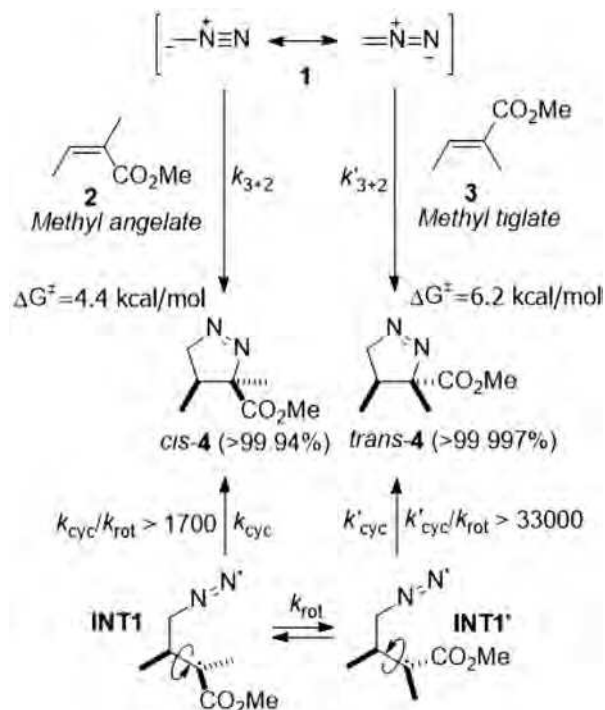
A lo largo de su larga vida Huisgen ejerció una enorme influencia sobre la química alemana y mundial. Sus logros y aventuras científicas han sido profusamente descritos (también por él mismo, en una magnífica autobiografía)<sup>[10]</sup> y no los voy a repetir aquí.<sup>[11-15]</sup> Me centraré en esta semblanza en los aspectos mecanísticos



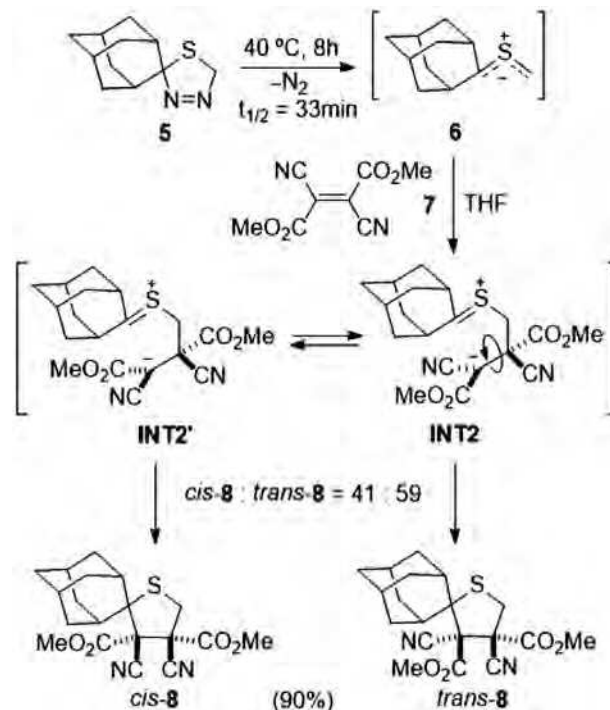
F. P. Cossío

Departamento de Química Orgánica I / Kimika Organikoko I Saila Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU) y Donostia International Physics Center (DIPC) P.º Manuel de Lardizabal Etorbidea, 3 20018 San Sebastián /Donostia C-e: [fp.cossio@ehu.es](mailto:fp.cossio@ehu.es)

Recibido: 10/04/2020. Aceptado: 30/04/2020.



**Esquema 1.** Experimento de Huisgen *et al.*, en el que se puso de manifiesto la retención de configuración del dipolarófilo en reacciones 1,3-dipolares, compatible con un mecanismo concertado de tipo [p4s+p2s]. Véase referencia



**Esquema 2.** Un ejemplo de la primera reacción 1,3-dipolar por etapas publicada por Huisgen en 1986. Nótese que los intermedios son zwitteriónicos y no biradicalarios

de las reacciones 1,3-dipolares y de cómo los ecos de la batalla que generaron me pillaron de refilón.

Huisgen estuvo siempre muy interesado en los mecanismos de reacción y parece que se consideró a sí mismo como un químico-físico orgánico. Por ello, desde el principio intentó establecer las variables cinéticas<sup>7</sup> de las reacciones 1,3-dipolares y llegó a la conclusión de que eran reacciones concertadas, es decir, sin participación de intermedios de reacción.<sup>[16]</sup> Además, señaló que se trataba de cicloadiciones (3+2) en la que el 1,3-dipolo aporta cuatro electrones y el dipolarófilo dos, resultando en un proceso de seis electrones en el que ambos reactivos interaccionan en modo suprafacial (*à la Diels-Alder*) de tipo [π4s+π2s], en línea con las reglas de Woodward y Hoffmann para cicloadiciones térmicas permitidas por la simetría orbital.<sup>[17]</sup> Este mecanismo concertado fue analizado, entre otros, por Houk<sup>[18]</sup> y Sustmann<sup>[19]</sup> y permitió racionalizar de forma sencilla y elegante la regioquímica y la estereoquímica de la reacción. Sin embargo, al poco tiempo, Raymond A. Firestone señaló, sobre argumentos electrónicos y estereoquímicos, que el mecanismo de las reacciones era por etapas a través de intermedios biradicalarios.<sup>[20]</sup> La respuesta (iba a escribir “reacción”) de Huisgen fue fulminante y en un artículo publicado *back-to-back* al de Firestone<sup>[21]</sup> argumentó enérgicamente contra esta hipótesis. El debate Huisgen-Firestone prosiguió durante algún tiempo (no vamos a entrar en detalles). Hay que señalar que el análisis del carácter concertado de la reacción alcanzó un punto álgido en 1978, cuando

Huisgen publicó<sup>[22]</sup> un formidable análisis estereoquímico resumido en el Esquema 1, en el que se demostró que las reacciones entre el diazometano y los ésteres **2** y **3** daban lugar a los cicloadductos *cis-4* y *trans-4* con una estereoselectividad ajustada a niveles altísimos, hasta el punto de que una hipotética reacción concertada debería implicar unas barreras de rotación para los intermedios **INT** e **INT'** (un cambio conformacional) tres o cuatro órdenes de magnitud más altas que los asociados a la segunda reacción de formación del enlace C-N, algo que, de existir, sería extremadamente extraño (Esquema 1). La navaja de Occam (*entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*) llevaba inevitablemente al mecanismo concertado. Ya en 1985, el propio Firestone y Kendall N. Houk publicaron conjuntamente otro artículo<sup>[23]</sup> que, al menos en principio, zanjaba la cuestión sobre medidas cinéticas y estereoquímicas compatibles con el mecanismo concertado suprafacial, asociado a la retención de la configuración de los alquenos de partida, en este caso isómeros de 1,2-dideuterioetileno, libres de efectos estéricos.

Como colofón irónico de esta historia, un año después Huisgen publicó la primera reacción 1,3-dipolar por etapas<sup>[24]</sup> entre tiazolidinoneos tales como **6** (Esquema 2) provenientes de 1,3,4-tiazolidinas **5** y alquenos tetrasustituidos **7**. Eso sí, los intermedios eran zwitteriónicos y no biradicalarios (hasta ahí podíamos llegar). En efecto, la mezcla de isómeros *cis-8* y *trans-8* eran un claro indicio, esta vez sí, de la participación de los intermedios **INT2** e **INT2'** (Esquema 2). Por otra parte,



pese al artículo con Houk, Firestone en realidad no ha dado nunca su brazo a torcer y sigue opinando que las reacciones 1,3-dipolares (y, otras reacciones pericíclicas como la reacción de Diels-Alder y la reacción de Cope-Claisen) son en general por etapas y a través de biradicales.<sup>[25]</sup>

En este estado de cosas, a finales de los noventa en nuestro grupo estábamos muy interesados en la aromaticidad de los estados de transición.<sup>[26-27]</sup> El hecho de que la regla  $4n+2$  de Hückel de aromaticidad coincidiera con la de Woodward y Hoffmann para cicloadiciones suprafaciales térmicas permitidas me parecía fascinante. Manías que tiene uno. Pensaba que los criterios geométricos de aromaticidad podían extenderse a la sincronidad de estados de transición y que los criterios magnéticos, que serían actualizados y cuantificados por Paul v. R. Schleyer,<sup>[28]</sup> permitirían caracterizar adecuadamente las reacciones 1,3-dipolares concertadas. Además, la versatilidad de este tipo de reacciones permitiría estudiar casos muy diversos que, pensábamos, darían lugar a muchos matices.

Así fue: en nuestro primer artículo<sup>[29]</sup> encontramos que los estados de transición de estas reacciones mostraban aromaticidad en el plano (*in-plane aromaticity*). Más aún: la reacción 1,3-dipolar entre el acetileno y el ácido fulmínico para dar isoxazol (un heterociclo aromático) mostró que la aromaticidad de un estado de transición (*in-plane*) y de una molécula aromática eran completamente diferentes. La primera sorpresa fue que, tras publicar el artículo, recibí una carta (entonces se escribían cartas) de Firestone en la que, muy amablemente, me indicaba que él ya señaló en su artículo de 1968<sup>[20]</sup> que en, el caso de que la reacción fuera concertada, en el estado de transición podría desarrollarse aromaticidad. La carta me dejó bastante estupefacto porque hacía referencia

precisamente al artículo que desencadenó la polémica. Pero, al revisar la estructura III de su artículo (Figura 3), me di cuenta de que los orbitales que marcaba como responsables de la aromaticidad llevaban a una aromaticidad  $\pi$ , no  $\sigma$ . Además, esta aromaticidad  $\pi$  (convencional) aparecía muy de pasada en un mecanismo concertado que él negaba a continuación. De hecho, en su artículo escribió: [...] *a cycloaddition leading to an aromatic product, if it were to occur concertedly, would not be required to eschew the arrangement III* [...]. Cubrir todas las posibilidades es una forma de acertar (un reloj parado acierta dos veces al día), pero, en mi opinión, la deriva posterior de su razonamiento anulaba la reivindicación de aromaticidad, que correspondía a un sistema  $\pi$  en el producto y no a los enlaces  $\sigma$  en formación en el estado de transición. Volviendo a la cita de Whitehead, en mi opinión Firestone *habló* de aromaticidad (aromaticidad  $\pi$ , para más inri) en reacciones 1,3-dipolares en su famoso artículo, pero no la *descubrió*.

Después de este primer trabajo, desarrollamos en nuestro grupo un modelo físico bastante simple, pero efectivo. Así, encontramos que el apantallamiento diamagnético  $\sigma_{zz}^d$  inducido por una corriente de anillo, circulando con un radio promedio  $R_{av}$  a una cierta distancia  $R_0$  sobre el plano molecular medio  $xy$ , se correspondía perfectamente con la evolución del NICS<sup>28</sup> (*Nucleus-Independent Chemical Shift*) a lo largo del eje  $z$  del campo magnético, indicada en la Figura 2:

$$\frac{\sigma_{zz}^d}{\sigma_{\max}^d} = \left[ 1 + \left( \frac{z - R_0}{R_{av}} \right)^2 \right]^{-3/2} \approx \frac{NICS_{zz}}{NICS_{\max}}$$

Este modelo nos permitió reproducir perfectamente la aromaticidad en el plano ( $R_0 = 0$ ) de estados de transición de reacciones 1,3-dipolares y la aromaticidad  $\pi$  ( $R_0 \neq 0$ ) de hidrocarburos y heterociclos aromáticos.<sup>[30]</sup> Este segundo artículo fue amablemente comentado por el profesor Alan R. Katritzky, que me hizo llegar (también por carta) un artículo suyo<sup>[31]</sup> acerca de su concepción

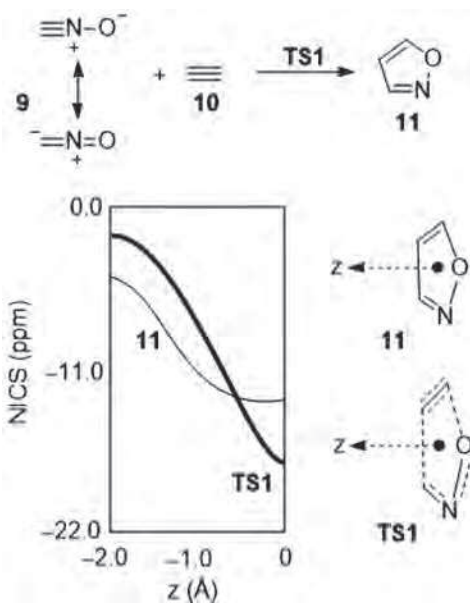


Figura 2. Una representación de nuestro primer artículo (ref. 29) sobre aromaticidades  $\pi$  y  $\sigma$  en reacciones 1,3-dipolares

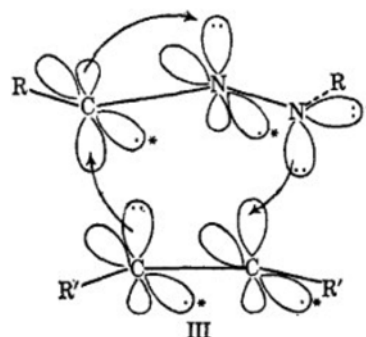


Figura 3. La "estructura III" del artículo "biradicalario" de 1968 de Firestone (ref. 18). Los orbitales atómicos responsables de la aromaticidad  $\pi$  en el producto de la reacción (en este caso, un 1H-pirazol) están marcados con asteriscos. Reproducido con permiso de la *American Chemical Society*

de la aromaticidad como un concepto multidimensional que no podía ser reducido a un único criterio, en este caso el magnético. Posteriormente, en un congreso en *Louvaine-la-Neuve*, cuando discutí con el profesor Schleyer acerca de la abundancia de criterios de aromaticidad, recuerdo que me contestó: “Mira, Fernando, hay muchos criterios de aromaticidad. Lo que pasa es que unos son mejores que otros”. Genio y figura.

Posteriormente, con motivo de su participación en la Bienal de la RSEQ celebrada en Logroño, comenzamos a elaborar un trabajo conjunto, que fue completado en su visita a Bilbao, Gernika y Donosti. Dicho trabajo se publicó en 1999<sup>[32]</sup> y fue el principio de nuestra amistad. En el curso de una comida en el restaurante del museo Guggenheim de Bilbao me dijo que él siempre escuchaba música cuando trabajaba y que lo que más le gustaba era pensar y escribir escuchando los conciertos para piano de Mozart. Le respondí que no los conocía bien y que no tenía ninguno de esos conciertos en disco. La sorpresa fue que al cabo de un par de semanas tenía en mi despacho un paquete suyo con todos los conciertos en CD. Un *detalle* de Schleyer (tenía cierta fama de ogro) que ahora me emociona recordar. Volviendo a nuestro manuscrito conjunto, antes de enviarlo Paul me comentó que le gustaría dedicárselo a su amigo Rolf con motivo de su octogésimo cumpleaños, si no me importaba. Le contesté que me encantaría, que sería un honor participar en ese reconocimiento. Ello era además muy oportuno porque nuestro trabajo reivindicaba su modelo concertado para las reacciones 1,3-dipolares, que explorábamos mediante estudios sobre aromaticidad NICS, incluyendo efectos del disolvente, algo que entonces no era muy común. Por cierto, este trabajo nos permitió demostrar que el estado

de transición **TS1** (Figura 1) solo contiene aromaticidad en el plano y no aromaticidad  $\pi$ . Tras completar el manuscrito, acordamos probar primero con el *JACS*. Antes de ello, le pregunté a Schleyer si quería que se lo enviara a Huisgen y me dijo que primero lo enviara al editor y que, como los referees siempre nos obligarían a hacer cambios, en el ínterin le podía enviar a Rolf el manuscrito y luego haríamos todos los cambios de una tacada. Así lo hice y la respuesta de Huisgen fue doble: por un lado, agradecía de corazón la dedicatoria y, por otro, nos hacía saber que no le gustaba la atención que prestábamos a los artículos de Firestone, que a él se le antojaba excesiva. Los rescoldos de la batalla todavía seguían humeando... En fin, Paul me dijo que no me preocupara, que Rolf estaba encantado, y que bastante trabajo teníamos con contestar adecuadamente a los referees. El artículo se publicó sin mayor novedad y fue (está siendo) bastante citado, algo de lo que Schleyer estaba bastante orgulloso. Posteriormente, escribimos, junto con el profesor Israel Fernández, un *review*<sup>[33]</sup> en el que extendíamos los conceptos de aromaticidad a diversos estados de transición. Desgraciadamente, el profesor Schleyer fallecería poco después.

También nosotros, en Donosti, nos encontramos con reacciones 1,3-dipolares por etapas,<sup>[34]</sup> y también en nuestro caso los intermedios eran zwitteriónicos. En ciertos casos pudimos aislar intermedios de reacción y caracterizarlos por RMN. A esas alturas, no me sorprendió recibir una carta muy cariñosa del profesor Huisgen comentando nuestros resultados, y poniéndolos en relación con los suyos en reacciones 1,3-dipolares por etapas. Su carta era muy minuciosa y sus conocimientos, enciclopédicos. Era impresionante. Una diferencia de nuestro trabajo con respecto al suyo es que, para Huisgen, una prueba inequívoca de que una reacción 1,3-dipolar es por etapas, consiste en la pérdida de la configuración inicial del dipolarófilo, un hallazgo sobre el que siguió publicando al menos hasta 2007.<sup>[35]</sup> Por nuestra parte, encontramos que, en lo que respecta a la diastereoselectividad y enantioselectividad de la reacción, las reacciones 1,3-dipolares por etapas pueden ser mucho más selectivas que las concertadas.<sup>[34, 36-37]</sup> Además, aprendimos a controlar este mecanismo zwitteriónico para generar a voluntad reacciones 1,3-dipolares “frustradas” y “completas”, simplemente estabilizando la parte catiónica de los intermedios de reacción y jugando con la temperatura.<sup>[38]</sup> Asimismo, en colaboración con los profesores Juan C. Carretero y Javier Adrio por un lado<sup>[39]</sup> y, por otro, con el profesor José L. Vicario,<sup>[40]</sup> comprobamos que las reacciones 1,3-dipolares por etapas tendían a bajar considerablemente la energía de activación cuando competían con las concertadas. Al final, la figura que emerge es compleja e indica que, en general, la pregunta “¿Cuál es el mecanismo de la reacción de...?” tiene como respuesta “Depende”. Una solución (que frecuentemente se sigue en reacciones bioorgánicas) es asumir que las cicloadiciones (Diels-Alder, Huisgen) solo son *auténticas*

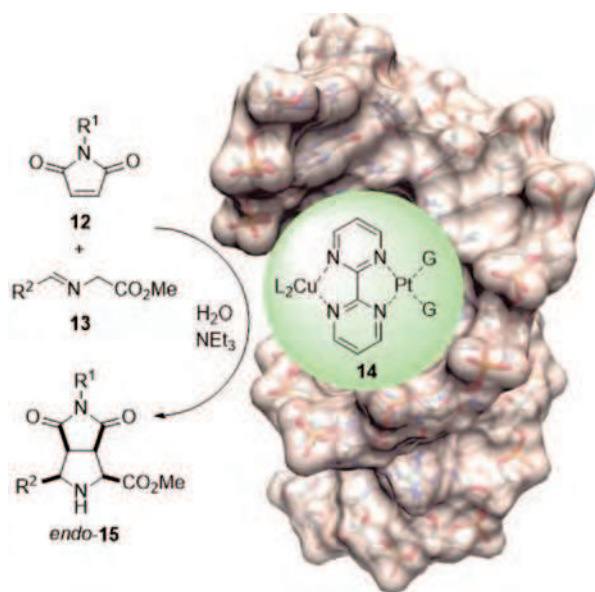


Figura 4. La primera Huisgenasa basada en ADN, cuya doble hélice es distorsionada por el complejo heterobimetálico G-selectivo 14. Figura adaptada de la ref. 41

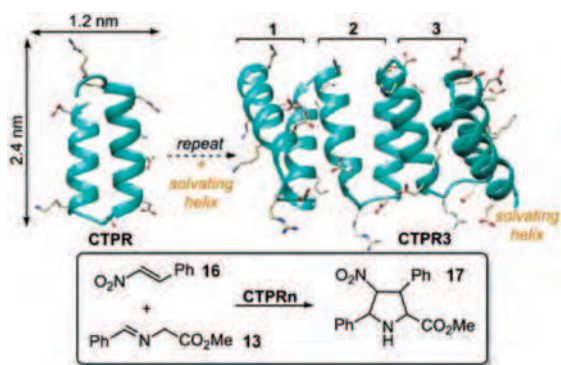


Figura 5. La primera Huisgenasa basada en proteínas CTPR (*Consensus Tetra-trico Peptide Repeat*). Figura adaptada de la ref. 43

si son *concertadas* (aunque más o menos *síncronas*). Personalmente, yo prefiero hablar de cicloadiciones concertadas y por etapas y mantener los nombres en función de los reactivos y los productos. Así, para mí una reacción 1,3-dipolar (o de Huisgen) por etapas sigue siendo una reacción 1,3-dipolar.

Conforme íbamos progresando en el estudio de las reacciones 1,3-dipolares, otra segunda pregunta emergió de forma cada vez más apremiante: la reacción de Huisgen es uno de los mejores métodos (si no el mejor) para construir ciclos de cinco eslabones, cuya importancia en bioquímica es innegable. Entonces, ¿por qué la naturaleza no las utiliza? Nos propusimos corregir este fallo imperdonable convenciendo a algunas biomoléculas para que actuaran como *Huisgenasas*. Nuestra primera incursión<sup>[41]</sup> se centró en el ADN, cuya estructura modificamos (Figura 4) mediante un complejo bimetalico capaz de coordinarse a unidades de guanina mediante Pt(II). Ello distorsionaba la doble hélice y convertía el ADN en un metaloenzima capaz de catalizar reacciones 1,3-dipolares. El experimento funcionó razonablemente bien y, de paso, nos saltamos heréticamente el dogma central de la biología molecular formulado por Francis Crick.<sup>[42]</sup> Pero nos faltaba encontrar una *Huisgenasa* basada en proteínas. Un inconveniente de la reacción 1,3-dipolar catalizada con ADN era que debía llevarse a cabo en medio acuoso, lo que repercutía negativamente en el rendimiento, ya que los precursores de los 1,3-diplos (iluros de azometino *N*-metalados) eran iminas, que se hidrolizaban paulatinamente en el medio de reacción. Afortunadamente, la profesora Aitziber López Cortajarena tiene gran experiencia con proteínas CTPR (*Consensus Tetra-tricoPeptide Repeat*) que sobreviven en THF, por lo que eran unas candidatas muy convenientes. La idea funcionó y, en colaboración con el profesor Jesús Jiménez-Barbero, fue posible “persuadir” a las proteínas de Aitziber (y los mutantes que su grupo generó) para que catalizaran reacciones 1,3-dipolares. El artículo ha sido publicado recientemente<sup>[43]</sup> y debo decir que a los referees les gustó el nombre de *Huisgenasa*, que la editora nos permitió incluir en el título de la publicación, así que esperamos

que haga fortuna... Ese es nuestro humilde homenaje a la memoria del profesor Rolf Huisgen, cuya ciencia ha marcado una parte importante de mi vida profesional. Descanse en paz.

## NOTA

Hay algo que no quisiera dejar de mencionar en esta semblanza: las reacciones 1,3-dipolares me han dado el privilegio de conocer, trabajar e interactuar no solo con los científicos que he mencionado más arriba, sino también con queridos colegas, cuyas colaboraciones y aportaciones no puedo comentar aquí por falta de espacio (y bien que lo lamento): Antoine Baceiredo, Matthias Bickelhaupt, Fernando Langa, Jordi Llop, Nazario Martín, Carmen Nájera, Pilar Prieto, José M. Sansano, Miguel A. Sierra, Joaquín Tamariz, María C. de la Torre y Miguel A. Vázquez. A todos ellos, y a los miembros del grupo de investigación, especialmente a Ana Arrieta, Begoña Lecea e Iván Rivilla, muchas gracias.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Elguero, J. Rolf Huisgen y el premio Nobel de Química 2019. *An. Quim.* **2019**, *115*, 198-199.
- [2] Kolb, H. C.; Finn, M. G.; Sharpless, K. B. Click Chemistry: Diverse Chemical Function from a Few Good Reactions. *Angewandte Chemie International Edition* **2001**, *40*, 2004-2021.
- [3] Agard, N. J.; Prescher, J. A.; Bertozzi, C. R. A Strain-Promoted [3 + 2] Azide-Alkyne Cycloaddition for Covalent Modification of Biomolecules in Living Systems. *Journal of the American Chemical Society* **2004**, *126*, 15046-15047.
- [4] Ferris, T.: *The Science of Liberty - Democracy, Reason, and the Laws of Nature*, Harper Collins: Nueva York, 2010.
- [5] Buchner, E. Einwirkung von Diazoessigäther auf die Aether ungesättigter Säuren. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* **1888**, *21*, 2637-2647.
- [6] Beckmann, E. Zur Kenntniss der Aldoxime. VII. *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft* **1890**, *23*, 3331-3341.
- [7] Huisgen, R. Kinetics and Mechanism of 1,3-Dipolar Cycloadditions. *Angewandte Chemie International Edition in English* **1963**, *2*, 633-645.
- [8] Huisgen, R. 1,3-Dipolar Cycloadditions. Past and Future. *Angewandte Chemie International Edition in English* **1963**, *2*, 565-598.
- [9] Huisgen, R. Cycloadditions - Definition, Classification, and Characterization. *Angewandte Chemie International Edition in English* **1968**, *7*, 321-328.
- [10] Huisgen, R.: *The Adventure Playground of Mechanisms and Novel Reactions*; American Chemical Society: Washington, 1994.
- [11] Houk, K. N.; Reissig, H.-U. Rolf Huisgen's Legacy. *Chem* **2019**, *5*, 2499-2505.
- [12] Houk, K. N. Rolf Huisgen's Profound Adventures in Chemistry. *Helvetica Chimica Acta* **2010**, *93*, 1241-1260.
- [13] Seeman, J. I. Rolf Huisgen: A Gentleman Scholar with Energy and Passion. *Helvetica Chimica Acta* **2005**, *88*, 1145-1153.



- [14] Rüdhardt, C.; Sauer, J.; Sustmann, R. Rolf Huisgen: Some Highlights of His Contributions to Organic Chemistry. *Helvetica Chimica Acta* **2005**, *88*, 1154-1184.
- [15] Sustmann, R. Rolf Huisgen's Contribution to Organic Chemistry, Emphasizing 1,3-Dipolar Cycloadditions. *Heterocycles* **1995**, *40*, 1-18.
- [16] Huisgen, R. 1,3-Dipolar cycloadditions. 76. Concerted nature of 1,3-dipolar cycloadditions and the question of diradical intermediates. *The Journal of Organic Chemistry* **1976**, *41*, 403-419.
- [17] Woodward, R. B.; Hoffmann, R. The Conservation of Orbital Symmetry. *Angewandte Chemie International Edition in English* **1969**, *8*, 781-853.
- [18] Houk, K. N.; Sims, J.; Duke, R. E.; Strozier, R. W.; George, J. K. Frontier molecular orbitals of 1,3 dipoles and dipolarophiles. *Journal of the American Chemical Society* **1973**, *95*, 7287-7301.
- [19] Sustmann, R. Orbital energy control of cycloaddition reactivity. *Pure & Applied Chemistry* **1974**, *40*, 569-593.
- [20] Firestone, R. A. Mechanism of 1,3-dipolar cycloadditions. *The Journal of Organic Chemistry* **1968**, *33*, 2285-2290.
- [21] Huisgen, R. Mechanism of 1,3-dipolar cycloadditions. Reply. *The Journal of Organic Chemistry* **1968**, *33*, 2291-2297.
- [22] Werner Bihlmaier, J. G., Rolf Huisgen,\* and Hans-Ulrich Reissig. The Stereospecificity of Diazomethane Cycloadditions. *Heterocycles* **1978**, *10*, 147-152.
- [23] Houk, K. N.; Firestone, R. A.; Munchausen, L. L.; Mueller, P. H.; Arison, B. H.; Garcia, L. A. Stereospecificity of 1,3-dipolar cycloadditions of p-nitrobenzoxirane to cis- and trans-deuterioethylene. *Journal of the American Chemical Society* **1985**, *107*, 7227-7228.
- [24] Huisgen, R.; Mlostoson, G.; Langhals, E. The first two-step 1,3-dipolar cycloadditions: non-stereospecificity. *Journal of the American Chemical Society* **1986**, *108*, 6401-6402.
- [25] Firestone, R. A. The Low Energy of Concert in Many Symmetry-Allowed Cycloadditions Supports a Stepwise-Diradical Mechanism. *International Journal of Chemical Kinetics* **2013**, *45*, 415-428.
- [26] Evans, M. G. The activation energies of reactions involving conjugated systems. *Transactions of the Faraday Society* **1939**, *35*, 824-834.
- [27] Zimmerman, H. E. Moebius-Hueckel concept in organic chemistry. Application of organic molecules and reactions. *Accounts of Chemical Research* **1971**, *4*, 272-280.
- [28] Chen, Z.; Wannere, C. S.; Corminboeuf, C.; Puchta, R.; Schleyer, P. v. R. Nucleus-Independent Chemical Shifts (NICS) as an Aromaticity Criterion. *Chemical Reviews* **2005**, *105*, 3842-3888.
- [29] Morao, I.; Lecea, B.; Cossío, F. P. In-Plane Aromaticity in 1,3-Dipolar Cycloadditions. *The Journal of Organic Chemistry* **1997**, *62*, 7033-7036.
- [30] Morao, I.; Cossío, F. P. A Simple Ring Current Model for Describing In-Plane Aromaticity in Pericyclic Reactions. *The Journal of Organic Chemistry* **1999**, *64*, 1868-1874.
- [31] Katritzky, A. R.; Karelson, M.; Wells, A. P. Aromaticity as a Quantitative Concept. 6. Aromaticity Variation with Molecular Environment. *The Journal of Organic Chemistry* **1996**, *61*, 1619-1623.
- [32] Cossío, F. P.; Morao, I.; Jiao, H.; Schleyer, P. v. R. In-Plane Aromaticity in 1,3-Dipolar Cycloadditions. Solvent Effects, Selectivity, and Nucleus-Independent Chemical Shifts. *Journal of the American Chemical Society* **1999**, *121*, 6737-6746.
- [33] Schleyer, P. v. R.; Wu, J. I.; Cossío, F. P.; Fernández, I. Aromaticity in transition structures. *Chemical Society Reviews* **2014**, *43*, 4909-4921.
- [34] Vivanco, S.; Lecea, B.; Arrieta, A.; Prieto, P.; Morao, I.; Linden, A.; Cossío, F. P. Origins of the Loss of Concertedness in Pericyclic Reactions: Theoretical Prediction and Direct Observation of Stepwise Mechanisms in [3 + 2] Thermal Cycloadditions. *Journal of the American Chemical Society* **2000**, *122*, 6078-6092.
- [35] Huisgen, R.; Pöchlauer, P.; Mlostoń, G.; Polborn, K. Reactions of Di(tert-butyl)diazomethane with Acceptor-Substituted Ethylenes. *Helvetica Chimica Acta* **2007**, *90*, 983-998.
- [36] Zubia, A.; Mendoza, L.; Vivanco, S.; Aldaba, E.; Carrascal, T.; Lecea, B.; Arrieta, A.; Zimmerman, T.; Vidal-Vanaclocha, F.; Cossío, F. P. Application of Stereocontrolled Stepwise [3+2] Cycloadditions to the Preparation of Inhibitors of  $\alpha\beta 1$ -Integrin-Mediated Hepatic Melanoma Metastasis. *Angewandte Chemie International Edition* **2005**, *44*, 2903-2907.
- [37] Conde, E.; Bello, D.; de Cózar, A.; Sánchez, M.; Vázquez, M. A.; Cossío, F. P. Densely substituted unnatural l- and d-prolines as catalysts for highly enantioselective stereodivergent (3 + 2) cycloadditions and aldol reactions. *Chemical Science* **2012**, *3*, 1486-1491.
- [38] Conde, E.; Rivilla, I.; Larumbe, A.; Cossío, F. P. Enantiodivergent Synthesis of Bis-Spiropyrrolidines via Sequential Interrupted and Completed (3 + 2) Cycloadditions. *The Journal of Organic Chemistry* **2015**, *80*, 11755-11767.
- [39] Pascual-Escudero, A.; de Cózar, A.; Cossío, F. P.; Adrio, J.; Carretero, J. C. Alkenyl Arenes as Dipolarophiles in Catalytic Asymmetric 1,3-Dipolar Cycloaddition Reactions of Azomethine Ylides. *Angewandte Chemie International Edition* **2016**, *55*, 15334-15338.
- [40] Reboredo, S.; Reyes, E.; Vicario, J. L.; Badía, D.; Carrillo, L.; de Cózar, A.; Cossío, F. P. An Amine-Catalyzed Enantioselective [3+2] Cycloaddition of Azomethine Ylides and  $\alpha,\beta$ -Unsaturated Aldehydes: Applications and Mechanistic Implications. *Chemistry – A European Journal* **2012**, *18*, 7179-7188.
- [41] Rivilla, I.; de Cózar, A.; Schäfer, T.; Hernandez, F. J.; Bittner, A. M.; Eleta-Lopez, A.; Aboudzadeh, A.; Santos, J. I.; Miranda, J. I.; Cossío, F. P. Catalysis of a 1,3-dipolar reaction by distorted DNA incorporating a heterobimetallic platinum(II) and copper(II) complex. *Chemical Science* **2017**, *8*, 7038-7046.
- [42] Crick, F. Central Dogma of Molecular Biology. *Nature* **1970**, *227*, 561-563.
- [43] Rivilla, I.; Odriozola-Gimeno, M.; Aires, A.; Gimeno, A.; Jiménez-Barbero, J.; Torrent-Sucarrat, M.; Cortajarena, A. L.; Cossío, F. P. Discovering Biomolecules with Huisgenase Activity: Designed Repeat Proteins as Biocatalysts for (3 + 2) Cycloadditions. *Journal of the American Chemical Society* **2020**, *142*, 762-776.



# Formulación y estabilidad de emulsiones para encapsulación de biocompuestos

María Matos, Susana Luque y Gemma Gutiérrez

**Resumen:** La encapsulación de biocompuestos ha tenido un interés creciente en la industria alimentaria, con el fin de obtener alimentos funcionales enriquecidos (probióticos, vitaminas), así como en las industrias farmacéutica y cosmética, para la liberación controlada de fármacos, como son los antioxidantes. Se han desarrollado distintas técnicas de encapsulación lo que permite proteger el principio activo de su degradación, controlar su liberación con el tiempo y/o enmascarar el olor o sabor del compuesto encapsulado. En este trabajo se hace una revisión de encapsulación de principios activos utilizando distintos tipos de emulsiones. Las emulsiones han sido utilizadas satisfactoriamente para encapsular compuestos bioactivos, su preparación y caracterización y algunos ejemplos de sus principales aplicaciones se describen en el presente trabajo.

**Palabras clave:** Emulsiones, Encapsulación, Biocompuestos, Emulsiones dobles.

**Abstract:** The encapsulation of bioactive compounds is of growing interest in the food industry, in order to develop functional foods, particularly probiotics, vitamins, fatty acids, etc, as well as in the pharmaceutical and cosmetic industries, for the controlled delivery of drugs, such as antioxidants. Several encapsulation techniques have been developed that allow to protect the active principle from degradation, to control its release over time and / or to mask the odor or taste of the bioactive ingredient. In this work, a review of encapsulation using different types of emulsions is reported. Emulsions have been successfully used to encapsulate bioactive compounds, their preparation and characterization is described and some examples of their main applications are presented.

**Keywords:** Emulsions, Encapsulation, Biocompounds, Double emulsions.

## INTRODUCCIÓN

La encapsulación de biocompuestos tales como probióticos, minerales, vitaminas, ácidos grasos, luteína y antioxidantes se ha realizado desde hace algún tiempo en la industria alimentaria con el fin de obtener alimentos funcionales. Del mismo modo, han tenido aplicaciones en las industrias farmacéutica y cosmética.

La técnica de encapsulación permite proteger el principio activo de su degradación (oxidación, hidrólisis), controlar su liberación en un cierto tiempo o en un punto determinado y enmascarar el olor o sabor del compuesto principal.

Una técnica de encapsulación muy empleada es mediante emulsificación. Una emulsión se define como un sistema heterogéneo, consistente en al menos un líquido, denominado *fase interna* o *discontinua*, disperso en forma de gotas en otro, conocido como *fase externa* o *continua*, inmisible con el primero.<sup>[1]</sup>

Las emulsiones, aunque termodinámicamente inestables, pueden presentar cierta estabilidad en el tiempo, dependiendo de sus componentes. Para lograr la estabilidad de las gotas de fase dispersa en la fase continua, evitando su coalescencia, se utilizan agentes estabilizantes o emulsionantes, que se sitúan en la interfase entre la superficie de las gotas y la fase continua. La selección del estabilizante depende, tanto de la aplicación del producto en emulsión obtenido, como de la técnica seguida para su preparación. Los estabilizantes más frecuentes son los tensioactivos, aunque también hay emulsiones estabilizadas por sólidos o proteínas.



M. Matos



S. Luque



G. Gutiérrez

Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente  
Universidad de Oviedo  
Julián Clavería, 8, 33006 Oviedo  
C-e: [matosmaria@uniovi.es](mailto:matosmaria@uniovi.es)

Recibido: 01/03/2020. Aceptado: 9/03/2020.

Las emulsiones se utilizan en industrias muy diversas, entre las que destacan la alimentaria, farmacéutica, cosmética y metalúrgica; en esta última principalmente como fluidos de mecanizado con características lubricantes y refrigerantes.

Los productos en emulsión son muy frecuentes y pueden utilizarse para encapsular compuestos con propiedades beneficiosas para la salud. Como ejemplos de compuestos susceptibles de encapsulación en emulsiones se encuentran: polifenoles,<sup>[2,3,4,5]</sup> luteína<sup>[6,7]</sup> o vitaminas.<sup>[8,9]</sup> La encapsulación permite, que estos compuestos conserven mejor sus propiedades a lo largo del tiempo y que puedan ser liberados de forma controlada. Para encapsular un compuesto o principio activo, se requiere su disolución en la que será la fase interna, que posteriormente se dispersa en la fase externa. Dependiendo de la naturaleza del compuesto de interés se encapsulará en la fase acuosa (W) o aceitosa (O) en alguno de los diferentes tipos de emulsiones: [simples (O/W), dobles (W/O/W), múltiples (M-O/W), con partículas sólidas (SPL-O/W), proteínas, etc.].

En este trabajo se hace una revisión de los tipos de emulsiones que se han empleado para encapsular compuestos bioactivos, su preparación y caracterización y algunos ejemplos de sus aplicaciones en las industrias alimentaria, médica/farmacéutica y cosmética.

## TIPOS DE EMULSIONES

Las emulsiones pueden clasificarse atendiendo a distintos parámetros como pueden ser la naturaleza del estabilizante y la estructura del sistema. En el presente trabajo se hará de acuerdo con: el tipo de estabilizante empleado y la disposición de las gotas y concentración de la fase interna.

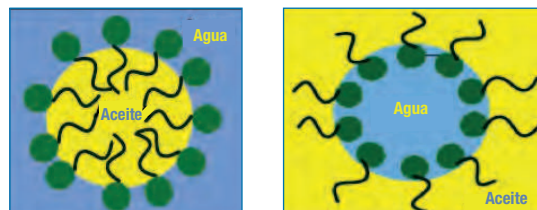
### Según el tipo de estabilizante empleado

Atendiendo a la naturaleza del agente que se sitúa en la interfase para estabilizar la emulsión se pueden distinguir tres grandes grupos.

#### 1. Emulsiones estabilizadas con tensioactivos

Es el tipo más habitual. Los tensioactivos son compuestos de naturaleza anfífila, estando formados por una parte hidrófila y otra hidrófoba. Esta doble afinidad les permite situarse en la interfase, reduciendo así la tensión superficial y aumentando por tanto la estabilidad de la emulsión.

Debido a su doble afinidad la parte hidrófila es atraída hacia la fase acuosa, mientras que la parte lipófila es atraída hacia la fase aceitosa. En la Figura 1 se indica esquemáticamente la forma en la que se ubican y orientan las moléculas de tensioactivo en la interfase O/W. Este fenómeno, denominado *adsorción*, provoca la disminución



**Figura 1.** Orientación de las moléculas de tensioactivo en la superficie de una gota de aceite en una emulsión O/W y en una emulsión W/O

de la tensión interfacial entre el agua y el aceite, lo que aumenta la estabilidad de la emulsión.

Con el objetivo de facilitar el proceso de selección del tensioactivo, Griffin propuso en 1949 el balance hidrófilo-lipófilo (escala HLB) como una medida de la afinidad relativa del tensioactivo por las fases agua y aceite.<sup>[10,11]</sup>

El HLB es un parámetro adimensional, comprendido entre 1 y 20, que permite prever el comportamiento que tendrá el tensioactivo y, por tanto, la emulsión resultante.

Para formular una emulsión del tipo O/W, se utiliza un tensioactivo que sea soluble en agua (hidrófilo), es decir de elevado valor HLB, mientras que para formular una emulsión agua en aceite (W/O) se usa un tensioactivo soluble en aceite (hidrófobo), es decir, de bajo valor HLB.

Como se puede apreciar, el valor HLB es un indicador de las características emulsionantes, pero no de la eficacia de un tensioactivo. La escala HLB clasifica a los tensioactivos según su estructura química, facilitando su comparación con la estructura química de lo que se desea emulsionar.

#### 2. Emulsiones estabilizadas con partículas sólidas

Se denominan emulsiones Pickering y se caracterizan por estar estabilizadas con partículas mediante su adsorción en la interfase de las dos fases inmiscibles. Su nombre se debe a S. U. Pickering,<sup>[12]</sup> quien describió el fenómeno en 1907, aunque el hecho fue documentado por primera vez por Walter Ramsden<sup>[13]</sup> en 1903.

Tienen cada vez más interés por sus características y gran potencial tecnológico ya que muestran una gran estabilidad, aunque suelen ser emulsiones de mayor tamaño gota que las estabilizadas con tensioactivos. Esta estabilidad deriva de la mojabilidad parcial de las partículas en ambas fases, lo que produce su espontánea acumulación en la interfase.<sup>[14]</sup>

Las emulsiones estabilizadas con partículas sólidas tienen alguna semejanza con las estabilizadas mediante tensioactivos aunque difieren en su comportamiento. Por ejemplo, los tensioactivos tienen una gran capacidad para formar micelas mientras que las partículas sólidas no poseen esta característica. Aún así, poseen una mayor estabilidad en relación con la coalescencia y la maduración de Ostwald.<sup>[15]</sup> La razón de su mayor estabilidad se debe a que las partículas impiden la interacción interfacial por exclusión de volumen, es decir, las partículas crean una barrera física impidiendo el contacto entre gotas.

Finkle<sup>[16]</sup> *et al.* describieron en 1923 por vez primera la correlación entre mojabilidad de partículas y su habilidad

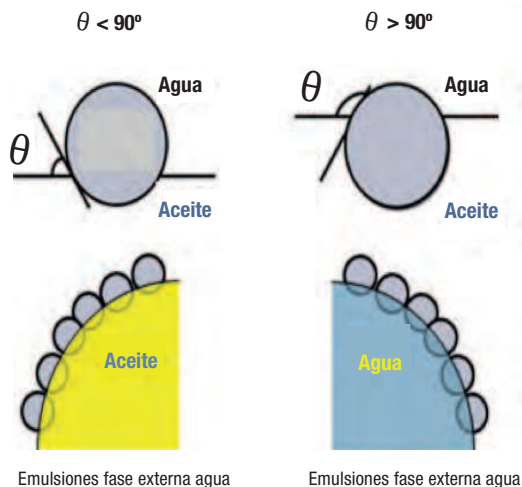


Figura 2. Ángulo de contacto de una partícula sólida en la interfase agua/aceite

para estabilizar emulsiones. Este hecho dio lugar a “La regla de Finkle” la cual enuncia que: “dependiendo del ángulo de contacto en la interfase aceite-partícula-agua, se favorecerá un sistema de gotas de aceite en agua, o un sistema de gotas de agua en aceite”. El ángulo de contacto equivaldría al HLB en los tensioactivos.<sup>[15]</sup> En función del valor del ángulo de contacto ( $^{\circ}$ ) en la interfase aceite-agua, Figura 2, serán apropiadas para la formación de emulsiones aceite-en-agua (O/W) (si  $\theta < 90^{\circ}$ ) o agua-en-aceite (W/O) (si  $\theta > 90^{\circ}$ ).

Esto implica que las emulsiones Pickering al igual que otros sistemas de emulsiones, pueden invertir su fase interna.<sup>[17]</sup> Si el ángulo de contacto determinado en la fase acuosa es menor de  $90^{\circ}$  se trata de una emulsión O/W. Por el contrario, un ángulo mayor de  $90^{\circ}$  dará lugar a una emulsión W/O.<sup>[18]</sup>

Con el fin de lograr un apropiado grado de recubrimiento de las gotas de fase dispersa, el tamaño de la partícula estabilizante debe ser considerablemente menor que el de la gota de fase dispersa. Como regla general se indica que es necesaria al menos una relación de 1:10.<sup>[15]</sup> Sin embargo, hay que tener en cuenta lo soluble que se la partícula utilizada en la fase continua, ya que parte de dicha partícula puede encontrarse simplemente suspendida en la fase dispersa. Teniendo en cuenta este último factor otros autores indican que la relación entre las masas de fase dispersa y partículas determina el diámetro final de la gota de fase dispersa ( $D_d$ ):<sup>[19]</sup>

$$D_d = \frac{6M_{dispersa}}{P_{oil} a M_{particula}} \quad [1]$$

donde  $M_{dispersa}$  y  $M_{particula}$  son la relación entre las masas de fase dispersa y de partículas estabilizantes respectivamente,  $a$  es el área de fase dispersa cubierta.

Las partículas de sílice<sup>[20]</sup> y de látex<sup>[21]</sup> fueron las más utilizadas en un inicio debido a su parcial afinidad por ambas fases. Sin embargo su limitada aplicabilidad promovió la búsqueda de partículas sólidas alternativas de mayor biocompatibilidad como son las partículas de almidón,<sup>[22,23]</sup> celulosa.<sup>[24]</sup>

Aunque en la mayoría de casos las partículas sólidas utilizadas como estabilizante tiene forma cercana a la esfericidad hay estudios que indican que el uso de otras geometrías como cubos o filamentos pueden mejorar la estabilidad debido al mejor empaquetamiento en la interfase y el menor volumen de partícula sólida necesaria para cubrir toda el área creada en la interfase.<sup>[24,25]</sup>

### 3. Emulsiones estabilizadas con proteínas

Son muy frecuentes en la industria alimentaria, ya que alimentos de consumo habitual, como leche, mayonesa, salsas para ensalada, etc., son emulsiones.

Las proteínas son un componente más de estos alimentos, que les confiere la estabilidad necesaria. Las proteínas forman una barrera protectora alrededor de las gotas de fase dispersa, lo que impide su coalescencia. El tipo de emulsión que se formará (O/W o W/O) vendrá determinado por el grado de afinidad de la proteína en ambas fases, favoreciendo que el medio donde la proteína sea más soluble actúe como fase externa.

Se pueden encontrar dos tipos principales de proteínas como estabilizantes, aquellas que se encuentran hidrolizadas formando una partícula sólida, y por tanto su comportamiento es similar al de las partículas responsables de la formulación de emulsiones Pickering.<sup>[26]</sup>

Con frecuencia las proteínas se utilizan como coestabilizantes pudiendo ofrecer así un mayor grado de estabilidad a las emulsiones formuladas con otros estabilizantes como pueden ser tensioactivos o partículas, ya que pueden cubrir áreas parcialmente descubiertas por el empaquetamiento de partículas o enlazarse entre las cadenas hidrocarbonadas de los tensioactivos ofreciendo una mayor grado de estabilidad estérica.<sup>[27]</sup>

La Figura 3 muestra esquemáticamente una emulsión estabilizada con proteínas y otros dos en las que las proteínas actúan de coestabilizantes.

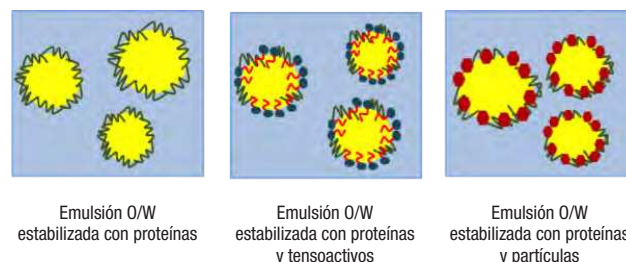


Figura 3. Emulsiones estabilizadas y coestabilizadas con proteínas

### Según la disposición de gotas

Según la disposición de las gotas de fase interna se pueden considerar dos grandes tipos de emulsiones.

#### 1. Emulsiones simples

Las más habituales son de aceite en agua (O/W). También es habitual encontrar emulsiones agua en aceite (W/O). Ambos tipos se representan en la Figura 4.

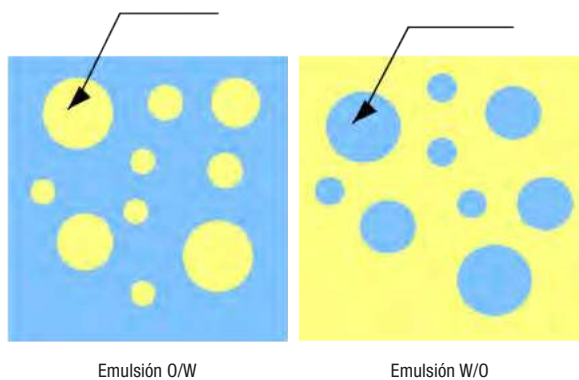


Figura 4. Representación esquemática de las emulsiones simples

#### 2. Emulsiones dobles

Las emulsiones dobles tienen la particularidad de que la fase interna es a su vez una emulsión.<sup>[28]</sup> Las formulaciones más habituales son agua en aceite en agua ( $W_1/O/W_2$ ) o aceite en agua en aceite ( $O_1/W/O_2$ ). En la Figura 5 se indica una representación esquemática de ambos tipos.

Puesto que estas emulsiones consisten en gotas dispersas en una fase continua, son necesarios dos tipos de tensioactivo que se sitúen en cada una de las interfaces para estabilizar el sistema, uno predominantemente hidrófilo y otro predominantemente hidrófobo.<sup>[29,30]</sup>

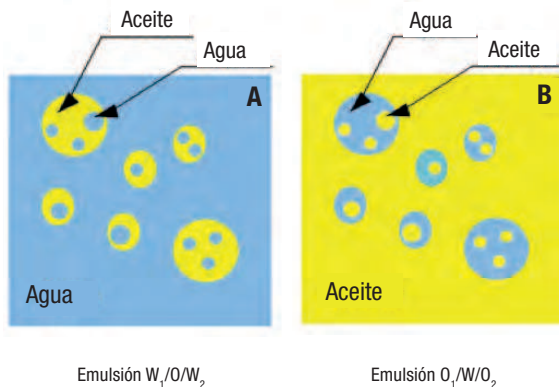


Figura 5. Representación esquemática de las emulsiones dobles

Uno de los factores más importantes para la estabilidad de la emulsión doble es la estabilidad de la emulsión simple que actúa como fase dispersa. Esta estabilidad depende a su vez del tamaño de gota y de la afinidad del agente estabilizante por las dos fases.<sup>[31,32]</sup> A su vez, la proporción de fase interna-fase externa de la emulsión simple afecta a la estabilidad de la emulsión doble, trabajándose por estos motivos con un 20-30% de fase dispersa en volumen.<sup>[33,34,35,36,37]</sup> Un aumento de la cantidad de fase dispersa en la emulsión simple puede causar la coalescencia de gotas y su posterior migración a la fase externa, aunque también aumenta la cantidad de principio activo que se puede encapsular. Por este motivo en el presente trabajo se aumentará esta proporción hasta el 40%.

### Según el tamaño de las gotas

Según el tamaño de las gotas que constituyen la fase interna se pueden distinguir tres grandes grupos de emulsiones.

#### 1. Macroemulsiones

Son sistemas coloidales que contiene gotas dispersas, normalmente de tamaño comprendido entre 1 y 100  $\mu\text{m}$  (en algunos casos especiales se puede ampliar al intervalo 0.5-500  $\mu\text{m}$ ).

#### 2. Nanoemulsiones

Son sistemas translúcidos que contienen gotas muy pequeñas de fase dispersa en una fase continua y cuya formulación corresponde a un sistema polifásico. Estos sistemas, con gotas del orden de 10 nm, están estabilizados por el término entrópico de la energía libre, pero se deben considerar como emulsiones.

#### 3. Microemulsiones

A pesar de su denominación, es incorrecto considerarlas un tipo de emulsión, ya que sus propiedades son totalmente distintas. Así, por ejemplo, mientras las macroemulsiones son termodinámicamente inestables, las microemulsiones son estables. Se caracterizan por un tamaño de gota de menos de 0.1  $\mu\text{m}$ , y tienen un aspecto translúcido. La composición de las mismas es agua, aceite y tensioactivo (estabilizante) como en las macroemulsiones, aunque en este caso la cantidad necesaria de estabilizante es mucho mayor<sup>[37,38]</sup> (alrededor del 20%). Las microemulsiones pueden visualizarse como sistemas complejos de elevada área interfacial entre microestructuras de agua y aceite. Es justamente la elevada área interfacial lo que hace que el tensioactivo pueda disponer de un medio adecuado para satisfacer su doble afinidad y dar lugar a un sistema con energía libre inferior a la de las fases por separado.



## En función de la concentración de fase interna

Pueden ser de tres tipos.

### 1. Emulsiones concentradas.

Son un tipo especial de emulsión con la particularidad de que al menos un 74% del volumen total debe estar ocupado por la fase interna. Este 74% es el denominado volumen crítico de Ostwald y estima que la emulsión estaría formada por gotas totalmente empaquetadas a partir de esta concentración.<sup>[39]</sup> A partir de esta concentración, además, las gotas pierden su esfericidad debido al empaquetamiento, como se muestra en la Figura 6.

Este tipo de emulsión es ampliamente utilizado en la industria cosmética en forma para la elaboración de cremas o geles.

La preparación de emulsiones concentradas requiere una especial atención en la selección tanto de los estabilizantes como del mecanismo de preparación, ya que son emulsiones susceptibles a sufrir inversión de fases (transformarse del tipo O/W a W/O o viceversa) con facilidad.

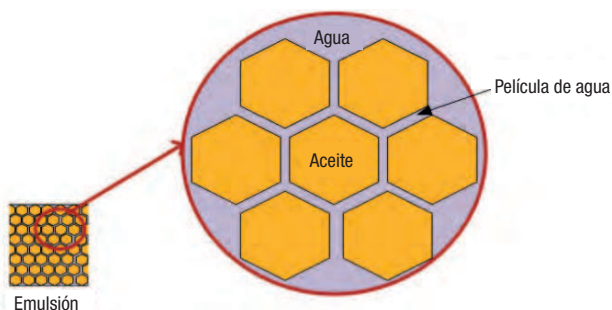


Figura 6. Representación esquemática de una emulsión concentrada

### 2. Emulsiones diluidas y semiconcentradas

Se consideran emulsiones diluidas aquella cuyo contenido en fase dispersa está por debajo del 20% del volumen.

La preparación de emulsiones diluidas no presentan las dificultades que presenta las emulsiones concentradas, ya que el contenido en fase dispersa es menor que de fase externa.

Las emulsiones semiconcentradas son las que presentan entre el 20 y el 74% del volumen de fase interna. La preparación de las mismas no es tan compleja como en el caso de las concentradas ya que no se supera el número crítico de Ostwald, aunque sí requiere cierta atención sobre la posible inversión de la emulsión, especialmente en los casos que se supera el 50% del volumen.

## MÉTODOS DE PREPARACIÓN

Hay diversos métodos de preparación de emulsiones. Los métodos convencionales son la agitación mecánica o la homogeneización alta presión, aunque también se pueden preparar mediante el uso de molinos coloidales o mediante técnicas más novedosas que permiten controlar el tamaño de gota como es la emulsificación con membranas o el uso de microcanales de flujo focalizado.<sup>[40,41,42,43]</sup> Los métodos de preparación de emulsiones más habituales se explican a continuación:

### Homogenizadores de alta presión

Se emplean para producir emulsiones a partir de dispersiones de gotas grandes, de forma que no solo se disminuye su tamaño, sino que se alcanza una elevada uniformidad y una mayor estabilidad.<sup>[44]</sup> La dispersión se comprime al pasar por una sección de área reducida. El paso por el estrechamiento provoca un aumento de la velocidad del fluido y un elevado esfuerzo de cizalla, que permite disminuir el tamaño de gota de la fase dispersa.

Es importante señalar que en los homogeneizadores el grado de disipación de energía es muy elevado lo que hace que la preparación de emulsiones mediante este tipo de dispositivos conlleve un importante consumo energético que repercute en los costes.

Los homogeneizadores se utilizan para preparar emulsiones con una viscosidad no muy elevada y para emulsiones técnicas en la industria alimentaria, láctea y fitosanitaria.

### Ultrasonidos

Es un método más sofisticado para la preparación de emulsiones. Los ultrasonidos son ondas cuya frecuencia se encuentra por encima del umbral de audición (15-20 kHz) y, por tanto, no son perceptibles por el oído humano. En los equipos de emulsificación por ultrasonidos, se emplean frecuencias comprendidas entre 40 y 100 kHz.

En estos dispositivos se pone en contacto una dispersión de gotas gruesas con un material que presente comportamiento piezoeléctrico o de magnetostricción, es decir, que experimente una deformación, como consecuencia de la aplicación de un campo eléctrico (efecto piezoeléctrico) o magnético (magnetostricción). La emulsificación por ultrasonidos mediante efecto piezoeléctrico está más extendida, ya que la basada en magnetostricción es menos ventajosa desde el punto de vista técnico y económico.

Al igual que los homogeneizadores los dispositivos de emulsificación por ultrasonidos permiten reducir el tamaño de las gotas de las dispersiones gruesas. Esto se consigue inyectando la dispersión a través de una boquilla, para posteriormente entrar en contacto con el cristal en resonancia, que genera ondas ultrasónicas que provocan una inestabilidad en las gotas. Esta inestabilidad depende de la amplitud de la onda y hace que se formen gotas de diámetro igual a una fracción de la longitud de onda.

### Agitación mecánica

La agitación mecánica es el método más simple para preparar emulsiones. Generalmente se realiza en un recipiente, en donde se hace girar un rodete conectado a un motor. La forma de dicho rodete da lugar a un determinado patrón de flujo del líquido en el interior del recipiente, que en la industria se suele aprovechar para mezclar líquidos miscibles o poner en suspensión sólidos en un líquido.

Sin embargo, cuando dos líquidos son inmiscibles y de diferente densidad, ambos se encuentran separados por una interfase. Esta interfase se ve sometida a cierta inestabilidad, provocada por las corrientes que se generan al poner el motor en marcha y empezar a girar el rodete. La dispersión de un líquido en otro se produce de manera gradual. En primer lugar, se forman perturbaciones cilíndricas de la fase dispersa, que penetran en la capa de fase continua y que con el tiempo crecen hasta formar hilos finos, lo que provoca que los glóbulos se dividan en gotas pequeñas.

Debido a esta serie de fenómenos, se genera una dispersión cuyas características dependerán de la naturaleza de ambos líquidos y de las condiciones hidrodinámicas.

La fuerza centrífuga provocada por el agitador genera gradientes de velocidad entre los dos líquidos debido a su diferencia de densidades. El esfuerzo de cizalla y la transferencia de cantidad de movimiento permiten compensar las diferencias de velocidad entre las gotas y la fase continua, que son mayores en la zona del agitador y, en particular, tras el choque del líquido con las paredes del recipiente.

En cualquier caso, este esfuerzo de cizalla generado por los gradientes de velocidad hace que las gotas se deformen y, debido al efecto de la tensión interfacial que obliga a la gota a adoptar una forma más compacta, se produce su ruptura. Por tanto, dentro del recipiente las regiones en las que tiene lugar la mayor ruptura de las gotas son la zona del agitador y las paredes. No obstante, la agitación puede provocar también la agregación de las gotas en flujo turbulento debido a la colisión de las mismas. Por lo tanto, como consecuencia de estos efectos contrapuestos, se termina llegando a un estado estacionario caracterizado por un determinado tamaño de gota.<sup>[43]</sup> El procedimiento es muy sencillo. En primer lugar, se



Figura 7. Preparación de una emulsión por agitación mecánica

preparan las distintas fases por separado. En la fase interna se disuelve el compuesto a encapsular y en la fase externa se disuelve el agente estabilizante. A continuación, se ponen en contacto ambas fases, aunque éstas quedan separadas debido a su diferente densidad, ya que se trata de líquidos inmiscibles.

Una vez se tiene este sistema bifásico, se realiza el aporte de energía mediante agitación mecánica, lo que provoca la dispersión de las gotas de fase dispersa y la formación de la emulsión, véase la Figura 7.

Esta técnica también se puede utilizar para preparar emulsiones dobles siguiendo un procedimiento análogo. Así, se prepara una emulsión simple en la forma indicada anteriormente, con la diferencia de que esta emulsión no es el producto final, sino uno intermedio. Una vez obtenida, se repite el proceso de agitación mecánica, siendo ahora la emulsión simple la nueva fase interna que se dispersa en la nueva fase continua.

Por ejemplo, si se desea preparar una emulsión doble tipo  $W_1/O/W_2$ , se disuelve el principio activo en la primera fase acuosa  $W_1$  y un tensioactivo o estabilizante con carácter predominantemente lipófilo en la fase aceitosa  $O$ . Se juntan ambas fases y se someten a un primer proceso de agitación, lo que da lugar a una emulsión inversa. A continuación, se disuelve en una nueva fase acuosa  $W_2$  un tensioactivo, cuyo carácter sea predominantemente hidrófilo, y se junta esta disolución con la emulsión previamente preparada. Se somete el conjunto a un segundo proceso de agitación, de forma que se obtiene una emulsión doble  $W_1/O/W_2$ .

Con el fin de que la fase dispersa en forma de gotas sea la deseada, el estabilizante tiene que estar disuelto en la fase que ha de ser la fase continua. Además, la elección del agente estabilizante es un aspecto clave.

Aunque con esta técnica de preparación se puede llegar al tamaño medio de gota deseado, la distribución suele ser ancha, lo que reduce la calidad de las emulsiones obtenidas de esta forma, especialmente para ciertas aplicaciones farmacéuticas y cosméticas, en las que se requiere la liberación controlada y en lugares específicos de los principios activos.

## Emulsificación con membranas

Mediante los métodos convencionales de preparación de emulsiones se obtienen emulsiones con una distribución de tamaños de gota amplia (polidispersa). Sin embargo, para algunas aplicaciones resulta fundamental que la emulsión obtenida presente una distribución de tamaños de gota lo más estrecha posible. Esta cualidad de la emulsión, denominada monodispersidad, es crítica para la fabricación de ciertos fármacos en los que el tamaño de gota determina la llegada de los principios activos a los órganos diana. Por otro lado, algunos de los compuestos presentes en la formulación de estas emulsiones son sensibles al esfuerzo de cizallamiento y pueden perder ciertas propiedades o incluso degradarse, si se emplean métodos convencionales de emulsificación, por lo que se hace necesario encontrar un método alternativo que permita obtener este tipo de emulsiones sin deteriorar sus componentes.

Una técnica muy prometedora para la obtención de emulsiones monodispersas es el uso de membranas como sistemas de contacto entre las fases. Los fundamentos de esta técnica, que recibe el nombre de emulsificación con membranas, se muestran en el esquema de la Figura 8.

Como se observa en la Figura 8, el método consiste en impulsar la fase dispersa a presión a través de los poros de una membrana, de manera que penetre en la fase continua. A la salida de los poros, las gotas van creciendo hasta desprenderse, gracias a la aplicación de un pequeño esfuerzo de cizalla en la pared, el cual puede generarse de diversas maneras. El desprendimiento depende de las fuerzas de rozamiento entre la gota y la fase continua, de la flotabilidad de la gota, de la tensión superficial y de la presión.

Aunque la emulsificación con membranas es una técnica poco extendida a escala industrial, se prevé que pueda experimentar un importante desarrollo, gracias al auge de la nanotecnología y al desarrollo de diversas aplicaciones específicas.

En función de las etapas en que tenga lugar el proceso, se pueden considerar dos tipos de emulsificación con membranas.

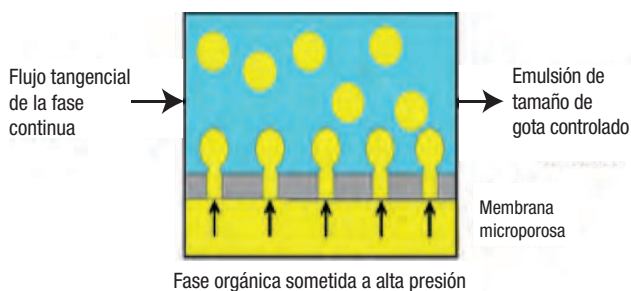


Figura 8. Esquema del proceso de emulsificación con membranas

### 1. Emulsificación directa

La emulsión se prepara en una sola etapa, mediante la inyección a presión de la fase dispersa, de forma que atraviese los poros de la membrana y llegue a la fase externa o continua. Como tiene lugar en una sola etapa, es necesario controlar todos los parámetros de operación (agitación, presión transmembrana, etc.) para conseguir la emulsión de las características deseadas.

### 2. Emulsificación con premezcla

Consta de dos etapas, en la primera se prepara una emulsión utilizando métodos convencionales (agitación, molinos coloidales, etc.), y en la segunda se afina haciéndola pasar a través de los poros de la membrana, Figura 9. En la emulsificación premezcla, el control de los parámetros de operación no es tan crítico como en la emulsificación directa, por lo que resulta más estable y fácilmente controlable. No obstante, presenta la desventaja de la pérdida de propiedades o incluso degradación de algunos compuestos orgánicos, como consecuencia del esfuerzo cortante al que se ven sometidos durante la preparación de la emulsión primaria por métodos convencionales (Figura 9).

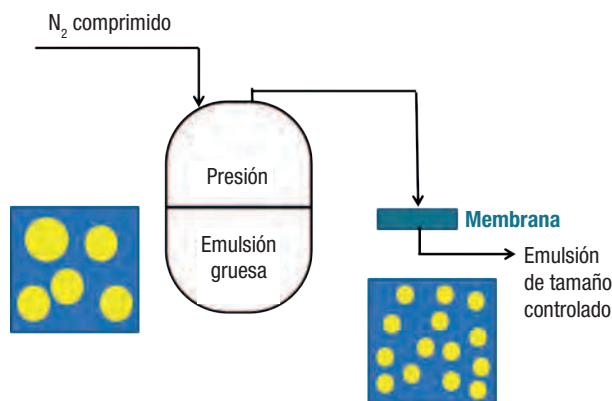


Figura 9. Esquema de emulsificación premezcla

## Microcanales de flujo focalizado

Este tipo de microcanales permiten un elevado control sobre el tamaño de gota resultante. La fase dispersa es inyectada por la parte central mientras que la continua se inyecta por los laterales. La adición de más canales laterales permite la preparación de emulsiones múltiples, ya que a medida que se va avanzando en el canal se van inyectando lo que serán las fases continuas de las emulsiones finales.

El tamaño de gota vendrá altamente ligado por el caudal de cada una de las corrientes así como las propiedades interfaciales del sistema seleccionado.<sup>[45]</sup>

La Figura 10 muestra una representación gráfica de estos dispositivos.

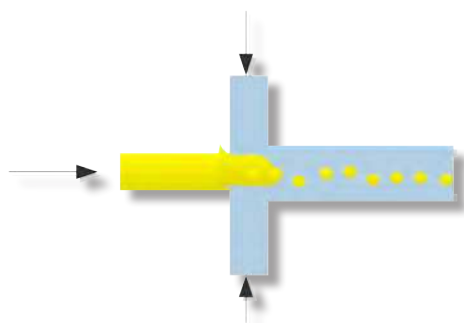


Figura 10. Esquema de microcanales de flujo focalizado

## CARACTERIZACIÓN DE EMULSIONES

### Distribución de tamaños de gota

Las distribuciones de tamaño de gota de las emulsiones se obtienen con equipos basados en la difracción de radiación láser.

### Morfología

Para observar las emulsiones a nivel microscópico y comprobar si su estructura se corresponde con una emulsión simple (Figura 11A) o doble, Figura 11B, o visualizar el recubrimiento de la superficie en el caso de emulsiones estabilizadas con sólidos, Figura 11C, se recurre a

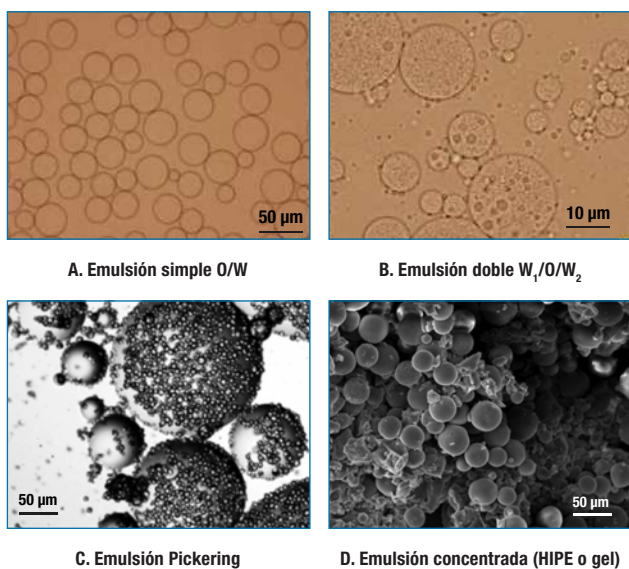


Figura 11. Micrografías obtenidas con el microscopio óptico: A. Emulsión simple estabilizada con tensioactivos del tipo O/W; B. Emulsión doble<sup>6</sup> estabilizada con tensioactivos del tipo W<sub>1</sub>/O/W<sub>2</sub>; C. Emulsión simple Pickering<sup>[17]</sup> del tipo O/W, y con el microscopio electrónico de barrido (SEM): D. Emulsión concentrada<sup>3</sup> del tipo O/W

los microscopios ópticos. Si se quiere observar el grado de empaquetamiento (como por ejemplo en el caso de formulación de geles, Figura 11D, se puede recurrir al microscopio electrónicos (SEM).

### Estabilidad

A diferencia de las fases acuosa y aceitosa separadas, las emulsiones necesitan la formación de una gran área interfacial entre las dos fases inmiscibles. El trabajo necesario para generar una unidad de área de una nueva interfase se calcula de la siguiente manera:

$$W - \gamma_i \Delta A \quad [2]$$

donde,  $\gamma_i$  es la tensión interfacial entre las dos fases y  $\Delta A$  es el incremento de área interfacial.

Una emulsión al ser un sistema termodinámicamente inestable, con el tiempo acabara separándose en dos fases. Por lo general, se trata de obtener emulsiones estables con el tiempo cuyas propiedades no se vean alteradas, aunque en algunas situaciones, una relativa inestabilidad puede resultar beneficiosa.

No existe ningún método que permita obtener una estimación de la estabilidad de una emulsión. La única medida realmente absoluta de la estabilidad de una emulsión es la variación del número de gotas en función del tiempo. La distribución del tamaño de gotas tiene una gran importancia no solo en la estabilidad, sino también en otras propiedades importantes de las emulsiones.

En general, se puede relacionar la estabilidad de una emulsión con el volumen de las fases separadas. Con el paso del tiempo el sistema acaba por separarse en tres zonas fácilmente identificables:

- Una zona central que contiene la emulsión con elevada concentración de la fase interna.
- Una zona interna o coalescida.
- Una zona externa o clarificada.

Para lograr la estabilidad de la emulsión es necesario mantener la dispersión de las gotas de la fase interna en la fase continua evitando la ruptura de la emulsión, es decir, la flotación, floculación, coalescencia y maduración de Ostwald u *Ostwald ripening*.

### Potencial zeta

La presencia de iones que rodean las gotas de aceite, dotándolas de una cierta carga, provoca la repulsión entre ellas. Esta repulsión se debe a una discontinuidad dieléctrica entre la interfase y las cargas superficiales de las gotas de la fase dispersa. La diferencia de potencial existente entre ambas fases provoca que los iones de signo opuesto a la carga superficial (denominados contraiones) resulten atraídos formando la capa fija. Desde



esta capa fija hacia la superficie se forma la capa difusa, formada por los contra-iones y por iones del mismo signo que la capa superficial. Estas dos capas adyacentes a la superficie de la gota forman la doble capa eléctrica. El potencial eléctrico de la superficie de la gota se denomina potencial de superficie ( $\psi_0$ ). El potencial eléctrico medido entre la capa de fluido estacionaria que envuelve a la gota y la fase acuosa puede determinarse midiendo la movilidad de la partícula en un campo eléctrico aplicado y se denomina potencial zeta o electrocinético ( $\zeta$ ).

### Eficacia de Encapsulación (EE) y Estabilidad (ES)

La eficacia de encapsulación (EE) de una emulsión se calcula mediante determinación de la concentración del compuesto de interés presente en la fase externa (concentración recuperada) y la concentración esperada en esa fase si todo el compuesto se hubiese liberado. Se calcula normalmente con la siguiente ecuación:

$$EE (\%) = 100 - \frac{\text{concentración recuperada}}{\text{concentración esperada}} \times 100 \quad [3]$$

Mediante la medida de la ES se puede conocer la liberación de un compuesto con el tiempo aplicando la siguiente ecuación:

$$ES (\%) = 100 - \frac{\text{concentración recuperada}}{\text{concentración esperada}} \times 100 \quad [4]$$

Para dicha determinación es necesario realizar una separación de la fase externa de una manera eficaz. Dependiendo de la concentración de la fase interna y del tamaño de las gotas dicha separación puede realizarse con una simple decantación o necesitar alguno mecanismo que favorezca la migración de las gotas (típicamente de aceite) a la parte superior. El método más comúnmente utilizado es la centrifugación. Dicha centrifugación se realiza en unas condiciones que aseguren que la ruptura de la emulsión no tendrá lugar y únicamente se favorece la migración de las gotas, por lo que se realiza a bajas velocidades.<sup>[6,7,9]</sup>

Algunos autores contemplan la posibilidad que el método seleccionado provoque la pérdida parcial de compuesto encapsulado se determina un factor corrector ( $R_y$ ). Para el cálculo de  $R_y$  se analiza una emulsión en donde el compuesto a encapsular en adicionado tras preparar la emulsión en la fase externa, simulando así una emulsión cuyo valor de EE sin corregir sería del 0%.

Para el cálculo de la EE corregida se utiliza la siguiente ecuación.

$$EE (\%) = 100 - \frac{\text{concentración recuperada}}{R_y \text{ concentración esperada}} \times 100 \quad [5]$$

### Reología

La reología es de suma importancia con vistas a las aplicaciones industriales de la emulsión formulada (ya sea una emulsión concentrada de uso como crema comercial o una nanoemulsión doble utilizada como vacuna para inyección de fármacos con fines veterinarios) ya que debe conocerse el comportamiento del sistema frente a diferentes situaciones (bombeo, agitación, efecto de la temperatura de cara al almacenamiento o transporte, etc.).

Las emulsiones son sistemas cuyo comportamiento reológico es mucho más complejo que el de un líquido puro. La viscosidad de una emulsión diluida, es decir, con exceso de fase continua, es virtualmente la viscosidad de dicha fase y muy frecuentemente estas emulsiones presentan comportamiento newtoniano. Al aumentar la proporción de fase interna aumenta la viscosidad de la emulsión hasta un punto en que la emulsión deja de ser líquida. Cuando el volumen de la fase interna sobrepasa el de la externa, se aglomeran las gotas de la emulsión y la viscosidad aparente es parcialmente viscosidad estructural.

Uno de los factores más influyentes es el tamaño de las gotas de fase interna. Si se aplican métodos para obtener emulsiones de una determinada concentración que proporcionen un tamaño de gota inferior, se podrá observar cómo la viscosidad de la emulsión es superior, y viceversa.<sup>[3,6]</sup>

### APLICACIONES

Las emulsiones dobles compiten con las emulsiones simples como sistemas de encapsulación de compuestos activos. La selección de un tipo u otro dependerá de la aplicación concreta, una vez evaluadas las ventajas e inconvenientes de ambas.

Debido a su estructura, las emulsiones dobles pueden ser vistas como sistemas susceptibles de controlar el transporte de moléculas desde la fase interna a la externa o viceversa. Este hecho multiplica sus aplicaciones en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.<sup>[46,47,48,49]</sup>

En la industria farmacéutica se emplean para encapsular principios activos sensibles que se deban proteger para evitar una pérdida prematura de actividad. Normalmente, se preparan fármacos para ser suministrados por vía oral o tópica, que aseguren una liberación controlada del principio activo y un efecto prolongado de sus propiedades terapéuticas.<sup>[19]</sup>

También se han publicado trabajos en los que estas emulsiones se aplican a la encapsulación de biocompuestos como, por ejemplo, el resveratrol,<sup>[2,3]</sup> para distintas aplicaciones (cosmética, alimentaria).

A continuación, se muestra en la Tabla 1 en la cual se recoge un resumen de diferentes tipos de emulsiones

formuladas para encapsular compuestos de interés de diferente aplicación (médica, alimentaria, cosmética o farmacéutica).

**Tabla 1.** Ejemplos de distintos tipos de emulsiones formuladas para encapsulación de biocompuestos con diferentes fines

Tipo de emulsión	Aplicación	Compuesto encapsulado	Ref.
O/W	Alimentaria	Luteína	6, 50
O/W*	Alimentaria	trans-resveratrol	51
O/W*	Alimentaria	Licopeno	52
O/W*	Médica, alimentaria y cosmética	Curcumina	53, 54
O/W	Médica	$\alpha$ -tocoferol	55, 56
O/W	Alimentaria	$\beta$ -sitosterol y $\gamma$ -orizanol	57
O/W	Alimentaria	Caroteno	58
O/W*	Alimentaria	Lactosa	59
O/W*	Alimentaria	Vitamina D	60
W/O/W	Médica	Insulina	61
W/O/W	Alimentaria	Croxina	62
W/O/W	Alimentaria	Zumo de remolacha	63, 64
W/O/W	Médica	Azocaseína	66
W/O/W	Médicas y alimentarias	Apigenina	66
W/O/W	Alimentaria	Semilla de uva	47
W/O/W	Alimentaria y cosmética	trans-resveratrol	2, 3, 9
W/O/W	Alimentaria y cosmética	Vitamina B <sub>12</sub>	67, 68
W/O/W	Alimentaria y cosmética	Azafrán	69
W/O/W	Alimentaria	Procianidinas	70
W/O/W	Médica	Aspirina	71
W/O/W	Alimentaria	Prebióticos	72
W/O/W	Alimentaria	Hierro	73
W/O/W	Alimentaria	Magnesio	74
W/O/W	Alimentaria	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	75
W/O/W*	Alimentaria	Colorante alimentario	76

\*Emulsiones tipo Pickering.

Por otro lado existen diversas aplicaciones en las que la emulsión no es el producto final sino que actúa como producto intermedio. En estos casos las gotas de emulsión actúan de reactores donde se produce la precipitación o reacción necesaria para la formación de la partícula final, en este campo podemos encontrar la síntesis de partículas metálicas, de cápsulas poliméricas o de vesículas.

Otras aplicaciones conciernen el uso de nanoemulsiones como transportadores de oxígeno. Estas nanoemulsiones pueden penetrar con facilidad en las células transportando y liberando el oxígeno encapsulado de una manera controlada.<sup>[76]</sup>

### Tendencias futuras

Las últimas investigaciones tienden a la formulación de emulsiones con compuestos cada vez más naturales. En este sentido las emulsiones Pickering estabilizadas con partículas de almidón o las emulsiones estabilizadas con proteínas tienen un gran potencial de especial interés en la industria alimentaria.

A pesar de los grandes avances en los últimos años en el desarrollo de este tipo de sistemas mediante la selección apropiada de la formulación y el método de preparación, los avances respecto a la respuesta de estos sistemas frente a diferentes estímulos como temperatura, pH, campo magnético, etc., es escaso y es necesaria para poder desarrollar productos que operen como vehículo transportadores de las moléculas de interés.

### AGRADECIMIENTOS

Al profesor José Coca por la revisión de este artículo y sus sugerencias.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] P. Becher, *Emulsions: Theory and Practice*, 2.<sup>a</sup> ed., Reinhold Publishing Corp., ACS Monograph Series, núm. 162, Nueva York, 1965.
- [2] Y. Hemar, L. J. Cheng, C. M. Oliver, L. Sanguansri, M. Augustin, *Food Biophysics*, **2010**, *5*, 120-127.
- [3] M. Matos, G. Gutiérrez, J. Coca, J. C. Pazos, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, **2014**, *442*, 69-79.
- [4] V. Juškaitė, K. Ramanauskienė, V. Briedis, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, Article ID 540916, 2015, 10 págs.
- [5] W. Lu., A. L. Kelly, S. Miao, *Trends in Food Science & Technology*, **2016**, *47*, 1-9.
- [6] G. Gutiérrez, M. Matos, J. M. Benito, J. Coca, C. Pazos, *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.*, **2014**, *442*, 69-79.
- [7] M. Matos, G. Gutiérrez, O. Iglesias, J. Coca, C. Pazos, *Food Hydrocolloids*, **2015**, *49*, 156-163.

- [8] Y. Yang, D. J. McClements, *Food Hydrocolloids*, **2013**, *30*, 712-720.
- [9] M. Matos, G. Gutiérrez, O. Iglesias, J. Coca, C. Pazos, *Journal of Food Engineering*, **2015**, *166*, 212-220.
- [10] W. C. Griffin, *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, **1949**, *1*, 311-326.
- [11] W. C. Griffin, *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, **1954**, *5*, 249-256.
- [12] W. Ramsden, *Proc. R. Soc. Lond.*, **1903**, *72*, 156-164.
- [13] S. U. Pickering, *J. Chem. Soc., Trans.*, **1907**, *91*, 2001-2021.
- [14] M. Rayner *et al.* *J Sci Food Agric.* **2012**, *92*, 1841-1847.
- [15] B. P. Binks, *Curr. Opinion in Colloid & Interf. Sci.*, **2002**, *7*, 21-41.
- [16] P. Finkle, H. D. Draper, J. H. Hildebrand, *Journal of the American Chemical Society*, **1923**, *45*, 2780-2788.
- [17] M. Rayner, D. Marku, M. Eriksson, M. Sjöö, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. and Eng. Aspects*, **2014**, *458*, 48-62.
- [18] R. Miller, V. B. Fainerman, V. I. Kovalchuk, D. O. Grigoriev, M. E. Leser, M. Michel, *Advances in Colloid and Interface Science*, **2006**, *128-130*, 17-26.
- [19] S. Arditty, V. Schmitt, V. J. Giermanska-Kahn, F. Leal-Calderon, *J. Colloid Interface Sci.*, **2004**, *275*, 659-64.
- [20] Y. Bao, Y. Zhang, P. Liu, J. Ma, D. Simion, *Journal of Colloid and Interface Science*, **2019**, *5531*, 83-90.
- [21] J. Jeng, T.-Y. Chen, C.-F. Lee, N.-Y. Liang, W. Y. Chiu, *Polymer* **2008**, *49*, 3265-3271.
- [22] M. Matos, A. Marefati, G. Gutiérrez, M. Wahlgren, M. Rayner, *Plosone*, **2016**, *0160140*.
- [23] M. Matos, G. Gutiérrez, O. Iglesias, C. Pazos, J. Coca, *Food Hydrocolloids*, **2015**, *49*, 156-163.
- [24] M. Matos, A. Marefati, R. Bordes, G. Gutiérrez, M. Rayner, *Carbohydrate Polymers*, **2017**, *169*, 127-138.
- [25] J. W. J. de Folter, E. M. Hutter, E. M. Castillo, K. E. Klop, A. P. Philipse, W. K. Kegel, *Langmuir*, **2013**, *30*, 955-64.
- [26] C.-H. Tang, *Food Hydrocolloids*, **2020**, *103*, 105664.
- [27] E. Dickinson, *Food hydrocolloids*, **2019**, *96*, 209-223.
- [28] A. Aserin (ed.), *Multiple Emulsions: Technology and Applications*. John Wiley & Sons, Hoboken, Nueva Jersey, EE. UU., 2008.
- [29] R. Kumar, M. S. Kumar, N. Mahadevan, *International Journal of Recent Advances in Pharmaceutical Research*, **2012**, *2*, 9-19.
- [30] M. Iqbal, N. Zafar, H. Fessi, A. Elaissari, *International Journal of Pharmaceutics*, **2015**, *496*, 173-190.
- [31] N. Garti, A. Aserin, *Advances in Colloid and Interface Science*, **1996**, *65*, 37-69.
- [32] J. Silvestre de los Reyes, C. Charcosset, *Fuel*, **2010**, *89*, 3484-3488.
- [33] N. F. Krog, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **1977**, *54*, 124-131.
- [34] N. Garti, *Colloids & Surfaces A: Physicochem. & Eng. Asp.*, **1997**, *123/124*, 233-246.
- [35] H. Okochi, M. Nakano, *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, **1997**, *45*, 1323-1326.
- [36] T. Schmidts, D. Dobler, A. C. Guldan, N. Paulus, F. Runkel, *Colloids & Surfaces A: Physicochem. & Eng. Asp.*, **2010**, *372*, 48-54.
- [37] K. Holmberg, B. Jönsson, B. Kronberg, B. Lindman, *Surfactants and Polymers in Aqueous Solutions*. John Wiley & Sons, Inc., Chichester, England, 2003.
- [38] A. K. Rakshit, S. P. Moulik, *Physicochemistry of W/O microemulsions: Formation, stability, and drop clustering*. En *Microemulsions Properties and Applications*, M. Fanun (ed.), Taylor & Francis Group, Boca Raton, EE. UU., 2009, 17-58.
- [39] K. J. Lissant, *Journal of Colloid & Inter. Sci.*, **1966**, *22*, 462-468.
- [40] E. De Hoog, *Prepared Foods*, *180*(6), 99-105.
- [41] S. M. Joscelyne, G. Trägårdh, *J. Memb. Sci.*, **2011**, *169*, 107-117.
- [42] M. Rayner, G. Trägårdh, *Desalination*, **2002**, *145*, 165-172.
- [43] Z. Starbacek, P. Tausk, *Pergamon Press*, **1965**, Oxford, UK.
- [44] S. M. Jafari, *Encapsulation of nanoemulsions by spray drying*, Lambert Academic Publishing, Iran, 2009.
- [45] C. Yu, L. Wu, L. Li, M. Liu, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **2019**, *103*, 28-28.
- [46] S. van der Graaf, C. G. P. H. Schröen, R. M. Boom, *Journal of Membrane Sci.*, **2005**, *251*, 7-15.
- [47] R. Berendsen, C. Güell, M. Ferrando, *Food Chemistry*, **2015**, *178*, 251-258.
- [48] E. Dickinson, *Food Biophysics*, **2011**, *6*, 1-11.
- [49] A. L. Márquez, A. Medrano, L. A Panizzolo, J. R Wagner, *Journal of Colloid and Interf. Sci.*, **2010**, *341*, 101-108.
- [50] S. Li, B. Zhang, C. Li, X. Fu, Q. Huang, *Food Chemistry*, **2020**, *3051* a 125476.
- [51] M. Matos, A. Laca, F. Rea, O. Iglesias, M. Rayner, G. Gutiérrez, *J. Food Eng.*, **2018**, *222*, 207-217.
- [52] S. Jain, T. Winuprasith, M. Suphantharika, *Food Hydrocolloids*, **2020**, *104*, a 105730.
- [53] Q. Tang, X. Xieb, C. Lia, B. Zhen, X. Cai, G. Zhang, C. Zhou, L. Wang, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **2019**, *183*, 110414.
- [54] X. Lu, C. Li, Q. Huang, *International Journal of Biological Macromolecules*, **2019**, *139*, 917-924.
- [55] H. Cheng, Q. Fan, T. Liu, Wusigale, L. Liang, *Journal of Food Engineering*, **2020**, *264*, a109685.
- [56] Z. Fang, X. Xu, H. Cheng, J. Li, C. Guang, L. Liang, *Journal of Food Engineering*, **2019**, *247*, 56-63.
- [57] N. Khalid, I. Kobayashi, M. A. Neves, K. Uemura, M. Nakajima, H. Nabetani, *Food and Bioproducts Processing*, **2017**, *102*, 222-232.
- [58] D. Fu, S. Deng, D. J. McClements, L. Zou, J. Yi, C. Liu, W. Liu, *Food Hydrocolloids*, **2019**, *89*, 80-89.
- [59] Y. Zhang, Q. Zhong, *Food Chemistry*, **2018**, *241*, 397-402.
- [60] T. Winuprasith, P. Khomein, W. Mitbumrung, M. Suphantharika, A. Nitithamyong, D. J. McClements, *Food Hydrocolloids*, **2018**, *153-164*.
- [61] B. Mutaliyeva, D. Grigoriev, G. Madygekova, A. Sharipova, A. Aidarova, A. Saparbekova, R. Miller, *Colloids & Surfaces A: Physicochem. & Eng. Asp.*, **2017**, *521*, 147-152.
- [62] M. Amin Mehrnia, S. M. Jafari, B. S. Makhmal Zadeh, Y. Maghsoudlou, *Food Hydrocolloids*, **2017**, *66*, 259-267.
- [63] V. Eisinaite, D. Juraite, K. Schröen, D. Leskauskaitė, *J. Food Eng.*, **2017**, *213*, 54-59.

- [64] V. Eisinaite, D. Juraite, K. Schröen, D. Leskauskaitė, *Food Chemistry*, **2016**, 206, 59-66.
- [65] H. J. Giroux, G. Robitaille, M. Britten, *LWT Food Science & Technol.*, **2016**, 69, 225-232.
- [66] B. K. Kim, A. R. Cho, D. J. Park, *Food Chem*, **2016**, 206, 85-91.
- [67] M. Matos, G. Gutiérrez, O. Iglesias, J. Coca, C. Pazos, *J. Food Eng.*, **2015**, 166, 212-220.
- [68] H. J. Giroux, P. Fustier, C. P. Champagne, D. St-Gelais, M. Lacroix, M. Britten, *Int. Dairy J.*, **2013**, 29, 107-114.
- [69] A. Faridi, E. Seid, M. Jafari, E. Assadpoor, A. Mohammadi, *J. Food Eng.* **2015**, 165, 149-155.
- [70] R. Berendsen, C. Güell, M. Ferrnado, *Food Hydrocolloids*, **2015**, 43, 636-648.
- [71] S. Y. Tang, M. Sivakumar, B. Nashiru, *Colloids Surf. B: Biointerfaces*, **2013**, 102, 653-658.
- [72] D. J. Pimentel González, R. G. Campos Montiel, C. Lobato Calleros, R. Pedroza Islas, E. J. Vernon Carter, *Food Research Int.*, **2009**, 42, 292-297.
- [73] S. J. Choi, E. A. Decker, D. J. McClements, *Food Chemistry*, **2009**, 116, 271-279.
- [74] M. Bonnet, M. Cansella, M. H. Ropers, M. Anton, F. Leal-Calderon, *Food Hydrocolloids*, **2009**, 23, 92-101.
- [75] M. Shima, Y. Morita, M. Yamashita, S. Adachia, *Food Hydrocolloids*, **2006**, 20, 1164-1169.
- [76] C. A. Fraker, A. J. Mendez, L. Inverardi, C. Ricordi, C. L. Stabler, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, **2012**, 98, 26-35.

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



Si tienes menos de  
25 años, hazte socio  
de la RSEQ por  
10 EUR

  
Real Sociedad Española de Química  
[www.rseq.org](http://www.rseq.org)



# Dióxido de carbono, sus dos caras

Maribel Arroyo y Armando Ramírez-Monroy

**Resumen:** Debido al calentamiento global, la sociedad ha centrado su atención en el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera como el principal gas de efecto invernadero responsable del cambio climático, principalmente por actividades antropogénicas y particularmente por la combustión de materiales fósiles. Sin embargo, hasta cierto límite la presencia del dióxido de carbono en la atmósfera es necesaria para mantener la temperatura óptima del planeta y es la materia prima de las plantas verdes para realizar la fotosíntesis que produce el oxígeno necesario para la supervivencia de la humanidad, entonces ¿es el dióxido de carbono perverso o un benefactor?

**Palabras clave:** Dióxido de carbono, fotosíntesis, efecto invernadero, emisiones antropogénicas, utilización de CO<sub>2</sub>.

**Abstract:** Due to global warming, society has focused its attention on increasing analyze the production of carbon dioxide as the main greenhouse gas responsible for climate change, mainly due to anthropogenic activities and fossil fuel combustion. However, to a certain extent the presence of carbon dioxide in the atmosphere is necessary to maintain the optimal temperature of the planet and is the raw material of green plants to carry out the process of photosynthesis which produces the oxygen necessary for the survival of humanity then, is carbon dioxide a villain or a benefactor?

**Keywords:** Carbon dioxide, photosynthesis, greenhouse effect, anthropogenic emissions, CO<sub>2</sub> utilization.

## INTRODUCCIÓN

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es, en condiciones ambientales, un gas inodoro e incoloro que está constituido de un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno unidos por enlaces covalentes. Es producido en los procesos de fermentación, respiración y combustión. Este compuesto químico forma parte de tres sistemas estabilizadores del ciclo del carbono por el cual el carbono se intercambia en la biósfera global: el CO<sub>2</sub> actúa como un

gran *termostato* al impedir la fuga total de la radiación solar que incide en la Tierra, regulando así su temperatura; es un *homeostato del oxígeno atmosférico* (O<sub>2</sub>) regulando su concentración a través de la fotosíntesis y de la degradación de la materia orgánica hasta CO<sub>2</sub> e interviene en la regulación del *nivel de pH de los océanos* mediante la formación de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) el cual es neutralizado por el carbonato de calcio (CaCO<sub>3</sub>) presente en el medio (Figura 1).<sup>[1]</sup> Sin embargo, el aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera conduce a la desestabilización de estos sistemas y está actualmente relacionado con el calentamiento global del planeta, y los mecanismos estabilizadores del ciclo del carbono trabajan demasiado lentamente respecto a las escalas de tiempo de la vida del ser humano por lo que los efectos del calentamiento global durarán tanto como tome a estos procesos actuar, por lo que es inminente que se actúe también al respecto. Se han estudiado diversos mecanismos para la mitigación y aprovechamiento del CO<sub>2</sub> ya que, al ser un gas no tóxico y abundante puede ser empleando para obtener productos de alto valor añadido. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> es una molécula inerte por lo que su activación requiere de condiciones de temperatura y presión elevadas o del uso de catalizadores que permiten su transformación en condiciones suaves de reacción.



M. Arroyo



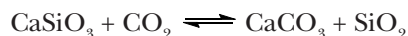
A. Ramírez-Monroy

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
Centro de Química del Instituto de Ciencias,  
Ciudad Universitaria  
Av. San Claudio S/N, Col. San Manuel,  
Puebla, 72570, México  
C-e: [armando.ramirez@correo.buap.mx](mailto:armando.ramirez@correo.buap.mx)  
[sandra.arroyo@correo.buap.mx](mailto:sandra.arroyo@correo.buap.mx)

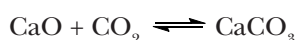
Recibido: 27/02/2020. Aceptado: 16/04/2020.

## SISTEMAS ESTABILIZADORES DE LA BIÓSFERA GLOBAL

El mecanismo de termostato dentro del ciclo del carbono estabiliza la temperatura del planeta regulando la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera. La composición química más simple de las rocas ígneas es  $\text{CaSiO}_3$ , aunque la mayoría de las rocas contienen otros elementos y fórmulas químicas más complicadas. Así, se puede decir que el mecanismo del termostato se basa en la siguiente reacción química:



la cual podría simplificarse a la ecuación siguiente:



Entonces, la química esencial responsable del termostato de  $\text{CO}_2$  radica en el desgaste químico del  $\text{CaO}$  de las rocas ígneas donde el carbono es reclutado como  $\text{CO}_2$  atmosférico y finalmente termina en la forma química de  $\text{CaCO}_3$  en sedimentos del océano. Es decir, la meteorización química de las rocas actúa como un sumidero de carbono y proporciona una vía para que el carbono salga de la atmósfera y regrese a la Tierra sólida. Cuando la temperatura de la Tierra se eleva aumenta la evaporación de agua a la atmósfera y se generan más lluvias, aumentando así la velocidad de la meteorización química de las rocas. El sumidero de carbono (secuestro de  $\text{CO}_2$  de la atmósfera) provocado por el desgaste o deterioro químico de las rocas se equilibra naturalmente por la desgasificación de  $\text{CO}_2$  que emerge de la Tierra sólida en forma de gases volcánicos y de fluidos de ventilación hidrotermales de aguas profundas. Si la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera fuera demasiado alta, el sumidero de carbono debido a la meteorización consumiría más  $\text{CO}_2$  del que podría reponer su fuente volcánica, y la concentración de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera disminuiría; así, el planeta se enfriaría, ralentizando el ciclo hidrológico y disminuyendo el sumidero de carbono de la meteorización química. Finalmente, después de unos cientos de miles de años, el sumidero por meteorización volvería a equilibrarse con la fuente de  $\text{CO}_2$ <sup>[1]</sup> y, evidentemente, por su lentitud, este proceso de equilibración no influye notablemente en los problemas actuales del cambio climático. Por otro lado, el contenido de oxígeno en la atmósfera también es estabilizado por los procesos que se llevan a cabo en la biósfera desde la aparición de las primeras formas multicelulares en la Tierra hace más de 600 millones de años, de tal manera que el aire contiene aproximadamente la misma cantidad de oxígeno desde entonces. Este equilibrio también es muy sensible ya que si el oxígeno disminuyera una décima parte de la concentración que tenemos hoy en día en el aire la vida multicelular acabaría, mientras que si incrementara alrededor de diez veces su concentración actual, incluso

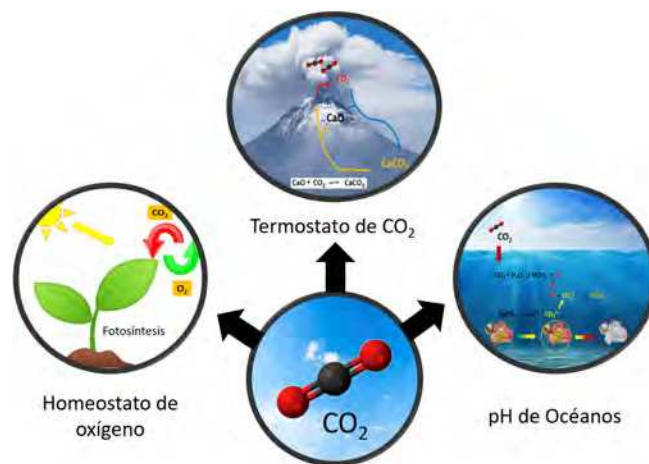
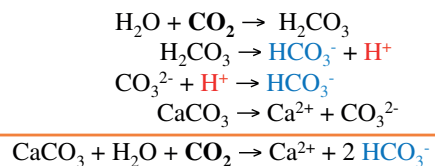


Figura 1. Sistemas estabilizadores del ciclo del carbono en la biósfera global

la madera húmeda ardería y una chispa podría encender un fuego imparable.<sup>[1]</sup> El oxígeno ( $\text{O}_2$ ) es producido por el proceso de fotosíntesis que se alimenta de  $\text{CO}_2$  y, a la vez, produce buena parte de la materia orgánica de nuestros alimentos y, a lo largo de muchos años, ha generado los combustibles fósiles.

La mayor parte de los compuestos de carbono de las plantas (materia orgánica) se descomponen eventualmente hasta  $\text{CO}_2$  y cuando esto ocurre consume la misma cantidad de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) que fue producida durante la fotosíntesis, de tal manera que una forma para que el oxígeno se incrementara en la atmósfera sería necesario que la materia orgánica no se degradara y se mantuviera aislada en algún lugar.

La acidez o el pH del océano es también controlada por elementos del ciclo del carbono ya que el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera sobre el mar se disuelve en el agua y reacciona con las moléculas de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) de las capas superficiales formando ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) el cual se disocia en protones e iones bicarbonato ( $\text{H}^+$  y  $\text{HCO}_3^-$ ) originando que el pH del agua disminuya, es decir, se acidifique; sin embargo, el ion hidrógeno a su vez reacciona con el ion carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) proveniente del carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) el cual actúa químicamente como una base neutralizando los ácidos, de tal forma que este compuesto se disuelve en medio ácido formando iones bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ). Las reacciones implicadas son:



De esta manera el pH o la acidez del océano es controlada por el  $\text{CaCO}_3$  disuelto que fluye dentro y fuera de los océanos, sin embargo, este control de pH puede tomar miles de años y uno de los resultados del aumento de  $\text{CO}_2$

atmosférico y su consecuente aumento de la acidez de los océanos es que el carbonato de calcio de corales, arrecifes y de las conchas de muchos animales marinos está siendo utilizado en esta reacción de neutralización causando su descalcificación, lo que compromete la vida marina.

## INCREMENTO DEL DIÓXIDO DE CARBONO EN LA ATMÓSFERA Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

El dióxido de carbono es un componente natural del aire y un gas de efecto invernadero junto con el vapor de agua, metano, óxido nítrico, clorofluorocarbonos, hexafluoruro de azufre y ozono. Estos componentes atmosféricos retienen parte de la energía que el suelo emite en forma de radiación electromagnética, principalmente de la región infrarroja, después de haber sido calentado por la radiación solar, lo que impide que el calor de la superficie desaparezca notablemente y que la Tierra se enfríe, haciendo posible la vida como la conocemos en el planeta.

Las plantas verdes necesitan el dióxido de carbono, agua y luz solar para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis mediante el cual producen sustancias orgánicas para nutrirse a sí mismas y cuando ellas son ingeridas por animales y humanos éstos también son beneficiados. Al mismo tiempo, los animales y los humanos, además de tener condiciones benéficas de temperatura en el planeta, también necesitan respirar oxígeno ( $O_2$ ) del aire el cual convierten en dióxido de carbono ( $CO_2$ ). No obstante, hoy en día el “dióxido de carbono es considerado el mayor causante del cambio climático” debido a su incontrolado y continuo aumento en la atmósfera en los últimos 60 años,<sup>[2]</sup> principalmente por medios antropogénicos, lo que aumenta también de manera continua e incontrolada el efecto invernadero. De acuerdo con la versión más reciente del informe especial del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés),<sup>[3]</sup> el calentamiento global inducido por el hombre ha aumentado desde la época preindustrial hasta 2017 aproximadamente  $1^\circ C$  y el aumento actual es de  $0,2^\circ C$  por década. Aunque estos valores parecen ser bajos, hay que tomar en cuenta que los equilibrios arriba discutidos son muy sensibles y con este pequeño aumento de temperatura pueden caer en un desequilibrio ya no controlable por el ser humano. De hecho, el calentamiento global de  $1^\circ C$  que hemos alcanzado respecto a los niveles preindustriales provoca graves consecuencias en los ecosistemas y las personas. Por otra parte, los océanos contienen alrededor de 50 veces más  $CO_2$  que la atmósfera y las algas en las capas superiores lo transforman notablemente también a través del proceso de fotosíntesis. Particularmente, el aumento en la concentración de  $CO_2$  en la atmósfera y su alta solubilidad en agua ( $H_2O$ ), unida a la reacción entre ambos para formar ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ), provocan un aumento de la acidez de los océanos que deriva en alteraciones de los ecosistemas marinos.

Adicionalmente, la fusión de las capas polares de hielo y los glaciares de montaña provocan que el nivel de mar se eleve y que la intensificación de vientos y precipitaciones asociados a ciclones tropicales se agudicen al mismo tiempo que las mareas altas. El deshielo de las regiones de permafrost o “permafrost” (capa de subsuelo de la corteza terrestre que se encuentra congelada) en Canadá, Alaska, Siberia y Noruega, tiene como consecuencias que por un lado aumente la cantidad de agua que se mueve rumbo a los océanos y, por otro, aumente la emisión de  $CO_2$  y  $CH_4$ . Lo último porque en el subsuelo de estas regiones se encuentran grandes cantidades de materia orgánica acumulada a lo largo de cientos de miles de años y, con el aumento de la temperatura, los microorganismos empiezan a descomponer esta materia orgánica y la transforman en grandes cantidades de  $CO_2$ .<sup>[4]</sup> En particular, la fusión de los glaciares de montaña afecta directamente a las comunidades creando problemas de disponibilidad de agua y de su calidad, así como a los sectores agrícola e hidroeléctrico. Sin dejar pasar por alto que se generan más deslizamientos de tierra, avalanchas, desprendimiento de rocas e inundaciones. En este punto es importante resaltar que, aunque se logre hoy día una reducción drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero y la temperatura global se estabilice, aún podríamos tener para el año 2100 un aumento del nivel del mar de 60 a 110 cm. Adicionalmente, la expansión de las aguas cálidas en los océanos también afecta la abundancia de la vida marina y cambia la población de peces ya que se reduce el suministro de oxígeno y nutrientes al reducirse la mezcla de capas de agua, repercutiendo en los ecosistemas marinos y tramas alimentarias oceánicas de las que dependen las personas, quienes además son afectadas por olas de calor marinas cada vez más intensas y frecuentes.<sup>[5]</sup> Aunado a lo anterior la fusión de los glaciares también deja escapar dióxido de carbono que ha estado atrapado en el hielo por siglos aseverando aún más el problema del calentamiento global.

Este alarmante aumento en la temperatura global del planeta demanda mínimamente limitar el aumento de temperatura del planeta a  $1,5^\circ C$  y, si las emisiones continuaran al ritmo actual este límite se alcanzaría en tan solo dos décadas, por lo que, a corto plazo es necesario e inminente reducir gradualmente las emisiones antropogénicas no naturales netas de  $CO_2$  a partir del año 2020 y llegar a cero alrededor del año 2050.<sup>[3]</sup>

Las emisiones de  $CO_2$  se relacionan con diferentes sectores económicos como el industrial, el de servicios, hogares, transporte, calefacción urbana, producción de combustibles y, en general, el sector de energía. Sin embargo, los datos de las emisiones netas no están disponibles y en otros casos es difícil su cuantificación.<sup>[6]</sup> En el sector industrial las más altas emisiones de  $CO_2$  ocurren en las cementeras, productoras de cal, amoníaco, óxido de etileno, plantas de energía, la industria de metales no ferrosos (producción de aluminio, cobre y zinc) y la industria del vidrio. No obstante, en algunas industrias

como la de amoníaco y óxido de etileno se han acoplado plantas de licuefacción donde el  $\text{CO}_2$  es recuperado. Otros sectores emisores de  $\text{CO}_2$  son la industria química, la de producción de acero y coque, la industria de alimentos, bebidas y tabaco, la del papel, la madera, el comercio y la agricultura (quema de restos de plantas). La identificación de las fuentes de emisiones de  $\text{CO}_2$  y su cuantificación podría ser el primer paso hacia un camino efectivo para mitigar el cambio climático.<sup>[6]</sup>

### ENTONCES... ¿CÓMO REDUCIR Y/O CONTROLAR EL CONTENIDO DE $\text{CO}_2$ EN LA ATMÓSFERA?

Dados los niveles actuales tan elevados de  $\text{CO}_2$  (y otros gases de efecto invernadero) en la atmósfera, el modo radical para resolver el problema sería simplemente ya no generarlo más por métodos artificiales. No obstante, hoy en día con nuestro nivel de vida es prácticamente imposible suspender drásticamente su generación, la cual se suma a las emisiones de  $\text{CO}_2$  de fuentes naturales en el planeta.

En el año 2002 en el simposio de la Sociedad Americana de Química (ACS) se propusieron cinco acciones para controlar el nivel de emisiones de  $\text{CO}_2$  antropogénicas no naturales (Figura 2):<sup>[7]</sup>

1. Elegir fuentes de energía alternativas.
2. Mejorar la eficiencia de la energía generada por fuentes fósiles.
3. Captura de  $\text{CO}_2$ .
4. Secuestro de  $\text{CO}_2$ .
5. Conversión y utilización de  $\text{CO}_2$ .

La elección de *fuentes de energía alternativas* se refiere a optar por formas de energía que produzcan menor cantidad de  $\text{CO}_2$ , como gas natural en lugar de carbón. La regla es que a mayor relación H/C menor será la emisión de  $\text{CO}_2$ , para lo que las relaciones (en masa) H/C son: gas natural (ca. 3-4), petróleo (ca. 1,8-2,0) y carbón (ca. 0,8-1,2); otras posibilidades son el uso de energía nuclear y otras fuentes de energía renovables como hidroeléctrica, solar, geotérmica y eólica.

Respecto a *mejorar la eficiencia de la energía generada por fuentes fósiles*, los generadores de electricidad basados en fuentes de combustibles fósiles tenían una eficiencia promedio de ca. 35%, es decir, alrededor del 65% de la energía era desperdiciada. Las eficiencias para los automóviles eran incluso más bajas (menores del 20%) por lo que mejoras significativas de eficiencia tanto en tecnologías de generación de energía como en vehículos de transporte han sido logradas y deben seguir mejorando. Esto también se puede aplicar a la industria química donde, por ejemplo, un catalizador más selectivo puede lograr que un proceso de oxidación sea más selectivo de modo que la formación de  $\text{CO}_2$  sea minimizada.

La *captura de  $\text{CO}_2$*  involucra su separación física o química de una mezcla de gases a través de métodos de

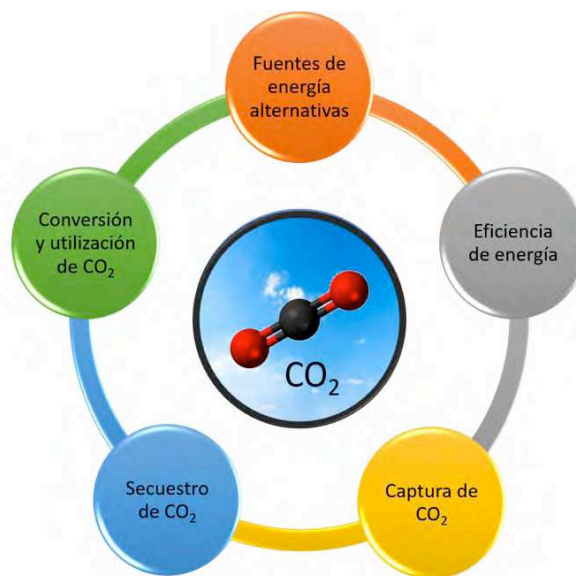


Figura 2. Cinco acciones para controlar el nivel de emisiones de  $\text{CO}_2$  antropogénicas no naturales

absorción con un agente como 2-aminoetanol, adsorción física empleando un adsorbente sólido, separación criogénica a bajas temperaturas y separación con el uso de membranas.

Por otra parte, el *secuestro de  $\text{CO}_2$*  se refiere a su confinamiento a largo plazo en reservorios de gran capacidad. La idea es identificar primero fuentes industriales y energéticas relativamente puras de grandes cantidades de este gas y entonces tomarlas y almacenarlas hasta por cientos de miles de años para su aislamiento de la atmósfera, el almacenamiento puede ser geológico en campos agotados de petróleo y gas, acuíferos salinos profundos, vetas de carbón y en el océano profundo. Sin embargo, a pesar de que esta última alternativa ofrece la máxima capacidad potencial de almacenamiento, este procedimiento aún no es completamente aceptado por los obstáculos legales y su incertidumbre sobre el impacto ambiental y el tiempo de retención del gas que este método pueda tener.

Por último, la *conversión y utilización del  $\text{CO}_2$*  en productos químicos de alto valor añadido o su almacenamiento en forma de carbonatos minerales, representan procesos más caros que tienen limitada capacidad comparada con los reservorios naturales. Adicionalmente, la mayoría de los procesos industriales requieren una alta pureza de  $\text{CO}_2$ , especialmente si el  $\text{CO}_2$  se utiliza en el procesamiento de alimentos y bebidas, inclusive para algunos procesos es necesario remover la humedad y trazas de oxígeno. La conversión y utilización del  $\text{CO}_2$  representa alrededor del 0,1% de  $\text{CO}_2$  liberado a la atmósfera.<sup>[6]</sup> Por lo tanto, para que esta opción tenga un efecto importante en la mitigación de este gas de efecto invernadero será necesario incrementar exponencialmente su uso en diferentes procesos.

Para su utilización industrial, a pesar de que el dióxido de carbono se encuentra en la atmósfera y algunos



pozos naturales, el 85% del  $\text{CO}_2$  que se usa en la industria proviene de procesos secundarios integrados a la producción de otros productos como por ejemplo la producción de amoníaco y óxido de etileno, fermentación durante la producción de alcohol, producción de hidrógeno, etc. Pero en algunas plantas como las de amoníaco una gran parte del  $\text{CO}_2$  recuperado se utiliza para la producción de urea y solo una pequeña cantidad es purificada y licuada.

El dióxido de carbono en la industria se utiliza en varios sectores como el de *procesamiento de alimentos* para la refrigeración y congelado, sacrificio de animales de granja y empaquetado de diversos productos para prevenir pérdida de sabor, descomposición, oxidación y crecimiento de bacterias. Recientemente, el  $\text{CO}_2$  se ha empleado como fluido supercrítico para la extracción de la cafeína del café, producción de saborizantes, colorantes naturales y aceites esenciales. Otro uso común es como aditivo en *bebidas carbonatadas y vinos espumosos*.<sup>[6]</sup>

En la *industria química* se usa como materia prima para la preparación de salicilato de sodio, el cual es un intermediario en la producción de aspirina, y de carbonatos y/o bicarbonatos de plomo, sodio, potasio y amonio. Además, la industria química está desarrollando procesos químicos para la producción de pigmentos, policarbonatos, uretano y síntesis directa de gasolina. En la *industria de metales* el mayor uso del  $\text{CO}_2$  es como gas protector de soldadura para proteger la zona de soldado del efecto del oxígeno, nitrógeno e hidrógeno. En fundición el  $\text{CO}_2$  se emplea en combinación con otros aditivos para moldes de arena para fundición de hierro y otros metales. En la separación de aceite de partículas metálicas generadas durante su maquinado.<sup>[6]</sup>

En el área de la *agricultura* el  $\text{CO}_2$  es empleado para fumigar los silos de granos, como aditivo de agua de irrigación, aditivo en la atmósfera de invernaderos para estimular el crecimiento de algunas plantas y algas como la Espirulina. En *otros sectores* el  $\text{CO}_2$  se utiliza para el procesamiento de gomas y plásticos, el tratamiento de aguas, para enfriamiento en plantas nucleares, como disolvente supercrítico, para reinyectar en pozos con el fin de llevar a cabo una segunda recuperación de petróleo, para recuperar metano y gas natural, para la producción de hielo seco y llenado de cilindros entre otros.

La conversión y utilización de  $\text{CO}_2$  destaca por el desarrollo de procesos industriales donde se aprovecha al máximo el  $\text{CO}_2$  para la síntesis de compuestos orgánicos de interés tales como ácido salicílico, urea y carbonatos cíclicos, principalmente (Figura 3). Sin embargo, el uso del  $\text{CO}_2$  como materia prima involucra un reto sintético debido a que esta molécula es termodinámicamente estable y cinéticamente inerte por lo que es necesaria su activación o su condensación con un sustrato previamente activado y la manera más viable de lograrlo es el uso de un catalizador de metal de transición.<sup>[8]</sup>

La coordinación directa del  $\text{CO}_2$  al metal de transición logra disminuir la energía de activación requerida para las reacciones donde está involucrado como materia prima y



Figura 3. Ejemplos de la conversión y utilización de  $\text{CO}_2$

así aumenta la velocidad de reacción haciendo posible la obtención de productos de alto valor añadido que van desde la síntesis de carbonatos orgánicos y metanol, hasta la preparación de policarbonatos biodegradables.<sup>[9]</sup>

Es claro que además de las cinco acciones para controlar el nivel de emisiones de  $\text{CO}_2$  antropogénicas no naturales es necesario contar con políticas que garanticen la reducción de estas emisiones por parte de los sectores que rigen nuestra forma socioeconómica de vida. Algunas de estas políticas fueron plasmadas en el *protocolo de Kioto* que es un acuerdo internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC) para promover el desarrollo sostenible al cumplirse los compromisos de limitación y reducción de emisiones antropogénicas (expresadas en dióxido de carbono equivalente) de los gases de efecto invernadero con miras a reducir el total de estas emisiones en el período de 2008-2012 a un nivel inferior del 5% respecto al nivel registrado en 1990.<sup>[10]</sup> El protocolo entró en vigor en 2005 y actualmente tiene una vigencia hasta el 31 de diciembre de 2020. Un segundo acuerdo mundial sobre el cambio climático denominado *acuerdo de París* se alcanzó el 12 de diciembre de 2015 en dicha ciudad y entró en vigor el 4 de noviembre de 2016. Este acuerdo busca reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático en un contexto de desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza, de tal manera que se mantenga el incremento medio de la temperatura mundial muy por debajo de  $2^\circ\text{C}$ , que se aumente la capacidad de adaptación a los efectos adversos del cambio climático y se promueva la resiliencia al clima y un desarrollo con bajas emisiones de gases de efecto invernadero que no comprometa la producción de alimentos.<sup>[11]</sup> Este acuerdo se aplicaría en el presente año 2020, cuando finaliza el protocolo de Kioto.

## CONCLUSIONES

El dióxido de carbono es una sustancia benigna que hace posible la vida en el planeta, pero su emisión excesiva a la atmósfera por actividades antropogénicas no naturales, lo hace nocivo ya que incrementa la temperatura global del planeta poniendo en riesgo la vida como la conocemos. Dado el nivel actual tan elevado de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, en este momento el modo radical para resolver el problema de emisión sería simplemente ya no generarlo más por métodos artificiales. Sin embargo, nuestro nivel de vida como lo conocemos donde empleamos combustibles fósiles y el desarrollo emergente de nuevas tecnologías verdes para su uso y conversión lo hacen difícil. La gran abundancia del CO<sub>2</sub> lo convierte en una sustancia barata, no tóxica y renovable la cual puede utilizarse para la síntesis de compuestos químicos de alto valor añadido. El uso de tecnologías de recuperación y utilización del CO<sub>2</sub> a escalas importantes puede contribuir, aunque sea modestamente, a la reducción de la emisión e inmisión (calidad del aire) del CO<sub>2</sub> en la atmósfera. No obstante, la proyección de emisiones de CO<sub>2</sub> en el futuro muestra que aún seguirán aumentado modestamente sus niveles y aunque el planeta por sí mismo tiene mecanismos bien establecidos para su atenuación y equilibrio de manera natural, éstos tardarán cientos de miles de años. Por lo tanto, es necesaria la implementación de normativas y estrategias para el control de sus emisiones al mismo tiempo que se mejoren las tecnologías y se empleen energías alternativas económicas. Adicionalmente, es necesario identificar las fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> y su cuantificación podría ser el primer paso hacia un camino efectivo para mitigar el cambio climático. Recientemente, también se ha propuesto la *captura directa de CO<sub>2</sub>* del aire, que es un proceso caro pero debido al avance tecnológico y la producción de nuevos materiales eficaces para su separación en un futuro puede ser una nueva estrategia rentable. No obstante, una vez capturado aún hay que decidir qué hacer con él.<sup>[12]</sup> La empresa *Carbon Engineering* desde 2009 emplea un proceso de captura de CO<sub>2</sub> basado en la generación de carbonato de potasio (K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) que selectivamente libera CO<sub>2</sub> que es capturado y empleado para producir combustible sintético.<sup>[13]</sup> Por otra parte, *Climeworks* emplea materiales granulados porosos modificados con aminos los cuales capturan el CO<sub>2</sub> y la humedad del ambiente y una vez que se calienta el material cerca de 100 °C el CO<sub>2</sub> capturado es recuperado y combinado con agua para transformarlo en combustible o empleado en la industria de bebidas carbonatadas.<sup>[14]</sup> Sin embargo, el gas una vez que es usado volverá a la atmósfera y estaremos con el problema latente. En este contexto, la reforestación global de árboles permanece entre las opciones más efectivas para mitigar el cambio climático,<sup>[15]</sup> y empieza a ser una realidad con la iniciativa del Foro Económico Mundial *Trillion Tree* diseñada para apoyar a la restauración del ecosistema en 2021-2030.<sup>[16]</sup> Sin embargo, será necesario tomar en cuenta el *tiempo* de crecimiento de un árbol, que puede ser hasta de 25 años, para que compense determinada cantidad de las emisiones, el *espacio* para plantarlos a gran escala, su *permanencia* como materia orgánica ya que una vez que el árbol se degrada completamente el CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera, así como el control de incendios forestales. En este aspecto es muy importante regular que el compromiso de plantación de árboles no sea canjeado por el permiso de seguir contaminando con emisiones indiscriminadas de CO<sub>2</sub>, pues con la implementación de programas de compensación de carbono, con lo que se otorgan permisos para emitir el mismo nivel que se compensa, se tiene el riesgo de emitir aún más CO<sub>2</sub> del que se quiere retirar.<sup>[17]</sup> En este punto será además necesario considerar hacer estudios de suelo y flora para determinar qué especies de árboles serán los más adecuados por zona geográfica o simplemente reforestar con árboles endémicos, ya que también la elección equivocada del árbol puede desencadenar otros problemas como el consumo excesivo de agua de subsuelo o la pérdida de áreas verdes al introducir árboles territoriales. Entonces ¿es el dióxido de carbono perverso o un benefactor?

ración del ecosistema en 2021-2030.<sup>[16]</sup> Sin embargo, será necesario tomar en cuenta el *tiempo* de crecimiento de un árbol, que puede ser hasta de 25 años, para que compense determinada cantidad de las emisiones, el *espacio* para plantarlos a gran escala, su *permanencia* como materia orgánica ya que una vez que el árbol se degrada completamente el CO<sub>2</sub> regresa a la atmósfera, así como el control de incendios forestales. En este aspecto es muy importante regular que el compromiso de plantación de árboles no sea canjeado por el permiso de seguir contaminando con emisiones indiscriminadas de CO<sub>2</sub>, pues con la implementación de programas de compensación de carbono, con lo que se otorgan permisos para emitir el mismo nivel que se compensa, se tiene el riesgo de emitir aún más CO<sub>2</sub> del que se quiere retirar.<sup>[17]</sup> En este punto será además necesario considerar hacer estudios de suelo y flora para determinar qué especies de árboles serán los más adecuados por zona geográfica o simplemente reforestar con árboles endémicos, ya que también la elección equivocada del árbol puede desencadenar otros problemas como el consumo excesivo de agua de subsuelo o la pérdida de áreas verdes al introducir árboles territoriales. Entonces ¿es el dióxido de carbono perverso o un benefactor?

## AGRADECIMIENTOS

A los colegas que amablemente compartieron su opinión sobre el texto.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Archer, *The global carbon cycle*, Princeton University Press, **2010**, 1-20.
- [2] M. Aresta, Carbon Dioxide: Utilization Options to Reduce its Accumulation in the Atmosphere. En *Carbon Dioxide as Chemical Feedstock* (ed. M. Aresta), WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Weinheim, **2010**, 1-13.
- [3] *Cambio Climático: Calentamiento Global de 1,5°C*. Agencia Estatal de Meteorología y Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio para la Transición Ecológica, Madrid, España, **2019**, 1033-1041.
- [4] a) O. A. Anisimov, F. E. Nelson, Permafrost and Global Warming: Strategies of Adaptation. En *Adapting to Climate Change: An International Perspective* (eds. J. B. Smith et al.), Springer-Verlag, New York, **1996**, 440-449; b) R. Margesin, T. Collins, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2019**, *103*, 2537-2549.
- [5] Comunicado de prensa del IPCC (2019/31/PR), 25 de septiembre de 2019.  
[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/09/srocc\\_p51-pressrelease\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/09/srocc_p51-pressrelease_es.pdf)  
Consultado el 15 de febrero de 2020.
- [6] M. Aresta, *Carbon dioxide Recovery and utilization* (ed. M. Aresta), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, **2003**.

- [7] C. Song, CO<sub>2</sub> Conversion and Utilization: An Overview. En *CO<sub>2</sub> Conversion and Utilization* (eds. C. Song, A. F. Gaffney, K. Fujimoto). American Chemical Society, Estados Unidos, **2002**, 2-30.
- [8] A. Dedieu, C. Bo, F. Ingold, Carbon Dioxide Organometallics Chemistry: Theoretical Developments. En *Metal-ligand interaction: from atoms, to clusters, to surfaces* (eds. D. R. Salahub, N. Russo), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, **1992**, 175-197.
- [9] J. A. Castro-Osma, Utilización de dióxido de carbono como fuente sostenible de carbono para la síntesis de carbonatos cíclicos y policarbonatos, *An. Quím.* **2016**, 112(4), 207-215.
- [10] Naciones Unidas (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpsan.pdf> Consultado el 15 de febrero de 2020.
- [11] Naciones Unidas (2015). Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [https://unfccc.int/sites/default/files/spanish\\_paris\\_agreement.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/spanish_paris_agreement.pdf) Consultado el 15 de febrero de 2020.
- [12] D. W. Keith, G. Holmes, D. St. Angelo, K. Heidel, A process for capturing CO<sub>2</sub> from the atmosphere, *Joule* **2018**, 2, 1573-1594.
- [13] Carbon Engineering. <http://carbonengineering.com/> Consultado el 24 de febrero de 2020.
- [14] Climeworks. <https://www.climeworks.com/>. Consultado el 24 de febrero de 2020.
- [15] J.-F. Bastin, Y. Finegold, C. Garcia, D. Mollicone, M. Rezende, D. Routh, C. M. Zohner, T. W. Crowther, The global tree restoration potential, *Science* **2019**, 365, 76-79.
- [16] <https://www.it.org/>. Consultado el 24 de febrero de 2020.
- [17] J. Temple (trad. por A. Mulutinovic). <https://www.technologyreview.es/s/11836/por-que-plantar-arboles-no-basta-para-resolver-la-emergencia-climatica> 31 de enero de 2020. MIT Technology Review. Consultado el 24 de febrero de 2020.



# Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH. Una propuesta didáctica

Otilia Val-Castillo

**Resumen:** El objeto del presente trabajo es introducir los conceptos de ácido y base, pH e indicadores, a los alumnos de enseñanza secundaria obligatoria, a partir del estudio de sustancias naturales que puedan servir para preparar sustancias indicadoras del pH y que se puedan encontrar fácilmente en nuestra vida cotidiana (en el supermercado, en el campo, en el jardín). Los alumnos a su vez se familiarizarán con el trabajo del laboratorio y, posteriormente, deberán desarrollar el trabajo por escrito y elaborar sus propias conclusiones.

**Palabras clave:** ácido-base, pH, indicadores, sustancias indicadoras de origen natural, antocianinas.

**Abstract:** The purpose of this paper is to introduce the concepts of acid and base, pH and indicators, to high school students from the study of natural substances that can be used to prepare pH indicator substances, and that we can easily find in our everyday life (in the supermarket, in the countryside, in the garden). Students will learn to work in a laboratory too, and after that, they must write a wide account of their task, including their own conclusions.

**Keywords:** acid-base, pH, pH indicators, natural substances as pH indicators, anthocyanins.

## INTRODUCCIÓN

Los talleres de refuerzo, los talleres de profundización, así como las prácticas de laboratorio, son esenciales para la comprensión de las asignaturas de Física y Química, siendo el aspecto más atrayente para los alumnos, como recogen multitud de artículos y estudios<sup>[3-6]</sup>.

Estas prácticas permiten adquirir las habilidades, destrezas y estrategias, que se requieren en la aplicación del método científico, además de permitir aplicar predominantemente los contenidos procedimentales y actitudinales de la asignatura de Física y Química.

“Los procesos científicos contribuyen a que los alumnos y las alumnas adquieran los instrumentos necesarios para explorar la realidad de una manera objetiva, rigurosa y contrastada, utilizando para ello procedimientos del tra-

bajo científico: planteamiento de problemas, formulación de hipótesis, diseño de experimentos, realización de los mismos, contraste de hipótesis, extracción de conclusiones y comunicación de la información de manera organizada y coherente”...“Por otra parte la utilización de los procesos científicos da lugar a que los alumnos y alumnas desarrollen las habilidades y destrezas propias del trabajo científico: flexibilidad intelectual, curiosidad, sentido crítico, verificación de los hechos, cuestionamiento de lo obvio y establecimiento de relaciones de cooperación y de trabajo en grupo”.<sup>[1]</sup>

Procedimientos prácticos que, por otra parte, resultan complicados de abordar en las pocas horas de currículum que la Consellería de Educación, Cultura y Deporte concede a las asignaturas de Física y Química en el ámbito de la Comunidad Valenciana.<sup>[2,7]</sup>

Para trabajar también contenidos y competencias relacionados con el bloque de los cambios químicos, que trata reacciones de especial interés, como las reacciones ácido-base, que se introducen en el nivel de cuarto de Educación Secundaria Obligatoria y se estudian en el nivel de segundo de Bachillerato, se ha considerado conveniente realizar como práctica el “Estudio de sustancias naturales como indicadores de pH”, ya que “El tema de las reacciones ácido-base se brinda a realizar muchas experiencias sencillas usando sustancias que se pueden encontrar fácilmente”.<sup>[8]</sup>



O. Val-Castillo

Doctora en Químicas  
Jefa del Departamento de Física y Química  
I.E.S. Lluís Simarro Lacabra.  
Av. País Valencià s/n 46800 Xàtiva (Valencia)  
C-e: [val\\_oti@gva.es](mailto:val_oti@gva.es)

Recibido: 22/01/2020. Aceptado: 29/04/2020.



## PLANTEAMIENTO Y COMPETENCIAS CLAVE

Según el nivel, los alumnos tendrán que empezar buscando información sobre los conceptos, ácido, base, neutralización, pH, indicadores... Una vez comprendidos estos conceptos se plantea el trabajo a realizar: los alumnos deben hacer hipótesis sobre qué sustancias cotidianas podrían cambiar de color a distintos pH y, posteriormente, realizar la experiencia en el laboratorio, observando el color de cada una de ellas para distintos valores de pH. Cada alumno elegiría una sustancia de entre las propuestas. Realizadas las experiencias, los alumnos debían elaborar un trabajo por escrito correctamente presentado en el que expusieran los conceptos adquiridos, las experiencias desarrolladas y las conclusiones.

De esta forma se integran los procedimientos de investigación científica, incluyendo las destrezas manuales necesarias, y también, procedimientos generales de cualquier trabajo intelectual, incluyendo las de comunicación.<sup>[9]</sup>

Se intenta de esta forma que se adquieran las siguientes competencias clave:<sup>[10]</sup>

1. *Competencia en comunicación lingüística, CCL*, adquiriendo habilidad para expresar ideas e interactuar con otras personas de manera oral o escrita, es decir, la exposición correcta de la investigación.
2. *Competencias básicas en ciencia y tecnología CMCT*, logrando habilidades para utilizar los conocimientos y metodología científicos, y para explicar la realidad que nos rodea: emitiendo hipótesis, planteando el problema, realizando la parte práctica y analizando los resultados con la elaboración de conclusiones, CCL.
3. *Competencia digital, CD*, usando de forma segura y crítica las TIC para obtener, analizar, producir e intercambiar información, en este caso la búsqueda de los conceptos ácido-base, indicador, pH, sustancias que pudieran comportarse como indicadores naturales...
4. *Competencia para aprender a aprender, CPAA*. Implica que el alumno desarrolle su capacidad para iniciar el aprendizaje y persistir en él, organizar sus tareas y tiempo, y trabajar de manera individual o colaborativa para conseguir un objetivo.
5. *Sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor, SIE*. Implica habilidades como la creatividad, planificar y gestionar proyectos.
6. *Competencias sociales y cívicas, CSC*. Hacen referencia a las capacidades para relacionarse con las personas, es decir, la cooperación con el resto de los alumnos del grupo.

## INTRODUCCIÓN A LOS CONCEPTOS

A partir de la información recogida por los alumnos nos centramos en los conceptos.

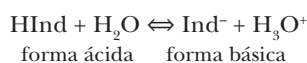
Ya que en el curso de cuarto de la ESO los criterios de evaluación están relacionados con el conocimiento básico de las reacciones ácido-base y de la escala de pH para identificar el carácter ácido o base de las sustancias, en este curso solo se utilizará la definición de Arrhenius. En los cursos de bachillerato se utilizará la definición de Brønsted y Lowry.

1. Definición de Arrhenius (premio Nobel de Química en 1903 por su teoría de la disociación electrolítica). Los ácidos son sustancias que en disolución acuosa generan iones  $H^+_{ac}$ , y las bases son sustancias que en disolución acuosa generan iones hidróxido  $OH^-_{ac}$ .
2. Definición de Brønsted y Lowry (1923). Los ácidos son sustancias donadoras de  $H^+$  (que en disolución acuosa originarían iones oxonio,  $H_3O^+$ ) y las bases son sustanciasceptoras de dichos protones, lo que hace que entre un ácido y una base se establezca una reacción de transferencia de protones.
3. Consideramos que el agua es una disolución neutra porque la concentración de protones disociados es igual a la de iones hidróxido presentes en ella, concretamente  $10^{-7}M$ , a  $25^\circ C$ . Cuando tenemos una sustancia ácida o básica en una disolución estas concentraciones dejan ser iguales. Un ácido aumenta la concentración de protones, y una base la hace disminuir. Por ello una disolución con una concentración de protones superior a  $10^{-7}M$ , a  $25^\circ C$ , se considera ácida y con una concentración menor básica.
4. Para no manejar estos valores tan pequeños de concentración, Sørensen, en 1909, propuso el concepto de pH como el logaritmo decimal de la concentración de iones oxonio cambiado de signo,  $pH = -\log [H_3O^+]$ , de esta forma el agua tendría un  $pH = 7$ , las disoluciones ácidas un  $pH$  menor de 7, y las básicas mayor de 7 (a  $25^\circ C$ ). Para medir esta cantidad se diseñaron los pechímetros. (Los alumnos de cuarto de la ESO aún no han estudiado logaritmos pero se les explica con ejemplos sencillos [ $\log 10^{-7} = -7$ ], y se les comenta que es un cálculo que se puede realizar con la calculadora).
5. Anteriormente, para determinar si una sustancia era ácida o básica, se utilizaban unas sustancias que eran capaces de cambiar de color según el medio en el que se encontraban (normalmente se trataba de sustancias de naturaleza orgánica en

las que el medio modifica el color). Se las llamó indicadores. Estos indicadores se utilizan mucho en química analítica para la determinación de concentraciones de ácidos o bases (técnica denominada valoración). Por ello, en los laboratorios de química, se suele disponer de sustancias de este tipo que se comercializan en forma sólida o preparadas en disolución, que normalmente suelen ser sintéticos y caros. Entre los más frecuentes se encuentran: la fenolftaleína, el azul de timol, el tornasol, el azul de bromotimol, el rojo de metilo, el naranja de metilo, etc.

### Ampliación para los niveles de bachillerato

Para comprender como funciona un indicador, representaremos de forma general al indicador en su forma ácida por HInd, y en su forma básica por Ind<sup>-</sup>:



Cuando la concentración de la forma ácida es aproximadamente igual a la concentración de la forma básica, el indicador presenta un color suma de ambas, pero si el pH se vuelve ácido, es decir, la concentración de iones oxonio aumenta, el equilibrio se desplaza hacia la forma HInd, aumentando su concentración, según el principio de LeChatelier, y adquiriendo la disolución la tonalidad de la forma ácida del indicador. Por el contrario, una base reaccionará con los iones oxonio que, al disminuir su concentración, provocará un desplazamiento del equilibrio hacia la forma básica, con un aumento de la forma Ind<sup>-</sup>, y la disolución tomará entonces el color de la forma básica del indicador. Sin embargo, hay que tener en cuenta un par de aspectos:

1. Para que se aprecie bien el cambio de color es necesario que la concentración de una de las especies sea por lo menos diez veces mayor que la otra.
2. Cada indicador tiene un intervalo de viraje característico, es decir, una zona más o menos reducida de valores del pH, dentro de la cual se produce el cambio de color. Cuanto menor sea este intervalo más útil es un indicador determinado.<sup>[11]</sup>

$$\text{pH} = \text{pK}_{\text{ind}} \pm \log [\text{Ind}^-]/[\text{HInd}]$$

Los indicadores naturales están basados en la diferente coloración que adquieren algunos compuestos naturales (antocianina, curcumina...) en función del pH.

La antocianina pertenece al grupo de los bioflavonoides y es un pigmento rojo azulado que protege a las plantas, sus flores y sus frutas, contra la luz ultravioleta y evita la producción de radicales libres. El término antocianina fue propuesto por Marquart, en 1835, para describir el pigmento azul de la col lombarda (*Brassica oleracea*).

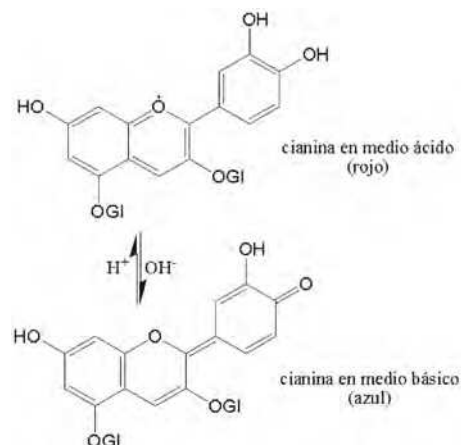


Figura 1. Forma ácida y básica de la cianina (Gl = glucosa)

Actualmente, las antocianinas engloban a los pigmentos rojos, violetas y azules, de las plantas. Un factor que contribuye a la variedad de colores en flores, hojas y frutas, es la coexistencia de varias antocianinas en un mismo tejido.

Las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas, constituidas por tres anillos con dobles enlaces conjugados, las cuales son las responsables del color de las antocianinas que depende del número y orientación de los grupos hidroxilo y metoxilo de la molécula. Incrementos en la hidroxilación producen desplazamientos hacia tonalidades azules, mientras que incrementos en las metoxilaciones producen coloraciones rojas.<sup>[12]</sup>

En la Figura 1 se muestra la cianina, una de las antocianinas que aparece más comúnmente en los extractos de vegetales, en su forma ácida y básica.<sup>[8]</sup>

### PROCEDIMIENTO

Inicialmente se prepararon disoluciones de: ácido clorhídrico, HCl, 1M y 0,1 M; ácido acético, CH<sub>3</sub>COOH, 0,1 M; acetato de sodio, CH<sub>3</sub>COONa, 0,1 M; cloruro de amonio, NH<sub>4</sub>Cl, 0,1 M; amoníaco, NH<sub>3</sub>, 0,1 M; hidróxido de sodio, NaOH, 0,1 M y 1 M. A partir de estas disoluciones se han elaborado disoluciones reguladoras ácido acético/acetato de sodio y cloruro amónico/amoníaco utilizando las cantidades adecuadas para conseguir los pH deseados, confirmándolo con la ayuda del peachímetro. Así se han conseguido quince disoluciones que abarcan el intervalo desde pH 0 a pH 14 (Figura 2).



Figura 2. Disoluciones de pH conocido preparadas a partir de reguladoras

Para preparar las muestras del estudio, se ha cortado la parte seleccionada de las sustancias naturales, en donde se encuentra el indicador, dividiéndola en trocitos pequeños, de un tamaño aproximado a 1cm<sup>2</sup>, y las hemos introducido en un vaso de precipitados de 150 mL, añadiendo etanol de laboratorio (96°), que era el que teníamos disponible, aunque también se podría usar alcohol etílico de 70°, hasta cubrir. Este procedimiento resulta muy rápido y da lugar a unas disoluciones transparentes que, una vez decantadas, son las que se han utilizado posteriormente para el estudio.

Se probó también machacándolas en el mortero y filtrando después. Este procedimiento resultó inviable ya que generaba una pequeña cantidad de muestra que en muchos casos se perdía al filtrar.

Otro procedimiento consiste en añadir agua hirviendo y preparar una infusión. Este procedimiento necesita más tiempo. Se ha utilizado en aquellos casos en los que resultaba mejor que la disolución en alcohol, por ejemplo en el caso de la col lombarda y del té.

Para la cúrcuma y el curry se tomó una cantidad equivalente a una cuchara de café y se disolvieron en unos 20 ml de alcohol, dejando reposar y decantando el líquido saturado.

Nuestro objetivo era disponer de unos 15 mL del extracto del producto natural para utilizar después 1 mL como indicador en cada ensayo.

Con las disoluciones así preparadas, a las que denominamos extractos, se han hecho previamente dos pruebas cualitativas, en sendos tubos de ensayo (o placa de porcelana), añadiendo unas gotas de ácido clorhídrico 1M, pH = 0, y de hidróxido de sodio 1M, pH = 14, respectivamente, a una pequeña cantidad del extracto. Si en estos ensayos el cambio de color no era apreciable, ya no hemos seguido con el procedimiento.

### Estudio de la col lombarda

Como ejemplo para demostrar el procedimiento a aplicar, se utilizó el extracto de col lombarda, y después los alumnos fueron investigando las sustancias que habían elegido. Como los colores son difíciles de describir se han realizado fotos de los estudios realizados, que



Figura 3. Col lombarda

después se describen lo más aproximadamente posible en una tabla. En la mayoría de los casos, los colores pálidos se deben a que la muestra utilizada estaba poco concentrada.

La col lombarda es similar a la col normal (o repollo), pero de color morado. Dada su composición, es fuente importante de antioxidantes: antocianinas (le proporcionan el color rojizo o morado), beta-carotenos o provitamina A, vitamina C y compuestos sulfurados (Figura 3).

En la Figura 4 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de lombarda, que se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. pH y color del extracto de col lombarda



Figura 4. Color del extracto de col lombarda al variar el pH

	pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
color		rojo	rojo	violeta	violeta	violeta	lila violeta	lila violeta	azul	azul	azul verdoso	verde azulado	verde	verde	verde claro	dorado

### Estudio de la piel de la uva

La uva o grano de uva (Figura 5) es el nombre que recibe el fruto que crece formando racimos de la vid común o vid europea. Pertenece al género *Vitis* de la familia de las Vitáceas, que incluye 600 unas especies de arbustos.

En las uvas abundan diversas sustancias con reconocidas propiedades beneficiosas para la salud, tales como antocianos, flavonoides y taninos, responsables del color, aroma y textura característicos de estas frutas, y de los que dependen diversas propiedades que se le atribuyen a las uvas.



Figura 5. Uva morada



En la Figura 6 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de piel de uva morada, que se recoge en la Tabla 2.



Figura 6. Color del extracto de la piel de uva morada al variar el pH

Tabla 2. pH y color del extracto de la piel de la uva morada

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
color	rojo	rojo	rojo claro	rosa	rosa	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	ámbar claro	ámbar claro	azul grisáceo	azul gris	verde oliva

### Estudio del vino tinto

El vino (Figura 7), es una bebida obtenida de la uva mediante fermentación alcohólica de su mosto o zumo; la fermentación se produce por la acción de levaduras que transforman los azúcares del fruto en alcohol etílico y dióxido de carbono. El vino tiene un alto contenido en compuestos polifenólicos, aproximadamente se conocen unos 500, como las proantocianidinas, la mayoría de los cuales provienen de la uva y del proceso fermentativo.<sup>[13]</sup>



Figura 7. Vino

En este caso no hizo falta ningún tipo de preparación de la muestra, y se utilizó el vino directamente.

En la Figura 8 se muestra la relación entre el pH y el color del vino, que se recoge en la Tabla 3.



Figura 8. Color del vino tinto al variar el pH

Tabla 3. pH y color del vino tinto

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
color	rojo	rojo claro	rojo claro	rojo claro	rojo claro	rojo claro	rojo claro	rojo claro	rojo claro	verde oliva	verde oliva	verde oliva

### Estudio de la piel de la berenjena morada

La berenjena (Figura 9) es una planta de fruto comestible, pertenece a la familia de las Solanáceas, que incluye alrededor de 75 géneros y unas 2.300 especies. Son escasas las Solanáceas comestibles. Entre ellas se encuentran la berenjena, el tomate, el pimiento y la patata.



Figura 9. Berenjena morada

En la Figura 10 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de piel de berenjena, que se recoge en la Tabla 4.



Figura 10. Color del extracto de la piel de berenjena al variar el pH

Tabla 4. pH y color del extracto de berenjena

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
color	rosa	rosa	rosa claro	rosa claro	rosa claro	incoloro	incoloro	incoloro	incoloro	ámbar claro	ámbar	ámbar	ámbar

### Estudio de la piel de los higos morados

Las brevas y los higos (Figura 11) son las infrutescencias de la higuera, árbol que pertenece a la familia de las Moráceas. Esta familia consta de más de 1.500 especies



Figura 11. Higos morados



de árboles y arbustos que producen látex. La breva es el primer fruto que anualmente da la higuera, siendo el higo el fruto de la segunda cosecha del mismo árbol. La piel del higo puede ser verde pálido, morada o negra según la variedad y la madurez del fruto.

En la Figura 12 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de piel de higo morado, que se recoge en la Tabla 5.



Figura 12. Color del extracto de la piel de higo al variar el pH

Tabla 5. pH y color del extracto de higo

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
color	rojo	rojo	naranja	naranja claro	ámbar	ámbar claro	ámbar claro	ámbar claro	ámbar verdoso	verdoso	verdoso	verdoso

### Estudio de la piel de la ciruela morada

La ciruela (Figura 13) es el fruto del ciruelo, árbol de la familia de las Rosáceas que alcanza los 5 metros de altura. Las principales frutas europeas, además del rosal, pertenecen a esta gran familia.

Se presenta en una amplia gama de tamaños, formas, colores y sabores que dependen de la variedad. La ciruela es muy rica en antocianos que le proporcionan su color característico (sobre todo apreciable en las variedades de tonos rojos y morados).



Figura 13. Ciruela morada

En la Figura 14 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de piel de ciruela, que se recoge en la Tabla 6.



Figura 14. Color del extracto de la piel de ciruela al variar el pH

Tabla 6. pH y color del extracto de la ciruela

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
color	rojo intenso	rojo intenso	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	verde oliva	violeta oscuro	violeta oscuro	violeta oscuro

### Estudio de los fresones

Las fresas y los fresones (Figura 15) crecen en el fresa, planta que pertenece a la familia de las Rosáceas y al género *Fragaria*. Son frutas cuyo componente más abundante, después del agua, son los hidratos de carbono (fructosa, glucosa y xilitol). Son muy buena fuente de vitamina C y ácido cítrico, ácido salicílico, ácido málico y oxálico, potasio y en menor proporción contienen vitamina E. La vitamina C tiene acción antioxidante, al igual que la vitamina E y los flavonoides (antocianos), pigmentos vegetales que le confieren a estas frutas su color característico.



Figura 15. Fresas

En la Figura 16 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de los fresones, que se recoge en la Tabla 7.



Figura 16. Color del extracto de los fresones al variar el pH

Tabla 7. pH y color del extracto de los fresones

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
color	naranja	rojo	rojo	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	morado claro	morado claro	morado claro

### Estudio de la remolacha

La remolacha (*Beta vulgaris*), Figura 17, es una planta de la familia *Chenopodiaceae*, de la cual las hojas y la raíz son comestibles. La variedad de mesa es de raíces gruesas, rojas y carnosas, que se consumen principalmente cocidas; el color se debe a dos pigmentos, la betacianina y la betaxantina, por ello de algunas variedades se obtiene el colorante E162, rojo remolacha.



Figura 17. Remolacha

En la Figura 18 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de remolacha, que se recoge en la Tabla 8.



Figura 18. Color del extracto de remolacha al variar el pH

Tabla 8. pH y color del extracto de remolacha

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	14
color	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	violeta	violeta	violeta	dorado



Figura 19. Cebolla roja

### Estudio de la cebolla roja

La cebolla, *Allium cepa*, pertenece al género *Allium*, el más importante de la familia de las Liliáceas, que incluye más de 500 especies. En él se incluyen hortalizas tan conocidas como las cebolletas, el cebollino y el puerro.

Muchas de sus especies, como es el caso de la cebolla, forman engrosamientos subterráneos del tallo, conocidos de forma popular como bulbos, y todas ellas son ricas en aceites esenciales sulfurados muy volátiles y picantes.

La cebolla, sobre todo la roja (Figura 19) ayuda a prevenir la osteoporosis, gracias a su alto contenido del flavonoide quercitina.

En la Figura 20 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de la cebolla roja, que se recoge en la Tabla 9.



Figura 20. Color del extracto de cebolla roja al variar el pH

Tabla 9. pH y color del extracto de cebolla roja

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
color	rojo claro	rosa	rosa claro	rosa claro	rosa claro	ámbar pálido	ámbar pálido	ámbar pálido	verde pálido	verde pálido	verde pálido	verde pálido

### Estudio del té rojo

El té rojo, o té *pu-erh*, proviene de China, Figura 21. Este té, al igual que el resto de té, contiene cafeína, teína y teobromina, todas ellas sustancias excitantes.



Figura 21. Té rojo

En este caso, para preparar el extracto, se preparó una infusión de té, introduciendo bolsitas de té en agua hirviendo.

En la Figura 22 se muestra la relación entre el pH y el color de la infusión de té, que se recoge en la Tabla 10.



Figura 22. Color de la infusión de té al variar el pH

Tabla 10. pH y color de la infusión de té

pH	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
color	mostaza	mostaza	mostaza	mostaza	mostaza	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo	rojo vino	rojo vino	rojo vino	rojo vino	rojo vino

### Estudio de la flor del ciclamen

Esta planta herbácea, también llamada violeta persa, pertenece a la familia de las primuláceas, forma tubérculos redondeados de no más de 15 centímetros de altura y posee unas fuertes raíces en la base de la misma.

Presenta unos pétalos que pueden ser más o menos grandes según la variedad, constituyendo graciosas y singulares flores. El colorido de estos pétalos es muy variado, pero siempre es muy intenso (Figura 23).



Figura 23. Ciclamen

En la Figura 24 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de la flor del ciclamen, que se recoge en la Tabla 11.



Figura 24. Color del extracto del ciclamen al variar el pH

Tabla 11. pH y color del extracto del ciclamen

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
color	rojo rosado	rojo rosado	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	rosa claro	marfil	verde claro	verde	amarillo dorado

### Estudio de la flor de Pascua

La *Euphorbia pulcherrima*, también llamada Poinsetia o Flor de Pascua, por coincidir su floración y forma más llamativa con la época navideña, pertenece a la familia de las Euforbiáceas y es originaria de México (Figura 25).

Esta planta o arbusto de hoja caduca y follaje con forma ovalada, de color verde intenso, presenta características inflorescencias amarillas, en el que lo llamativo son las brácteas de color rojo, rosa, blanco verdoso o blanco amarillento, a menudo confundidas con flores, que forman la parte superior de la planta.



Figura 25. Flor de Pascua

En la Figura 26 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de la flor de Pascua, que se recoge en la Tabla 12.



Figura 26. Color del extracto de la flor de Pascua al variar el pH

Tabla 12. pH y color del extracto de la flor de Pascua

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
color	rojo	rojo	rojo	rojo claro	rojo claro	rojo claro	dorado claro	dorado claro	dorado	marrón	marrón oscuro	marrón oscuro	verde oliva

### Estudio de la clavellina o clavel del poeta

La clavellina, *Dianthus chinensis*, (clavel chino) o quizá *Dianthus barbatus* (el clavel del poeta), es una planta herbácea de la familia de las cariofiláceas de tipo ornamental (Figura 27).

En 1977, Cordell investigando posibles usos médicos encontró saponinas en *Dianthus barbatus*, que son glucósidos de esteroides o de triterpenoides.<sup>[14]</sup>



Figura 27. Clavel del poeta

En la Figura 28 se muestra la relación entre el pH y el color del extracto de la clavellina, que se recoge en la Tabla 13.



Figura 28. Color del extracto del clavel del poeta al variar el pH

Tabla 13. pH y color del extracto del clavel del poeta

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
color	rojo claro	rojo claro	lila claro	lavanda	lavanda	lavanda pálido	lavanda pálido	incoloro	ámbar pálido	ámbar pálido	verde pálido	verde	verde	verde

### Estudio de la cúrcuma y del curry

La curcumina (Figura 29) se obtiene de una especie que procede de la raíz de la cúrcuma (*Curcuma longa*), una planta herbácea de la India, cuyas raíces se

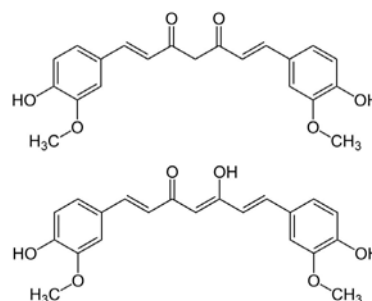


Figura 29. Estructura ceto y enol de la curcumina



Figura 30. Cúrcuma

emplean como condimento, tinte y estimulante medicinal desde hace siglos. La curcumina confiere a la cúrcuma su intenso color amarillo. Se emplea en alimentación (E-100) como colorante amarillo o como aromatizante (Figura 30).

Para la preparación del extracto de cúrcuma se añadió la especia directamente al alcohol.

En la Figura 31 se muestra la relación entre el pH y el color de la cúrcuma, que se recoge en la Tabla 14.



Figura 31. Color del extracto de la cúrcuma al variar el pH

Tabla 14. pH y color del extracto de la cúrcuma

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
color	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	rojo	rojo	rojo vino	rojo vino	rojo vino

En 1889, con ocasión de la Exposición Universal de París, los franceses decidieron fijar y oficializar la composición del curry, especia importada por ingleses y holandeses. La principal especia que contiene el curry (Figura 32) es la raíz de cúrcuma.





Figura 23. Curry

Para la preparación del curry se añadió la especia directamente al alcohol.

En la Figura 33 se muestra la relación entre el pH y el color del curry, que se recoge en la Tabla 15.



Figura 33. Color del extracto del curry al variar el pH

Tabla 15. pH y color del extracto del curry

pH	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
color	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	amarillo	naranja	rojo	rojo vino	rojo vino	rojo vino

## CONCLUSIONES

En este caso, esta práctica se ha realizado con alumnado del curso de cuarto de la ESO. Han investigado el concepto de ácido y base estudiando sustancias naturales que son capaces de cambiar de color según la acidez o basicidad del medio, y que podrían utilizar también en casa. Han trabajado en el laboratorio, han visto cómo funciona un peachímetro y han comprendido lo que es un indicador. Han podido comprobar cómo a partir de productos cotidianos se pueden obtener indicadores de una forma muy sencilla. Han hecho el estudio del cambio de color de estos indicadores en función del pH.

Aunque se prepararon disoluciones reguladoras para el estudio de los extractos en función del pH, no se trató este concepto.

Posteriormente elaboraron el trabajo por escrito, aprendiendo a organizarlo y a extraer sus propias conclusiones.

En cuanto al estudio de sustancias naturales como indicadores, la mayoría de ellas resultaron tener más de un cambio de color, uno entre pH 2 y 3, otro entre pH 9 y 10.

Las sustancias que tuvieron el cambio de color más acusado entre los pH 2 y 3 fueron la uva morada, la berenjena, la flor del ciclamen y el clavel del poeta. Entre los pH 9 y 10 están el vino, los higos, la ciruela, la remolacha, la flor del ciclamen, y la flor de Pascua.

Curiosamente la cúrcuma y el curry varían en dos unidades su cambio de pH, del 7-8 de la cúrcuma al 9-10 del curry, debido seguramente a la menor concentración de cúrcuma en el caso del curry.

Dificultades encontradas al llevar a cabo la propuesta didáctica:

- Escasa habilidad en el manejo del material de laboratorio, debido a la falta de práctica.
- Confusión en el planteamiento de la práctica: se quiere estudiar cómo cambia el color de las sustancias con el pH para usarlas como posibles indicadores, no si estas sustancias eran ácidas o básicas.
- Mala organización del trabajo por escrito. Quizá por desconocimiento de la tarea o por minimizar el esfuerzo, a los alumnos les cuesta explicar los resultados obtenidos y elaborar conclusiones.

## APLICACIONES

Con los indicadores obtenidos, se plantea la aplicación práctica; los alumnos deben determinar el carácter ácido o básico de sustancias cotidianas: vinagre, zumo de limón, amoníaco, zumo de manzana, disolución saturada de hidrogenocarbonato de sodio, agua del grifo, producto antigrasa, vino blanco, sal de frutas y gaseosa, completando una tabla.

## BIBLIOGRAFÍA

- Decreto 51/2018, de 27 de abril, del Consell, por el que se modifica el Decreto 87/2015, por el que establece el currículo y desarrolla la ordenación general de la educación secundaria obligatoria y del bachillerato en la Comunitat Valenciana. [https://www.dogv.gva.es/datos/2018/04/30/pdf/2018\\_4258.pdf](https://www.dogv.gva.es/datos/2018/04/30/pdf/2018_4258.pdf)
- Decreto 87/2015, de 5 de junio, del Consell, por el que establece el currículo y desarrolla la ordenación general de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato en la Comunitat Valenciana. [http://www.dogv.gva.es/auto/dogv/docvpub/rlgv/2015/D\\_2015\\_087\\_ca\\_D\\_2015\\_136.pdf](http://www.dogv.gva.es/auto/dogv/docvpub/rlgv/2015/D_2015_087_ca_D_2015_136.pdf)
- Fernández-Arroyo, A. F. El uso de las prácticas de laboratorio de Física y Química en Educación Secundaria Obligatoria. Una propuesta práctica de intervención para 4.º de ESO. 2015 <https://reunir.unir.net/handle/123456789/3293>
- Solbes, J. Montserrat, R. y Furió Mas, C. El desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia: implicaciones en su enseñanza. *Didáctica de las ciencias experimentales y sociales*. 2007 21, 91-117.
- Robles, A. Solbes, J. Cantó, J. R. y Lozano, O. R. Actitudes de los estudiantes hacia la ciencia escolar en el primer ciclo de la Enseñanza Secundaria Obligatoria. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2015 14 (3), 361-376.
- Tomás-Serrano, A. y Hurtado-Pérez, J., Experimentos cuantitativos de química, con materiales de bajo coste, para alumnos de Bachillerato. *Anales de Química*. 2019 115 (5) 421-428.

- [7] Quílez Pardo, J., La enseñanza de la Física y Química en la Comunidad Valenciana: declaraciones institucionales y la realidad escolar. *Anales de Química*. **2019** 115 (4) 291-292.
- [8] Heredia Avalos, S. Experiencias sorprendentes de química con indicadores de pH caseros. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*. **2006** 3 (1), 89-103.
- [9] Solbes, J. Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (I): Resumen del camino avanzado. *Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*. **2008** 6 (1), 2-20.
- [10] Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bachillerato. *Ministerio de Educación, Cultura y Deporte*, **2015** 25, 6986-7003. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2015/BOE-A-2015-738-consolidado.pdf>
- [11] Fernández, M. R. y Fidalgo, J. A., *Química General*. 1994, León, Everest.
- [12] Astrid Garzón, G. Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. *Acta biol. Colomb*. **2008** 13 (3), 27-36.
- [13] Martínez-Flórez, S., González-Gallego, J., Culebras, J. M. y Tuñón, M.<sup>a</sup> J., Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*. **2002** XVII (6), 271-278.
- [14] *Wikipedia*.

Nota: Fotos propias, a excepción de las Figuras 3 y 9, que han sido extraídas de Internet, así como los datos generales de las sustancias.



## Santiago Álvarez Reverter, Medalla de Oro RSEQ, 2020

Santiago Álvarez Reverter (Panamá, 1950) estudió química y se doctoró en la Universidad de Barcelona con una tesis sobre espectroscopía vibracional dirigida por el profesor Jaume Casabó. Realizó una estancia posdoctoral en la Cornell University con Roald Hoffmann en 1983-1984. En 1985 obtuvo una plaza de Profesor Titular en la Universidad de Barcelona, y en 1987 la de Catedrático de Química Inorgánica. Es miembro correspondiente de la Real Academia Española de Ciencias y miembro electo de la European Academy of Sciences. Ha desarrollado investigación teórica y computacional sobre enlace, estereoquímica y propiedades magnéticas de compuestos de los metales de transición. Su grupo de investigación ha desarrollado las *medidas continuas de forma* y de simetría, y las ha aplicado al estudio estereoquímico de una gran variedad de estructuras moleculares. También es autor de las tablas de radios covalentes y radios de Van der Waals, de uso común en la química actual, y de los índices de capacidad coordinativa de aniones, disolventes, gases y aminoácidos.

Aparte de su tarea docente e investigadora, ha promovido la exploración de las zonas de contacto entre la química y la cultura humanística mediante artículos de ensayo en diversas revistas, conferencias, y la serie de reuniones internacionales NoSIC (Not Strictly Inorganic Chemistry). Como miembro de la Comisión del Fondo Histórico de la Biblioteca de Física y Química de la UB, ha actuado como comisario de varias exposiciones: «Mendeléiev y el orden de los elementos» (2007), «El utillaje químico» (2011), y «Cristales y difracción» (2014), así como en la exposición «La tabla periódica: un icono científico, social y cultural» en la biblioteca de Letras (2019). Fue editor del volumen 9, «Theory and Methods», de la obra de referencia *Comprehensive Inorganic Chemistry II* (Amsterdam: Elsevier, 2013). En 2017 publicó, De mujeres, hombres y moléculas, notas de arte, historia y literatura de la química. También es coeditor del libro *150 años de tablas periódicas en la Universidad de Barcelona* (en catalán, castellano e inglés), reconocido con el premio Crítica «Serra d'Or» de Investigación 2020 en el apartado de Ciencias, y coautor de *100 curiositats de la taula periòdica i dels elements químics*, publicados ambos en 2019.



Santiago Álvarez Reverter

Ha sido reconocido con la Distinció de Recerca de la Generalitat de Catalunya (2000), el premio de Investigación en Química Inorgánica de la Real Sociedad Española de Química (2003), el premio Solvay de investigación química (2003) y el premio Catalan-Sabatier de la Société Chimique de France (2012). Es *Fellow* de la Royal Society of Chemistry y miembro honorario vitalicio de la Israel Chemical Society. Ha sido profesor invitado en la Universidad Pierre et Marie Curie (París), en la Universidad Católica del Norte (Antofagasta, Chile), Dozor Visiting Fellow en la Ben-Gurion University of the Negev (Beer-Sheva, Israel) y Gauss Professur de la Akademie zur Wissenschaften zu Göttingen (Alemania).

ELENA SÁEZ

Todas las noticias deberán enviarse a Elena Sáez Barajas [elenasz@ucm.es](mailto:elenasz@ucm.es)  
Su publicación es discrecional al Comité Editorial de *Anales*.



## Premios de Reconocimiento a una Carrera Distinguida de la RSEQ, 2020

### José Luis Alonso Hernández



El profesor José Luis Alonso

Natural de Baracaldo (1951), José Luis Alonso Hernández inició sus estudios de Ciencias Químicas en la Universidad del País Vasco para, posteriormente, trasladarse a Valladolid, en cuya Universidad finalizó su licenciatura en 1974 y se doctoró en 1978. En 1979 se traslada a la Universidad de Harvard (Boston, USA) para trabajar como *Postdoctoral Fellow* en el grupo del profesor E. B. Wilson.

Tras su reincorporación a la Universidad de Valladolid gana en 1983 la plaza de profesor Adjunto de Química-Física, obteniendo igualmente en 1985 la plaza de Profesor Titular de Física Atómica y Molecular. Becado por el Comité Conjunto Hispano Norteamericano, es *Associate Professor* en la Universidad de Wisconsin-Madison durante el curso 1985-1986.

En 1988 gana la cátedra de Química-Física en la Universidad de Valladolid, que ocupa en la actualidad. Premiado por la Fundación Alexander von Humboldt, se traslada en 1990 a la Universidad de Kiel, donde trabaja en el grupo del profesor Dreizler.

El profesor Alonso es el impulsor en España de la espectroscopia de microondas. Creador del Grupo de Espectroscopia Molecular GEM de la Universidad de Valladolid, lidera el Laboratorio de Espectroscopia y Biospectroscopia (Unidad Asociada CSIC) en el Parque Científico de la UVa referente en el estudio de la estructura molecular.

Bajo la dirección del profesor Alonso se han desarrollado nuevas metodologías pioneras que combinan la ablación láser y técnicas espectroscópicas en el dominio del tiempo. Con ellas, han sido posibles los primeros estudios estructurales de aminoácidos, bases nitrogenadas y de otros sistemas biológicos considerados como *building blocks*. Dentro del proyecto Consolidar "Astromol", del que el doctor Alonso fue subcoordinador, se diseñaron nuevas técnicas espectros-

cópicas que generaron nuevos datos de laboratorio que han conducido al descubrimiento de nuevas especies químicas en el medio interestelar. Su grupo ha sido incluido en el proyecto "Nanocosmos", que recibió una *Synergy Grant* de la Comunidad Europea. Su actividad investigadora ha dado lugar a más de 270 publicaciones científicas en revistas de prestigio, capítulos de libro y a la dirección de más de 20 tesis doctorales. La labor de su grupo de investigación puede consultarse en la página web: <http://www.gem.uva.es>

José Luis Alonso ha sido miembro de la Comisión de expertos del Plan Nacional I+D y Adjunto a la Coordinación del Área de Química en la Agencia Nacional de Evaluación y Prospectiva. Es miembro de diversas Sociedades Científicas nacionales e internacionales así como de Comisiones Nacionales de Evaluación y Acreditación del profesorado. Su labor ha recibido diversas distinciones, entre otras, el premio a la Excelencia investigadora de la Real Sociedad Española de Química en 2003, el premio Castilla y León de Investigación Científica y Técnica en 2008.

### Antonio Laguna Castrillo



Antonio Laguna Castrillo

El profesor Antonio Laguna nació en Huesca (1948). Es Licenciado en Ciencias Químicas (1970) y Doctor en Ciencias Químicas (1973, director Rafael Usón). Toda su carrera académica se ha desarrollado en la Universidad de Zaragoza, excepto un año (1974-1975) que estuvo en la Universidad de Bristol (Research Associate). Actualmente es Profesor Colaborador Extraordinario.

Comenzó su carrera investigadora en un momento en el que la investigación química en España no estaba muy desarrollada. Pertenece al grupo de investigadores que comenzaron el desarrollo de la Química Organometálica en España y es responsable, en gran medida,



de las aportaciones en este campo sobre la química de oro y plata.

Su interés científico se ha basado en la síntesis de nuevos compuestos de estos metales con situaciones de enlace poco habituales y de derivados polinucleares con interacciones entre centros de oro con otros metales, como plata, cobre, bismuto o talio. Posteriormente se ha centrado más en el estudio de algunas interesantes propiedades ópticas, biológicas o catalíticas. El comportamiento vapocrómico o las propiedades luminiscentes

de alguno de estos derivados, ha dado lugar a la obtención de sendas patentes. Muestra de su actividad y producción científica son las más de 450 publicaciones en revistas internacionales y la dirección de un total de 29 Tesis Doctorales. Además, el trabajo realizado a lo largo de su trayectoria lo ha llevado a convertirse en un referente en la química de oro a nivel internacional. Como reconocimiento a tu carrera en 2016 fue galardonado con la Medalla de Oro del Grupo Especializado de Química Organometálica.

ELENA SÁEZ

## Premios a la Excelencia Investigadora

### Arjan W. Kleij



Arjan W. Kleij

**A**rjan W. Kleij (Rotterdam, 1971) completó su Master en Químicas en la Universidad Utrecht (Holanda) en el año 1996. Arjan se doctoró en Catálisis Homogénea y Química Organometálica en la misma universidad en septiembre del año 2000. Su tesis doctoral se enfocó en la síntesis de nuevos catalizadores basados y soportados por dendrímeros carbosilanos bajo la supervisión del profesor Gerard van Koten. Tras finalizar su tesis, empezó a trabajar en la industria en el año 2000 (Avantium Technologies) y su trabajo allí se centró en el uso de técnicas HTE para el descubrimiento de nuevos catalizadores. Su formación posdoctoral transcurre primero en la Universidad Autónoma de Madrid (2002) en el grupo del profesor Javier de Mendoza donde realizó estudios de compuestos metalo-calixarenos, y posteriormente en Ámsterdam (2003) en el grupo del profesor Joost Reek trabajando en catálisis supramolecular. En 2005 regresa a la industria (Hexion) esta vez en el campo de resinas y polímeros. En octubre del año 2006 comenzó su carrera como investigador principal en el ICIQ e ICREA (Tarragona/Barcelona) donde fue promocionado a

Profesor ICREA en 2011. Ha recibido varios honores/reconocimientos durante su carrera: *fellow* NWO-Talent (2000) e ICREA Junior (2006), miembro del comité editorial de *ChemSusChem* (2019), Profesor Visitante en Dalian (China). Arjan es Editor Asociado en *Organic Chemistry Frontiers* (RSC), es miembro de varios comités editoriales/consultivos y presidente del comité organizador de varios congresos como el EUGSC-4 (2019) en Tarragona. Su grupo está especializado en la activación y conversión catalítica de moléculas pequeñas con enfoque en transformaciones estereo- y enantio-selectivas.

### Daniel Maspoch



Daniel Maspoch

**E**l doctor Daniel Maspoch se graduó en Química en la Universitat de Girona y obtuvo su doctorado en Ciencia de los Materiales en la Universitat Autònoma de Barcelona y el Institut de Ciència de Materials de Barcelona en el grupo del profesor Jaume Veciana y de la profesora Concepció Rovira en 2004. Después de una estancia posdoctoral en la Northwestern University con el profesor Chad A. Mirkin (2004-2006), obtuvo un contrato Ramón

y Cajal (2006-2011). Desde el año 2011, el doctor MasPOCH es Profesor Investigador ICREA y dirige el grupo de NanoQuímica y Materiales Supramoleculares en el Institut Català de Nanociència i Nanotecnologia (ICN2). Su principal interés se centra en el diseño y desarrollo de materiales para aplicaciones en energía, medio ambiente, catálisis y biomedicina. Estos materiales se basan principalmente en sistemas de liberación y materiales porosos tipo MOFs, COFs y MOPs, que tienen en común la presencia de espacios vacíos que permiten encapsular, almacenar, separar, hacer reaccionar y liberar moléculas de interés. Es autor de más de 150 artículos. En 2014 obtuvo una beca ERC Consolidator Grant y en 2019 la ERC Proof-of-Concept Grant. En 2015, el doctor MasPOCH fue galardonado con el premio Marcial Moreno Mañas.

Varias tecnologías y materiales desarrollados por su grupo han sido transferidos a diversas compañías a través de patentes licenciadas (4 patentes) o contratos de transferencia de tecnología (hasta la fecha 4). Algunos de sus desarrollos tecnológicos LuctaCaps® y Fungipol®CP han llegado ya a los mercados internacionales. El doctor MasPOCH es cofundador de la Spin-Off Ahead Therapeutics.

#### David Mecerreyes



David Mecerreyes

**D**avid Mecerreyes es Profesor de Investigación Ikerbasque en POLYMAT-Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Se doctoró en Química de Polímeros en 1998 por la Universidad de Lieja (Bélgica). Tras una estancia posdoctoral en IBM Almaden Research Center y Stanford University (California) se incorporó como investigador Ramón y Cajal en el Centro Tecnológico CIDETEC. En el año 2011 se incorporó a la Universidad del País Vasco y recibió una ERC Starting-Grant para el desarrollo de polímeros innovadores para baterías. Ha participado y coordinado diversos proyectos de investigación nacionales e internacionales, incluidas varias Redes de Formación Marie Slowdowska Curie. En la actualidad es Vicedirector científico de POLYMAT y coordina el grupo de Polímeros Innovadores, Vicepresidente de la Junta de Gobierno del Grupo Especializado de Polímeros (GEP) de la RSEQ y colaborador de la Agencia Estatal de Investigación.

Su investigación se centra en la síntesis de polímeros innovadores para energía, bioelectrónica y medioambiente. Durante su doctorado y posdoctorado trabajó en el desarrollo de la ingeniería macromolecular (“polymer brushes” o las nanopartículas poliméricas). Durante su carrera como investigador senior es reconocido por sus trabajos en el desarrollo de los poly(ionic liquid)s, los electrolitos poliméricos y los polímeros de tipo redox. Estos polímeros innovadores han encontrado aplicaciones en diferentes campos desde las baterías, recubrimientos anti-corrosión, purificación de agua, dispositivos optoelectrónicos (OLEDs, células solares) hasta los transistores orgánicos para bioelectrónica. Es coautor de más de 290 artículos científicos muchos de ellos en colaboración con grupos internacionales, ha coeditado dos libros y 10 capítulos, 10 patentes y ha dado más de 20 conferencias invitadas en congresos internacionales. Su trabajo ha recibido más de 16.000 citas y su índice h es 67. Es uno de los promotores de la empresa start up de reciente creación POLYKEY.

#### Cristina Nevado



Cristina Nevado

**C**ristina Nevado nació en Madrid en 1977, donde se graduó en C. C. Químicas por la Universidad Autónoma en el año 2000. Tras completar su Master en la misma universidad, y tras una estancia predoctoral en el grupo del profesor Eiichi Nakamura (Universidad de Tokio), Cristina se doctoró en Química Orgánica por la misma universidad en octubre del año 2004. Su tesis doctoral se basó en el desarrollo de reacciones de ciclación de eninos catalizadas por complejos de oro y platino, bajo la dirección del profesor Antonio M. Echavarren. En diciembre de 2004 se integró al grupo del profesor Alois Fürstner en el Max-Planck-Institut für Kohlenforschung (Alemania), donde formó parte del equipo que logró la síntesis total del *Iejimalide B*, un macrólido marino de estructura altamente sensible. En mayo de 2007 empezó su carrera independiente como Profesora Asistente de Química Orgánica en la Universidad de Zúrich siendo promovida de manera directa a catedrática en 2013. A lo largo de su carrera como investigadora independiente Cristina ha recibido, entre otros reconocimientos, el premio a Jóvenes Investigadores de la RSEQ (2008), *Chemical Society Reviews Emerging Investi-*

gator Award (2011), *Thieme Chemistry Journal Award* (2011), *Werner Prize of the Swiss Chemical Society* (2013) y *RSC Award in Organometallic Chemistry* (2019) en reconocimiento de su contribución al campo de la síntesis orgánica y organometálica. Cristina es editora asociada de la revista *ACS Central*

*Science* y de *Organic Synthesis* y forma parte del comité organizador de la prestigiosa *Bürgerstock Conference*. Su grupo está especializado en el desarrollo de nuevas reacciones organometálicas y su aplicación a la síntesis de moléculas con actividad biológica.

ELENA SÁEZ

## Premio Joven Investigador – Modalidad “Líder de Grupo”

David Balcells Badia



David Balcells Badia

**D**avid Balcells Badia se licenció en Químicas en la Universidad Autónoma de Barcelona (UAB) y completó su tesis doctoral en el Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) en 2006, bajo la dirección de los profesores Feliu Maseras y Gregori Ujaque. Después de una estancia posdoctoral en el grupo de Odile Eisenstein en la Universidad de Montpellier (Francia), regresó a la UAB por un período de tres años gracias al programa Juan de la Cierva, integrándose en el grupo del Profesor Agustí Lledós. En 2014 inició su carrera científica independiente en la Universidad de Oslo (Noruega), gracias a un proyecto financiado por el programa europeo MSCA. Actualmente trabaja como investigador permanente en el Hylleraas Centre for Quantum Molecular Sciences de la Universidad de Oslo, donde lidera su grupo de investigación en el campo de la catálisis computacional.

Patricia Horcajada



Patricia Horcajada

**I**mplicada en el campo de Ciencia de Materiales durante más de 15 años, más concretamente en sólidos porosos, Patricia Horcajada ha desarrollado su investigación en los diferentes aspectos de este campo (síntesis y caracterización de sólidos porosos, conformado, adsorción, etc.).

Con un perfil multidisciplinar (Lda. en Farmacia, 2001 y Dra. en Ciencia de Materiales, 2005), se incorporó al Institut Lavoisier (Versailles, Francia), como investigadora posdoctoral (2005) y después, en 2007, como científica funcionaria del Centre National de la Recherche Scientifique francés (CNRS), iniciando el estudio de la aplicación biomédica de polímeros de coordinación porosos (o Metal-Organic Frameworks). En 2016, gracias a un contrato “Ramón y Cajal”, se incorporó a IMDEA Energía como Investigadora Senior y Jefa de la Unidad Materiales Porosos Avanzados. Su actividad científica se enfoca principalmente al desarrollo de nuevos materiales multifuncionales para diversas aplicaciones de alto interés social e industrial (energía, medio ambiente y salud...).

Reconocida con el premio Miguel Catalán (2016) y el premio de Excelencia Científica CNRS (2011-2014), es autora de 6 capítulos de libro, 9 patentes y >130 publicaciones (>120 Q1) y un h: 54.

Ha participado en 51 proyectos (nacionales, europeos, internacionales y contratos industriales), y coordinando 1 proyecto Internacional, 3 proyectos Europeos y 16 Nacionales, así como 1 contrato industrial.

También ha supervisado estudiantes a diferentes niveles: 7 tesis doctorales, 21 investigadores, 14 TFM, 15 TFG, 4 prácticas de empresa y 30 graduados.

### Mónica H. Pérez-Temprano



Mónica H. Pérez-Temprano

Mónica H. Pérez-Temprano se licenció en la Universidad de Valladolid en 2005. Ese año comenzó su carrera investigadora, primero como estudiante de Máster y posteriormente como becaria predoctoral FPU en el grupo del profesor Pablo Espinet en el departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Valladolid, obteniendo el Doctorado Europeo en Química en 2011. Durante su doctorado investigó diferentes mecanismos de reacción de procesos catalizados por paladio.

En 2012, Mónica se incorporó al grupo de la profesora Melanie S. Sanford, de la Universidad de Michigan (Ann Arbor, EE. UU.), como investigadora posdoctoral y posteriormente consiguió una beca posdoctoral de la Fundación Ramón Areces. Durante su estancia en Ann Arbor, Mónica desentrañó los factores que controlan los procesos de eliminación reductora C-X a partir de complejos de Pd (IV).

En 2015, Mónica fue seleccionada como Junior Group Leader en el Institut Català d'Intestigació Química a través del programa Starting Career Programme. Desde entonces, su grupo ([http://www.iciq.org/research/research\\_group/dr-monica-h-perez-temprano/](http://www.iciq.org/research/research_group/dr-monica-h-perez-temprano/)) se centra en desentrañar los factores que determinan la eficiencia de diferentes procesos catalizados por metales de transición con el objetivo final de usar ese conocimiento fundamental en el diseño y desarrollo de procesos más eficientes y sostenibles.

Mónica es coautora de artículos en importantes publicaciones internacionales y ha recibido múltiples distinciones entre las que destaca haber sido seleccionada como "2018 Talented 12" por la revista americana *Chemical & Engineering News*.

### Olalla Vázquez



Olalla Vázquez

Olalla Vázquez es actualmente profesora adjunta de Biología Química en la Philipps-Universität Marburg (Alemania). Su trabajo independiente se centra en el diseño y la síntesis de nuevas moléculas fotosensibles capaces de detectar procesos biológicos y controlar a distancia la maquinaria celular que está detrás de los procesos relevantes relacionados con las enfermedades. Olalla obtuvo su doctorado en química en la Universidad de Santiago de Compostela bajo la supervisión de los profesores Mascareñas y Vázquez en 2010. Como becaria de la FPU, realizó estancias en la Universidad de Harvard (Prof. Verdine; 2006) y en la Universidad Humboldt de Berlín (Prof. Seitz; 2008). Tras obtener su doctorado (Summa cum laude), recibió una beca Marie Curie para llevar a cabo sus estudios de posdoctorado con el profesor Seitz. Olalla tiene un sólido historial de publicaciones y durante su trayectoria profesional ha recibido varios premios, entre otros: premio Lilly de Investigación (2009), premio Europeo para Jóvenes Químicos (EYCA 2012), premio Fulbright-Cottrell (2016), Next Generation Optogenetics (2017), MarBiNa Förderpreis (2018), Mejor Joven Investigador Europeo en Biología Química (2020).



## Premio Joven Investigador – Modalidad “Investigador Posdoctoral”

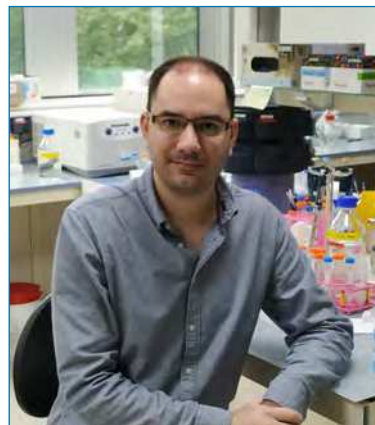
Ruth Dorel



Ruth Dorel

Ruth Dorel (Zaragoza, 1989) obtuvo la licenciatura en Ciencias Químicas en 2012 en la Universidad de Zaragoza. Tras graduarse se trasladó al Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ), donde cursó sus estudios de Máster (premio Extraordinario 2013) y de Doctorado (premio Extraordinario 2017) trabajando en el grupo del profesor Antonio M. Echavarren. Su investigación durante este período se centró en la síntesis de hidrocarburos policíclicos aromáticos y productos naturales, en combinación con el desarrollo de metodología sintética basada en catálisis con metales de transición. Durante su doctorado realizó estancias de investigación en los laboratorios del profesor John Montgomery (Universidad de Michigan, 2014) y del profesor John F. Hartwig (Universidad de California, Berkeley, 2016). Tras doctorarse inició una etapa de formación posdoctoral en el grupo del profesor Ben L. Feringa (Universidad de Groningen, Países Bajos), disfrutando de una beca posdoctoral de la Fundación Ramón Areces para desarrollar nuevos motores moleculares con aplicaciones en catálisis. Su trayectoria académica e investigadora ha sido reconocida con varios premios y distinciones para jóvenes investigadores, como el premio Josep Castells de la RSEQ-CAT (2017) y el *Reaxys-RSEQ Young Researcher Award* (2018).

Antonio Franconetti



Antonio Franconetti

Antonio Franconetti se licenció en Química por la Universidad de Sevilla y realizó su tesis en el Departamento de Química Orgánica (Facultad de Química, 2016) por la que se le concedió el premio extraordinario de doctorado. Su etapa posdoctoral se inició con su paso por la Universidad Autónoma de Barcelona y la Universidad de las Islas Baleares. Su investigación está centrada principalmente en dos líneas de investigación, la primera de ellas es el estudio de interacciones no covalentes desde una perspectiva tanto experimental como computacional y su papel en la química supramolecular. La segunda línea implica la síntesis y aplicaciones de nuevos materiales poliméricos basados en carbohidratos. En 2019, se le concede el premio para jóvenes investigadores de la Real Academia Sevillana de Ciencias. Desde septiembre de este mismo año, desarrolla su labor investigadora en el CIC bioGUNE como investigador del programa Juan de la Cierva – Formación.

Juan del Pozo



Juan del Pozo

Juan del Pozo se licenció en Ciencias Químicas en 2010 y realizó sus estudios de doctorado en el año 2016 bajo la dirección de los profesores Pablo Espinet y Juan A. Casares en el Instituto CINQUIMA de la Universidad de Valladolid. Durante su tesis, estudió reacciones de intercambio de ligando entre metales y su aplicación en sistemas catalíticos bimetálicos para el acoplamiento cruzado de grupos voluminosos. A lo largo de este período realizó estancias en el Instituto Catalán de Investigaciones Químicas (ICIQ) en el laboratorio del Profesor Vladimir Grushin y en Rutgers University (Nueva Jersey, EE. UU.) con el profesor Alan Goldman. Al finalizar su tesis doctoral, se incorporó al laboratorio del profesor Amir Hoveyda en Boston College (Massachusetts, EE. UU.) con una beca de la Fundación Alfonso Martín Escudero, donde se encuentra en la actualidad. Durante esta etapa, ha desarrollado nuevas reacciones enantioselectivas catalizadas por cobre, sus aplicaciones en síntesis de moléculas bioactivas, y ha estudiado los procesos dinámicos de estos catalizadores que afectan a la enantioselectividad de las reacciones.

Jessica Rodríguez Villar



Jessica Rodríguez Villar

Jessica Rodríguez Villar se licenció en Química en la Universidad de Santiago de Compostela en 2012. Realizó su doctorado (2016) en la misma universidad bajo la supervisión del profesor J. L. Mascareñas y el profesor M. E. Vázquez. Su trabajo se centró en el descubrimiento y el desarrollo de nuevas estrategias para el reconocimiento y modificación específicos de ADN utilizando sistemas sintéticos. Durante su doctorado, realizó dos estancias de investigación: en el ICIQ bajo la supervisión del profesor J. de Mendoza, y en la Universidad de Munich (Alemania) bajo la supervisión del profesor T. Carell. Fue reconocida con el premio a la Mejor Tesis Doctoral en Química Biológica del GEQB de la RSEQ y seleccionada como finalista del prestigioso Reaxys PhD Prize 2017.

En 2017 se unió al grupo del doctor Bourissou en la Universidad Paul Sabatier (Toulouse, Francia) como investigadora posdoctoral con una beca de la Fundación Ramón Areces y después con una Marie Curie. Su trabajo actual se basa en el diseño, síntesis y caracterización de nuevos complejos de Au (III) y el estudio de sus propiedades catalíticas.

## Tarea educativa y divulgativa a profesores de enseñanzas preuniversitarias

Juan Quílez es catedrático de Física y Química en el IES Lluís Vives de Valencia. Estudió Química en la Universitat de València y después de un breve paso por el Departamento de Química Orgánica de esta universidad, en donde realizó su tesina de licenciatura, empezó su carrera profesional como profesor de instituto. Posteriormente, obtuvo el título de doctor con la tesis titulada *El principio de Le Châtelier: Un obstáculo metodológico en la enseñanza y el aprendizaje del equilibrio químico*. Además de ser autor de libros de texto de Física y Química para el bachillerato, ha participado en varios proyectos de innovación educativa (Química Salters, interacciones CTS en ciencias, unidades didácticas CLIL, etc.). También ha publicado distintos libros para la enseñanza y el aprendizaje de la química (enseñanza de la química con ordenador, química descriptiva, cuestiones conceptuales, etc.) y ha realizado investigaciones sobre aspectos educativos e históricos del equilibrio químico, así como sobre los obstáculos de aprendizaje relacionados con la terminología química, que se han publicado en distintas revistas, hasta un total de 65 artículos. Su labor docente se ha extendido



Juan Quílez

tanto a la formación inicial del profesorado en la Universitat de València y en la Universitat Jaume I, como a la formación permanente como asesor técnico en centros de profesores. Adicionalmente, ha desempeñado los cargos de vicedirector y director en varios institutos.

## La doctora Anne Imberty, premio Catalán-Sabatier 2020 (Francia)



Anne Imberty

La doctora Imberty es la directora del Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales (CERMAV), afiliado al Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS) y a la Universidad Grenoble Alpes. El CERMAV es un centro de investigación de 100 personas dedicado a las Glicociencias. De 2013 a 2016, fue directora adjunta del Departamento de Química del CNRS en París a cargo de la interdisciplinariedad.

Se graduó en biología en la Escuela Normal Superior de París. En 1984, se incorporó al Centre National de la Recherche Scientifique de Grenoble e hizo su doctorado sobre la estructura del almidón. Durante su posdoctorado en Toronto realizó estudios de modelización de la interacción proteína-carbohidrato. Ha recibido el premio de Jóvenes Investigadores de la Sociedad Francesa de Carbohidratos (1999), el premio Roy Whistler de la Organización Internacional de Carbohidratos (2004), el premio “Charles Dhéré” de la Academia Francesa de Ciencias (2011), la Medalla de Plata del CNRS (2013) y la Legión de Honor (2014). Ha publicado más de 300 artículos científicos.

Desde 1999 es investigadora senior en el CNRS-Grenoble. Sus intereses de investigación se centran en el campo de las glicociencias estructurales, con especial interés en los oligosacáridos biológicamente activos y su interacción con lectinas y glicosiltransferasas. Actualmente trabaja en lectinas de microorganismos patógenos. La caracterización de su interacción con glicoconjugados humanos y el diseño de glicocompuestos competidores abren el camino a estrategias terapéuticas antiadhesivas. Además, estas lectinas pueden ser diseñadas mediante una estrategia de glicobiología sintética para crear nuevas herramientas en biotecnología, diagnóstico y terapia.

## Thomas Bein, premio Elhuyar-Goldsmith 2020 (Alemania)

Thomas Bein obtuvo su doctorado en química en la Universidad de Hamburgo (Alemania) y en la Universidad Católica de Lovaina (Bélgica) en 1984. Continuó sus estudios como científico visitante en el Departamento Central de Investigación y Desarrollo de DuPont en Wilmington, DE (EE. UU.). De 1986 a 1991 fue Profesor Adjunto de Química en la Universidad de Nuevo México en Albuquerque (EE. UU.). En 1991 se incorporó a la Universidad de Purdue (Indiana) como Profesor Asociado, y fue promocionado a Profesor Titular de Química en 1995. En 1999 fue nombrado Catedrático de Química Física en la Ludwig Maximilians Universität de Munich (LMU), donde también ocupó el cargo de Director del Departamento de Química.

Recientemente ha obtenido una beca ERC titulada “Marcos orgánicos covalentes de donantes y receptores electroactivos”. Actualmente es el coordinador de la LMU del recientemente financiado Clúster de Excelencia “e-conversión”. Posee más de 450 publicaciones, más de 30.000 citas,  $h=96$  (WoS). Desde 2018, Thomas Bein figura como Investigador Altamente Citado (Clarivate).



Thomas Bein

Sus actuales intereses de investigación abarcan la síntesis y las propiedades físicas de nanoestructuras funcionales, con énfasis en los materiales porosos para la administración de drogas específicas y los materiales nanoestructurados para la conversión de la energía solar.



## La doctora Roberta Sessoli, premio González-Ciamician 2020 (Italia)



Roberta Sessoli

**R**oberta Sessoli desarrolló su carrera en la Universidad de Florencia, donde es Profesora Titular desde 2012. Desempeñó un papel clave en el descubrimiento original de los imanes de una sola molécula (SMM), una amplia clase de materiales moleculares en los que las moléculas no interactivas exhiben memoria magnética (histéresis y campo coercitivo) y efectos cuánticos. Este descubrimiento fundamental abrió un campo completamente nuevo para los científicos, hacia las nanotecnologías. Sus intereses actuales incluyen la interacción entre el magnetismo y la quiralidad, las moléculas magnéticas en superficies para formar interfaces híbridas para la espintrónica, y las moléculas con una dinámica de espín muy coherente para la información cuántica.

Es coautora de más de 350 publicaciones que han recibido más de 40.000 citas (índice h (scopus) = 93).

Por sus logros científicos, ha sido seleccionada como miembro del Consejo Asesor de Ciencia y Tecnología del Presidente de la Comisión Europea. Es miembro de la Academia Nazionale dei Lincei, de la Academia Europaea y de la Academia Europea de Ciencias. Ha recibido prestigiosos premios como el premio del Centenario de la Royal Society of Chemistry (2019), el premio a la Mujer Distinguida en Química de la IUPAC (2015), el premio Lecoq de Boisbaudran de la Sociedad Europea de Tierras Raras (2015) y el premio de Eurofísica de Agilent Technologies (2002). En 2010 fue galardonada con una beca ERC Advanced Grant (URL: <https://www.lamm.unifi.it/>).

ELENA SÁEZ

## Concesión de los premios GEQOR 2020

### José Manuel Fernández, Medalla Serratos 2020



José Manuel González

Natural de Gijón (1959), licenciado en Ciencias Químicas y doctor por la Universidad de Oviedo (1988, directores: J. Barluenga, G. Asensio y P. J. Campos). Realizó una estancia posdoctoral en la Universidad de California en Berkeley (becario Fulbright-MEC, mentor: KPC Vollhardt, 1988-1990). Tras reincorporarse a la Universidad de Oviedo obtuvo una plaza de Profesor Titular (1993). En 2007 obtuvo la Habilitación Nacional a Catedrático de Universidad, y en 2008 una Cátedra de Química Orgánica en el Departamento de Química Orgánica e Inorgánica de la Universidad de Oviedo.

En la actualidad es el director del Instituto Universitario de Química Organometálica "Enrique Moles" y es miembro desde 2017 del *International Advisory Board del European Journal of Organic Chemistry*.

La investigación que junto a su grupo ha realizado se centra fundamentalmente en el descubrimiento de nuevas reacciones basadas en procesos de activación electrofílica de diferentes sustratos insaturados. Estos estudios incluyen tanto procesos estequiométricos como procesos catalíticos. Junto a la búsqueda de las aplicaciones prácticas de las diferentes transformaciones desarrolladas, el estudio experimental de los mecanismos de reacción implicados concentra gran parte de su actividad.

### Luis Sánchez, Medalla Ignacio Ribas



Luis Sánchez

Luis Sánchez Martín nació en Toledo (1970). Estudió en la Universidad de Castilla-La Mancha donde obtuvo la Licenciatura en Ciencias Químicas en 1993. En 1997, alcanzó su Doctorado en Ciencias Químicas por la Universidad Complutense de Madrid bajo la dirección de los Profs. Carlos Seoane y Nazario Martín. Se incorporó al Departamento de Química Orgánica, de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM, como Profesor Ayudante en 1998. En 1999 realizó una estancia posdoctoral en la Rijksuniversiteit Groningen (Países Bajos) bajo la dirección del profesor J. C. (Kees) Hummelen. En 2002, consigue una plaza de Profesor Titular de Universidad y promociona a Catedrático de Universidad en 2017. Desde junio de 2014 es Vicedecano de Ordenación Académica y Posgrado de la Facultad de Ciencias Químicas de la UCM.

Luis Sánchez es coautor de más de 125 artículos y capítulos de libros, y ha dirigido o codirigido seis tesis doctorales. Desde 2008, es el director del grupo de investigación UCM Moléculas anfífilas y polímeros supramoleculares. Su labor investigadora, con más de treinta publicaciones en los últimos cinco años, se puede resumir en un índice  $h = 41$  (Scopus) y más de 7200 citas. El grupo de investigación del profesor Luis Sánchez trabaja activamente en la síntesis y el estudio de nuevos polímeros supramoleculares funcionales. Destacan sus estudios en la transferencia y amplificación de quiralidad, así como procesos de polimerización supramolecular controlados cinéticamente que dan lugar a distintas especies a partir de una única unidad monomérica. Estos sistemas funcionales organizados pueden presentar gran utilidad en muy diversas áreas, destacando su uso en electrónica orgánica o en biomedicina.

### Israel Fernández, Medalla Barluenga 2020



Israel Fernández

Israel Fernández se licenció en Ciencias Químicas en la Universidad Complutense de Madrid (UCM) en 2000 con premio Extraordinario de Licenciatura. Desarrolló su tesis doctoral (Sobresaliente cum Laude y premio Extraordinario de Doctorado) sobre la estructura y reactividad de complejos metal-carbeno de tipo Fischer en el grupo de Miguel Ángel Sierra. Recibió el premio a la Mejor Tesis Doctoral en la Comunidad de Madrid (otorgado por la Real Sociedad de Química Española) y el premio Lilly de Investigación (otorgado por la Fundación Lilly-EUACC). Realizó una estancia posdoctoral (2005-2007) en la Philipps-Universität Marburg (Alemania) bajo la supervisión del profesor Gernot Frenking trabajando en estudios computacionales sobre la situación de enlace de compuestos orgánicos y organometálicos.

Desde su regreso a la Universidad Complutense de Madrid primero como investigador Ramón y Cajal (2008-2012), después como Profesor Contratado Doctor (2013-2018) y actualmente como Profesor Titular de Universidad (2018-actualidad), Israel Fernández ha sido investigador principal de proyectos tanto con financiación nacional como europea. Además, recientemente ha sido seleccionado por la Fundación BBVA como uno de los receptores de las *Ayudas Fundación BBVA a Investigadores y Creadores Culturales-Becas Leonardo* en su edición de 2015. También ha sido galardonado con una serie de premios, entre los que cabe destacar el premio Sigma-Aldrich a Investigadores Noveles de la Real Sociedad Española de Química (2009) y el premio Julián Sanz del Río (2011) para jóvenes investigadores de España y Alemania en Ciencias Naturales (otorgado por la Deutscher Akademischer Austausch Dienst, DAAD, y Fundación universidad.es).

Las temáticas estudiadas en su investigación son muy diversas y abarcan desde la síntesis de nuevos materiales con conjugación extendida y nuevas reacciones de cicloadición a estudios computacionales sobre la situación de enlace y reactividad de compuestos orgánicos y organometálicos. Como resultado, se ha desarrollado una nueva metodología computacional para entender en detalle, y de forma cuantitativa, los factores que controlan la reactividad en procesos fundamentales tanto en química orgánica como en química organometálica.

Además de dirigir su propio grupo de investigación en el departamento de Química Orgánica I de la UCM, Israel mantiene numerosas colaboraciones sinérgicas con grupos de investigación de primer nivel tanto nacionales como internacionales. A día de hoy, es autor/coautor de ~270 artículos de investigación en publicaciones de diferentes campos de la Química y 7 capítulos de libro. Asimismo, IF ha sido invitado como ponente en numerosas ocasiones en distintos congresos científicos e instituciones.

ELENA SÁEZ

## Concesión de los premios GEQO 2020

### Medalla Rafael Usón, Javier A. Cabeza



Javier A. Cabeza

Javier A. Cabeza nació en Soria en 1958. Se doctoró en Química bajo la dirección de Luis A. Oro (Universidad de Zaragoza, 1983) y realizó estancias posdoctorales en las Universidades de Sheffield (con Peter M. Maitlis, 1983-1985) y Zaragoza (con Luis A. Oro, 1985-1987). En 1987 se incorporó como profesor titular de Química Inorgánica a la Universidad de Oviedo, donde es catedrático desde 2005. Ha sido presidente del Grupo Especializado de Química Organometálica (GEQO) de la RSEQ (2002-2010) y miembro del International Editorial Advisory Board de la revista *Organometallics* (2008-2010). Ha dirigido 18 tesis doctorales y es autor de más de 220 publicaciones científicas.

Siempre ha estado interesado por la Química Organometálica. Sus experimentos iniciales en Zaragoza (tesis doctoral) implicaron complejos de rodio, iridio, plata y oro. En Sheffield investigó sobre derivados alquílicos de areno-complejos de osmio, siendo la contribución más relevante de este período la observación por RMN de señales de  $^{192}\text{Os}$  por transferencia de polarización. De vuelta en Zaragoza, trabajó con metalamesógenos y comenzó a interesarse por la química de clusters carbonílicos de rutenio, tema que ha desarrollado ampliamente en la Universidad de Oviedo desde su incorporación en 1987. Su grupo de investigación fue el primero en observar la activación de todos los enlaces de un grupo metilo unido a un fragmento orgánico (formación de un ligando carburo por rotura de un enlace C-C y tres enlaces C-H). Desde 2010, sus estudios se han centrado en la síntesis y química de coordinación de tetraeninos pesados (sililenos, germilenos, estannilenos), en particular, amidinato-sililenos y germilenos y germilenos de tipo pincer PGeP.

### Excelencia Investigadora, Juan Cámpora



Juan Cámpora

Juan Cámpora se licenció en Química en 1986 y realizó su tesis doctoral bajo la supervisión de los profesores. E. Carmona y M. L. Poveda, sobre la química de los complejos metalacíclicos de Níquel y sus aplicaciones a la síntesis de nuevas moléculas orgánicas (1990) en la Universidad de Sevilla. Durante su etapa predoctoral, visitó los laboratorios de los profesores David J. Cole-Hamilton (Reino Unido) y Gerhard Erker (Alemania). Su estancia posdoctoral la realizó con el profesor Stephen L. Buchwald en el MIT (EE. UU.) con una beca Fulbright investigando los complejos de bencino y metalociclos de Titanio y Circonio. En 1995 obtuvo una posición permanente en el entonces recién creado Instituto de Investigaciones Químicas (IQ, centro mixto del CSIC y la Universidad de Sevilla) donde desde 2012 es Profesor de Investigación del CSIC. Entre 2000 y 2004 fue director del IQ, ocupando de manera continuada diversos puestos de gestión científica, como Vocal Secretario de la Comisión del Área de Química del CSIC o Coordinador del nodo español de la Red de Excelencia IDECAT de la Unión Europea. Es autor de unos 100 trabajos científicos, que incluyen artículos de investigación, patentes, revisiones y capítulos de libro y ha coeditado el libro en dos volúmenes "Olefin Upgrading by Nitrogen-Based Complexes" (Springer). Recientemente ha sido Editor Invitado para el número especial de la revista *Organometallics* publicado en honor de su mentor, el profesor Carmona. Su investigación actual se centra en el estudio de la reactividad fundamental de los complejos organometálicos  $\sigma$  y sus análogos amido, alcóxido y fluoruro de los metales de los últimos grupos de transición, y su papel en los procesos catalíticos, así como en el diseño de nuevos catalizadores basados en metales abundantes y no tóxicos.



## Premio Jóvenes Investigadores, Max García Melchor



Max García Melchor

**M**ax García Melchor (Barcelona, 1982) obtuvo su licenciatura en Química, Máster en Química Teórica, y doctorado en Química en la Universidad Autónoma de Barcelona. Sus tesis de máster y doctorado se centraron en el modelaje computacional de los mecanismos de reacción de acoplamiento cruzados de enlaces carbono-carbono catalizados por complejos de paladio bajo la supervisión de los profesores Agustí Lledós y Gregori Ujaque. Tras finalizar su doctorado en 2012, Max inició su investigación posdoctoral en el grupo de Nuria López en el Instituto Catalán de Investigaciones Quí-

micas (ICIQ). Durante esta etapa, sus descubrimientos contribuyeron a esclarecer los mecanismos de reacción y factores que gobiernan varios procesos químicos de interés industrial catalizados por óxidos metálicos. En 2014, Max obtuvo una beca Beatriu de Pinós para continuar su carrera posdoctoral en el grupo del profesor Jens Nørskov en la Universidad de Stanford, California (EE. UU.).

A finales de 2016, Max se trasladó a la universidad Trinity College Dublin (Irlanda), donde inició su carrera científica independiente como Ussher Assistant Professor in Chemical Energy Systems. Desde entonces, Max lidera su propio grupo de investigación, Computational Catalysis and Energy Materials (CCEM). Mediante el uso de métodos de la química cuántica y supercomputadores, tienen como objetivo principal entender, a nivel molecular, procesos catalíticos en el campo de energía renovable y química sostenible. Su grupo también aspira a combinar este conocimiento mecanístico con inteligencia artificial para acelerar el diseño de catalizadores moleculares y heterogéneos más eficientes y económicos.

A lo largo de su carrera científica, Max ha recibido varios premios nacionales e internacionales, entre los que destacan el premio Springer Theses Award y el premio Sant Jordi de la Sociedad Catalana de Química. Max es coautor de más de 40 publicaciones científicas y dos capítulos de libro. Algunos de estos trabajos han sido seleccionados por Thomson Reuters como "Hot Papers".

ELENA SÁEZ

## Creación del Grupo Especializado de Ciencia y Tecnologías (Bio) analíticas (CTbA)

**L**a Real Sociedad Española de Química incrementa el número de grupos especializados con la reciente creación del grupo de Ciencia y Tecnologías (Bio) analíticas (CTbA). Con él se pretende integrar tanto a los químicos analíticos como a otros miembros de la RSEQ que se identifiquen con las actividades de esta disciplina científica, potenciando de esa forma la colaboración entre los investigadores de nuestro país.

Los objetivos generales del CTbA son:

1. Promover y potenciar el desarrollo de la investigación, la enseñanza y la divulgación en el área de la Química Analítica y Bioanalítica, con una perspectiva multidisciplinar.
2. Facilitar la divulgación de resultados y potenciar colaboraciones entre investigadores y con otros



profesionales, a escala nacional e internacional, mediante diferentes iniciativas científicas.

3. Hacer llegar a los sectores productivos los resultados de investigación susceptibles de aprovechamiento práctico, divulgación e interés para otros ámbitos del conocimiento.
4. Establecer contactos con otros Grupos Especializados cuyas actividades converjan o puedan ser de interés mutuo.
5. Organizar cursos, seminarios o jornadas formativas y de puertas abiertas en temas relacionadas con las tecnologías analíticas, destinadas a profesionales de la industria.

Hasta que se celebren elecciones, la Junta del Gobierno del CTbA, aprobada por la RSEQ, estará constituida por los siguientes miembros:

Presidenta: María Luisa Marina Alegre (Universidad de Alcalá).

Vicepresidente: Ángel Maquieira Catalá (Universidad Politécnica de Valencia).

Secretaria: María Castro Puyana (Universidad de Alcalá).

Tesorero: Alfonso Salinas Castillo (Universidad de Granada).

Vocales:

Ángel Ríos Castro (Universidad de Castilla La Mancha).

José Manuel Costa Fernández (Universidad de Oviedo).

Susana Campuzano Ruiz (Universidad Complutense de Madrid).

Mari Cruz Moreno Bondi (Universidad Complutense de Madrid).

Alberto Escarpa Miguel (Universidad de Alcalá).

ELENA SÁEZ



Desde la Real Sociedad Española de Química queremos visibilizar la contribución de nuestros científicos en la lucha contra el COVID-19. Es por ello que hemos lanzado una nueva sección denominada la Química y el COVID-19 para dar a conocer cómo la Química puede aportar soluciones o explorar nuevas vías en la lucha contra la pandemia.

Inauguramos la sección con 10 proyectos enviados por miembros de la RSEQ, a los que agradecemos su aportación.

Si queréis participar solo debéis enviar al correo [socios@rseq.org](mailto:socios@rseq.org) la siguiente información:

- Título de la actividad (máximo 15 palabras)
- Resumen breve de la actividad: máximo 150 palabras.
- Nombre de los investigadores implicados y/o nombre del grupo.
- Nombre del centro(s) de los investigadores.
- Figura explicativa (250 x 400 px).

Consulta nuestra nueva sección: [La Química y el COVID-19](#)

## Rubén Martín, premio *Organic Letters* a la Publicación Destacada del Año 2020

El premio a la Publicación Destacada del Año está copatrocinado por la División de Química Orgánica de la ACS y por *Organic Letters*. Este premio anual reconoce a los autores de un artículo “excelente” publicado en la revista durante el año anterior. El artículo es seleccionado en base a su creatividad e impacto en su campo.

Este año, el galardonado con este premio ha sido el profesor Rubén Martín del Instituto de Investigación Química de Cataluña (ICIQ, Tarragona) por el trabajo de su grupo de investigación titulado “Ni-catalyzed Reductive Deaminative Arylation at sp<sup>3</sup> Carbon Centers” (Raúl Martín-Montero, Veera Reddy Yatham, Hongfei Yin, Jacob Davies, y Rubén Martín. *Org. Lett.* **2019**, *21*, 8, 2947-295).

“Es un verdadero honor recibir este premio en nombre de mis coautores. Es realmente muy halagador ser elegido como el ganador de este premio, particularmente si uno mira el increíble número de excelentes manuscritos publicados en *Organic Letters*”.

Rubén Martín nació en Barcelona (1976). Se doctoró en 2003 por la Universidad de Barcelona bajo la supervisión del profesor Antoni Riera en síntesis de compuestos naturales. Durante los 5 años siguientes, llevó a cabo estudios posdoctorales en el Max-Planck Institut für Kohlenforschung con el profesor Alois Fürstner y posteriormente en el Massachusetts Institute of Technology (MIT) bajo la supervisión del profesor Stephen L. Buchwald trabajando en el campo de la catálisis organometálica. En el año 2008 inició su carrera independiente en el Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ, Tarragona), centrándose en la conversión catalítica de materias primas en productos de alto valor añadido. En el año 2011 obtuvo una ERC



Rubén Martín

Starting Grant. En 2013, promocionó a Profesor Asociado y Profesor de Investigación ICREA durante el mismo año.

Desde su incorporación al ICIQ, ha recibido numerosos premios: premio RSEQ Joven Investigador (2010), premio Thieme Chemistry Journal (2011), Eli Lilly premio Joven Investigador (2011), premio RSEQ a la excelencia investigadora (2015), premio Conferenciantes Marcial Moreno (2017), premio OMCOS (2017), premio Liebig-Lectureship (2017), premio Pharmaron Lectureship (2018), premio Bristol-Myers-Squibb Lectureship (2018), premio Genentech Lectureship (2018), premio ChemSocRev Pioneering Investigator (2018), premio Hirata (2018), premio IOCF Lectureship (2018), premio Banco Sabadell a Ciencias e Ingeniería (2018), premio ParazaPharma Lectureship (2019), premio Boehringer Ingelheim (2019), premio MIT / Merck Lectureship (2019), premio Novartis Chemistry Lectureship (2019) y premio Arthur C. Cope Scholar 2020.

ELENA SÁEZ

## Premio Lilly Joven Investigador 2020

El doctor Marcos García Suero, investigador en el Instituto Catalán de Investigación Química (ICIQ) de Tarragona, ha sido reconocido con el premio “Joven Investigador 2020”, que anualmente entregan Lilly y la Real Sociedad Española de Química (RSEQ). Este galardón distingue la excelencia en la calidad científica y en la trayectoria profesional de jóvenes promesas españolas menores de 40 años.

El trabajo premiado se centra en el desarrollo de nuevas estrategias catalíticas basadas en radicales carbenoide, equivalentes de carbino y metal-carbenoide. “Dichas especies reactivas han mostrado nuevas reglas de reactividad inexploradas con un gran potencial en resolver problemas sintéticos en la síntesis de moléculas complejas”, explica Marcos García Suero, que añade: “El potencial impacto de estos nuevos procesos en química médica ha sido puesto de manifiesto en fármacos como duloxetine”. El programa de investigación estará financiado por el Consejo de Investigación Europeo (ERC-Consolidator Grant) y tendrá una duración de 5 años (2020-2025).



Marcos García Suero

Desde la RSEQ, felicitamos a nuestro socio, por este reconocimiento a su labor investigadora.

ELENA SÁEZ

## Juan Ramón González Velasco, premio FISOCAT 2020 Senior a la Trayectoria Científica de Excelencia

La Federación Iberoamericana de Sociedades de Catálisis (FISOCAT), ha otorgado el premio a la Trayectoria Científica de Excelencia FISOCAT 2020 Senior al profesor Juan Ramón González Velasco de la Universidad del País Vasco UPV/EHU y socio de la Sección Territorial del País Vasco de la RSEQ. Este premio se concede bianualmente desde 2006 y distingue a investigadores de amplia y reconocida labor científica internacional.

Juan Ramón González Velasco, nacido en Erandio (Bizkaia) en 1953, es catedrático de Ingeniería Química en la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPV/EHU, y lidera el grupo de investigación Tecnologías Químicas para la Sostenibilidad Ambiental (TQSA), reconocido internacionalmente por sus desarrollos en Catálisis Ambiental. Conferenciante habitual en las reuniones científicas y congresos más relevantes en las áreas de catálisis e ingeniería química, su extensa producción está reconocida como de alta relevancia científica y aplicabilidad industrial, con extraordinario impacto en retos actuales para la Sociedad, tales como mejora de la eficiencia de recursos y materias primas, búsqueda de fuentes de energía segura, limpia y eficiente, y, en general, protección del medio ambiente.



Juan Ramón González Velasco

El profesor González Velasco ha destacado en su faceta de excelente investigador, también ha ocupado diversos puestos de gestión en órganos de evaluación y gestión



de la investigación de universidades españolas y extranjeras. En la UPV/EHU, fue Vicerrector de Investigación y Decano de la Facultad de Ciencia y Tecnología. Internacionalmente, ha sido Secretario de la International Association of Catalysis Societies (IACS) y miembro del comité ejecutivo de la European Federation of Catalysis Societies (EFCATS), además de Presidente de la Sociedad Española de Catálisis.

La entrega del premio estaba prevista en el marco del XXVII Congreso Iberoamericano de Catálisis en

Puerto Vallarta (México). No obstante, la situación en la que se encuentra el mundo en estos momentos, se ha pospuesto el congreso y la entrega del premio a fechas posteriores.

La Federación Iberoamericana de Sociedades de Catálisis (FISOCAT) reúne las Sociedades Nacionales de Catálisis de 11 países iberoamericanos: Argentina, Brasil, Chile, Colombia, Cuba, España, México, Perú, Portugal, Uruguay y Venezuela.

PASCUAL ROMÁN

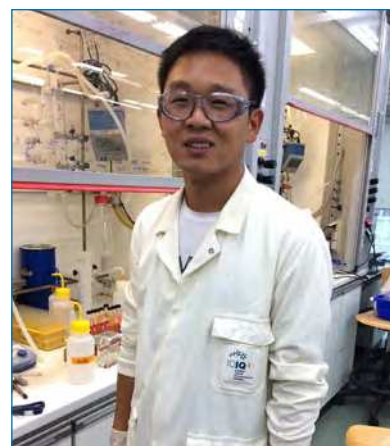
## Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado 2020



Mauro Mato Gómez



Águeda Molinero Fernández



Shang-Zheng Sun

La Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y el Comité Europeo para las Relaciones Académicas de Lilly han hecho público los ganadores de su XVIII edición de los Premios de Investigación para Alumnos de Doctorado.

Como en anteriores ediciones, el criterio para la elección ha sido la excelencia de las investigaciones que están desarrollando estos jóvenes en campos como Química Orgánica, Química Farmacéutica y Química Analítica.

**Shang-Zheng Sun**, investigador del Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) de Tarragona, por sus trabajos en el descubrimiento de formación de nuevos enlaces carbono-carbono en reacciones de acoplamiento cruzado usando catalizadores de níquel.

**Mauro Mato Gómez**, investigador del Institut Català d'Investigació Química (ICIQ) de Tarragona por sus investigaciones en nuevos métodos de generación y patrones de reactividad de carbenos metálicos.

**Águeda Molinero Fernández**, investigadora de la Universidad de Alcalá de Henares (UAH), cuyo trabajo está enfocado en el diseño y desarrollo de herramientas analíticas fundamentadas en micromotores moleculares e inmunosensores de la sepsis neonatal.

Desde la RSEQ, felicitamos a nuestros miembros por este merecido reconocimiento.

ELENA SÁEZ

## José Antonio Campo

### Catedrático de Química Inorgánica y Vicerrector de Calidad de la Universidad Complutense

*In memoriam*

Cuanta tristeza me proporciona tener que escribir esta despedida y a la vez que satisfacción poder poner en Mayúsculas la calidad científica, organizativa, docente y sobre todo humana de este Profesor Catedrático de Química Inorgánica. Siento que tal vez los muchos años convividos con él me permiten poder comunicar las características y actitudes de esta excelente persona.

Desde sus comienzos como estudiante en la facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Complutense donde llevó a cabo su licenciatura finalizada en 1985, tuve la sensación de una cierta proximidad en la relación profesor-alumno que cristalizó en la posterior realización de su tesis doctoral bajo mi dirección. Tras obtener el título de doctor en 1990, su interés en el ámbito de la química organometálica le impulsó a realizar una estancia en Canadá bajo la supervisión del profesor M. Kubicky, para ampliar su conocimiento en la utilización de la técnica de RMN multinuclear a este tipo de compuestos. Desde entonces su escalada profesional fue paulatina pero firme. En la actualidad era Catedrático de Química Inorgánica.

Involucrado en la docencia de la Química Inorgánica y particularmente en la materia de Química Organometálica formábamos un equipo en el que la premisa fundamental fue siempre enseñar con calidad científica, renovadora y de proximidad. Era fácil trabajar con él, su interés en organizar y compatibilizar contenidos y horarios con las clases, seminarios, prácticas y en general toda la actividad docente parecía que era algo simple para él.

En todo caso su capacidad de comunicación con sus alumnos, así como su disponibilidad para atender a sus consultas constituía su norma de trabajo. Paralelamente era continuamente solicitado por profesores y compañeros para la resolución de diversos tipos de dudas, especialmente de aquellas relativas a gestión y normativa de las que era un pozo absoluto de conocimiento y que siempre intentaba solucionar con una amable sonrisa. No es



El profesor José Antonio Campo

de extrañar que fuera Secretario del Departamento de Química Inorgánica de la UCM y posteriormente director del mismo, sin escatimar esfuerzos ni templanzas.

Paralelamente y puedo decirlo con enorme gratitud, formamos siempre un tándem en el Trabajo de Investigación. Era el alma y apoyo absoluto en la elaboración de los continuados Proyectos de Investigación, que nos permitieron seguir en la brecha y que consolidaron resultados muy satisfactorios en el campo de la química de coordinación y de los materiales moleculares. Es de recibo reconocer su excelente aportación en el área de los materiales Líquido Cristalinos.

Siempre estuvo firme y dispuesto a colaborar tanto en la experimentación como en la informatización de resultados, sin escatimar horas de dedicación. Lo mismo valía para un “roto que para un descosido”, es decir lo

mismo ayudaba a montar un recirculador o a hilar sodio que revisaba los *papers* exhaustivamente, encontrando las erratas que a los demás se nos pasaban por alto. ¡Cuántos fines de semana y horas intempestivas dedicadas a dar los toques finales de Proyectos o de Tesis antes de su presentación final! También en esta línea su participación en la dirección o codirección de Trabajos de Grado, Máster y de las antiguas Tesinas ha sido relevante.

No puedo dejar de mencionar el programa ERASMUS MUNDUS en el que nos embarcamos, cuando este programa era prácticamente desconocido en esta Universidad y que, a pesar de las muchas dificultades encontradas, nos proporcionó también bastantes satisfacciones. Dentro de este programa fuimos coordinadores por la parte española del máster internacional MONABIPHOT, financiado por la Unión Europea y desarrollado durante sucesivos periodos (casi 12 años), con la intervención de varios departamentos y yo añadiría que pudo hacerse gracias a la indudable labor de gestión de José Antonio.

Todo ello fue configurando su personalidad creciente en la ciencia y su eficacia en la gestión universitaria. Como consecuencia fue solicitado por diferentes agencias como ACSUG, ACPUA, AVAP, Fundación para el Conocimiento Madrid +D y ANECA participando en la evaluación de títulos de máster y otras actividades. Recientemente fue presidente de la Comisión de Acreditación Eurolabel de la ANECA. Como era de esperar esta genial trayectoria desembocó en su nombramiento de Vicerrector de Calidad de la Universidad Complutense.

Pero por encima de todos estos aspectos creo que es determinante destacar su Calidad Humana. Siempre

amable y dispuesto a colaborar. Sencillo en el trato sin dejar en el camino nada de aquello para lo que se había solicitado su colaboración o consejo. No tengo ni idea como podía llevar tantas cosas a la vez, probablemente ayudado por una extraordinaria memoria y por el espectacular desorden de su mesa con miles de papeles y documentos apilados, inconcebible para muchos de nosotros pero particularmente ilustrativo para él.

En los más de treinta años compartidos no le vi nunca una actitud beligerante ni una mueca de desagrado, ni siquiera cuando las exigencias obligan a tomar determinadas decisiones. Era una persona BUENA por naturaleza.

Compartiendo docencia e investigación hemos pasado más de media vida juntos. Una vida rica en todo lo que su CV refleja, pero en especial en la amistad que nos unía. Ha sido para mí un placer tenerte siempre tan cercano, contar con tu ayuda y poder aprender.

Somos muchos los que te llevamos en el corazón como un ejemplo de armonía en capacidad intelectual y personalidad sencilla amable y siempre colaboradora.

Aunque ya lo he mencionado en varias ocasiones, he de repetir de nuevo que en la etapa final de mi vida académica me dejaste demasiado sola y de hecho un poco perdida sin tu ayuda permanente, pero solo tu ejemplo es motivo para seguir en esta vida universitaria.

Todo mi cariño.

Merche

MERCEDES CANO ESQUIVEL  
Catedrática de Química Inorgánica  
Universidad Complutense

## Una semblanza para Emilio

*In memoriam*

Emilio Morán Miguélez nació en Madrid, en el barrio de Usera, en una familia modesta, de origen leonés, que vino a la capital en los años cincuenta, la época de las migraciones interiores. Niño despierto y muchacho inteligente, consiguió inmediatamente una beca de la organización sindical (OSE) para estudiar en el Colegio San Viator, en la Plaza Elíptica, plaza que curiosamente, en aquella época, llevaba el nombre de José María Fernández-Ladreda, un químico asturiano que fue marqués, militar y catedrático de Química de esta, entonces Facultad de Ciencias de la Universidad Central, en los años cuarenta. Emilio fue siempre un alumno brillante, lo que le acarreó envidias, y alguna pelea con los vagos del colegio, y consiguió con facilidad el Premio Nacional de Bachillerato. Recordaba con cierto desagrado el acto de entrega en el Pardo cuando, en un trance desangelado, dos filas, una de chicos y otra de chicas, *encorbatados*, fueron estrechando –es un decir– “la mano blandengue y sudorosa” del dictador que, según me contó, no pronunció palabra más allá de un balbuceo.

Tras acabar el Bachillerato y el *Preu* estudió Ciencias Químicas en la Universidad Autónoma de Madrid, donde el catedrático de Química Inorgánica era don Miguel Gayoso Andrade, hombre sabio, cabal y discreto, que conocía la disciplina como nadie y la exponía magníficamente sin aparente esfuerzo. Eso llevó a Emilio a hacer la especialidad y en ella, en 1973 y 1974, le di clase de Química del Estado Sólido. Tras terminar la carrera con Premio Extraordinario, fue nombrado Profesor Ayudante (1974 a 1978) y realizó conmigo la Tesina y luego la Tesis Doctoral en los óxidos de rodio. En octubre de 1978 se incorporó, como becario, a mi grupo en el Departamento de Inorgánica de la UCM, defendiendo la tesis doctoral en 1982 y obteniendo, una vez más, premio Extraordinario. En el curso de ese trabajo de Tesis



El profesor Emilio Morán Miguélez

hizo varias estancias en el *Laboratoire de Cristalographie* del CNRS, alguna vez coincidiendo con estancias sabáticas mías, y ahí aprendimos la técnica de síntesis hidrotermal que, posteriormente, instalamos en el Departamento. Este fue el embrión del Laboratorio Complutense de Altas Presiones que juntos echamos andar en 1995 y tanto juego ha dado lo largo de estos veinticinco años. En dicha Tesis “Síntesis, caracterización y estudio de diversas fases en el Sistema Rh– O<sub>2</sub>–H<sub>2</sub>O”, además de aclarar ese diagrama de fases, descubrió la importante familia de los hidrogranates sin silicio, fundamentados en las fases de Rudlesden y Popper.

Al terminar su Tesis Doctoral, Emilio marchó a los laboratorios Bell, en Murray Hill, Nueva Jersey, para trabajar en el crecimiento de cristales de lo que entonces se llamaban *Nuevos Materiales*, con el célebre Joseph P. Remeika, el mejor *crecedor* de cristales de su época. Allí consiguió Emilio crecer titanato de bario, los celebres cristales en forma de alas de mariposa de los que tenía



unos cuantos en el despacho con los que asombraba a los alumnos, y que obviamente conservaremos y también el siliciuro de vanadio, uno de los más interesantes superconductores clásicos.

De vuelta a la UCM, fue Profesor Titular y Catedrático de Química Inorgánica y también, durante algún tiempo, director del Departamento.

Un hito fundamental en su carrera, en nuestras carreras, fue la aparición de los *Superconductores de Alta Temperatura* en junio de 1986. Gracias al buen hacer de Emilio que dirigía el Laboratorio de Estado Sólido, y de Flaviano García Alvarado en la síntesis de un nuevo superconductor de ese tipo (en lo que fue el tema de su tesis doctoral) y con las medidas de colegas físicos de la UCM y la UAM, se preparó el primer Superconductor de Alta Temperatura obtenido en España, publicado en abril de 1987 en *Solid State Communications*, tan solo tres meses después de la aparición del YBCO, y que por un cierto tiempo, detentó el record absoluto de  $T_c$  con 96.5 K. Poco más tarde, con el apoyo de varios otros miembros del grupo, se preparó, en la mayoría de los casos por vez primera, toda la familia de superconductores tipo YBCO con las diferentes tierras raras, alguno de ellos creciendo monocristales, y se distribuyeron muestras a ocho laboratorios españoles y a otro del MPI de Stuttgart, lo que les permitió hacer, muy desde el principio, diferentes tipos de estudios físicos y estructurales. Siempre nos lo agradecieron.

Emilio puso en marcha otras técnicas de investigación en nuestro laboratorio, en particular de electroquímica: inicialmente se instaló la electrodeposición de metales, y casi simultáneamente, la inserción de litio tanto química como electroquímicamente en materiales para baterías. Más adelante, se pusieron en marcha procedimientos de oxidación química en medios básico o ácido, electroquímica, de ozonización en corriente gaseosa, y reacciones a muy alta presión de oxígeno; más recientemente, la síntesis asistida por microondas, de la que era un especialista internacionalmente reconocido. En todos esos casos se hicieron tesis doctorales utilizando esas técnicas.

Así, más de quince tesis doctorales y más de doscientos cincuenta trabajos publicados, presentaciones en un centenar de congresos, además de incontables tesinas, TFG y TFM, han jalonado la carrera científica y docente de Emilio Morán, que obtuvo el Épsilon de Oro de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio en 2015.

Si en el laboratorio Emilio era un magnífico docente, cargado de paciencia, sabiduría y extraordinaria dedicación a los alumnos, no lo era menos en el aula. Sus amenas clases y sus múltiples y extraordinarias conferencias reflejaban bien su gran cultura científica, su encanto personal, reflejado en su permanente sonrisa, y una innata capacidad para la divulgación.

La carrera de Emilio Morán tiene también un componente de importante participación en la organización social nacional e internacional de la Química del Estado Sólido. Efectivamente, Emilio fue uno de los fundadores del Grupo Especializado de Química del Estado Sólido (GEQUES) de la Real Sociedad Española de Química y desde la primera

directiva fue su secretario general a lo largo de casi veinte años. También participó como director del grupo español en varios programas de investigación europeos.

Asimismo fue, entre otras muchas cosas, secretario del Comité organizador en el *International Symposium on the Reactivity of Solids*, celebrado en Madrid en 1992, año del 500 aniversario del Descubrimiento.

También, fue el *Chair* de una reunión de la *EuChemS Solid State Chemistry Division*, celebrada en Sevilla en 2016.

Fue además coorganizador de diferentes escuelas de verano sobre Química del Estado Sólido, fullerenos y sobre materiales superconductores en la UIMP y, asimismo, en los Cursos de Verano de la UCM en El Escorial.

Hasta aquí el *Emilio oficial*.

Pero Emilio era mucho más que una ficha administrativa. Desde el primer instante en que llegó al laboratorio de la UAM para hacer la tesina, ya se notaba un ambiente diferente; había desde luego varios tesinandos, casi todos mujeres y los chorros de simpatía que destilaba Emilio causaban cierto revuelo que efectivamente compensaba la seriedad que, sin necesidad de insinuarlo, inspiraba el catedrático. En el curso del su trabajo de tesina nos ocupamos de un magnífico termo-analizador de “última generación” de la época, un aparato, caro y complejo, pero que, en realidad, no funcionaba bien. A pesar de ello, los geles de óxido de rodio se dejaban manejar con facilidad por Emilio y la tesina se terminó de manera sobresaliente.

El trabajo de Tesis, mayormente en la Complutense, con las mencionadas visitas a GrènoBLE, tuvo un comienzo más bien de taller mecánico, ya que convertimos un antiguo aparato de hornos con bombas de vacío y tuberías de Pyrex –que yo había construido en mi tesina– en su antítesis(i): un equipo de síntesis hidrotermal, con compresor, tuberías y válvulas de acero aprovechando, de paso, un horno tubular vertical que había en el departamento y que se decía era de la época de Moles... En GrènoBLE, la acogida de Emilio –que paso a llamarse *Emilio*– fue fantástica, su sonrisa, proverbial y a la semana de estar allí ya era uno más del *Laboratoire de Cristallographie* que dirigía Monsieur Bertaut, un abogado alemán exiliado por el nazismo, que fue un genio de la cristalografía. Aprendió a soldar al arco –con un lápiz y un pequeño transformador– las ampollas de oro en que se producía la oxidación del rodio en medio clórico y a controlar los autoclaves, a usar las cámaras de Rayos X de Guinier, y a menudo utilizaba la estupenda biblioteca del llamado *Polygone Scientifique* del CNRS. Nos maravillaba que podíamos hacer fotocopias, pedir material y productos en el almacén sin más que firmar un recibo y tener técnicos de laboratorio que utilizaban todas las técnicas siguiendo nuestras indicaciones o arreglaban cualquier equipo. Se podía incluso dar la receta de la síntesis a alta presión y, al día siguiente, nos devolvían la muestra y la película de rayos X...

Por concluir, Emilio Morán era un gran científico, un magnífico profesor, tanto en el aula como, quizá aún más, en el laboratorio. Sus alumnos le adoraban. Era un

magnífico compañero de trabajo, y de entretenimiento; frecuente organizador de comidas y homenajes, sobre todo en nuestro grupo y un excepcional ser humano. Brillante e inteligente, siempre que leíamos un artículo juntos, cuando yo iba apenas por la mitad, me decía “ya puedes pasar la página” y, casi antes de terminar, nos hacía un extracto conclusivo en el que no se le había escapado ni un detalle. Jamás le vimos regañar o discutir con nadie y menos aun con los alumnos a los que trataba prácticamente de igual a igual.

Esta semblanza no estaría completa sin hacer una referencia más que emotiva, a la familia de Emilio, para empezar a *sus mujeres*. Carmen, Catedrática de Matemáticas, enamorada de su profesión a la que se dedicó con gran entusiasmo bien productivo. De ella también hablaban muy bien compañeros y alumnos –y una de estos, casualidades de la vida, ocupa un lugar destacado en nuestro grupo– y sus tres hijas, inteligentes, brillantes y que han alcanzado cotas máximas en sus estudios y aun en su vida profesional. El IQ conjunto de la familia Morán López,

debe alcanzar un número desorbitado. La ilusión que traslucían los ojos de Emilio cuando decía “he quedado con Carmen” la recordaremos siempre.

Y una palabra para sus estupendos padres, longevos y aun en aceptablemente buen estado, que han perdido en pocos años a sus dos brillantes y cariñosos hijo e hija, una de las catástrofes humanas mas penosas que se pueden padecer.

Emilio generaba un ambiente amistoso en su entorno que facilitaba mucho el trabajo en grupo. Solo se le conocen amigos, que hablan de él maravillas. Su pérdida, absolutamente inesperada, nos deja pasmados y entristecidos. No nos la esperábamos, no nos la merecíamos y, sobre todo, no se la merecía él.

Querido amigo y gran compañero Emilio: no pararemos de echarle de menos.

DESCANSA EN PAZ

MIGUEL ÁNGEL ALARIO Y FRANCO

# I Have a Dream!

Javier de Mendoza

Hoy me he despertado y he mirado a través de mi ventana, desde el confinamiento. No se veían coches circulando y sólo algunas personas enmascaradas caminaban con pasos apresurados en busca de alimentos o a la caza de levadura para hacer tartas caseras o magdalenas. Tampoco se oían aviones surcando el espacio aéreo cercano. Mientras observaba, a mis espaldas anunciaban por la tele que el petróleo se había dejado de quemar y ya se acumulaban millones de barriles en busca de comprador, que la contaminación ambiental y las emisiones de dióxido de carbono habían bajado espectacularmente, desde el balcón se respiraba aire puro, la costa mallorquina se veía todos los días desde las faldas del Tibidabo barcelonés, y en otros lugares de España los toros de lidia pasaban felices y tranquilos en sus dehesas, sin que nadie viniera a pincharles el cogote ante una alegre multitud agitando pañuelos. Cuando bajaba a sacar la basura, oía de nuevo mis pisadas sobre el pavimento, evocando las sensaciones que años atrás me invadieron una mágica noche en Praga sobre el puente de Carlos, en pleno invierno y nevando, que contrastaban con la imagen habitual de ese famoso puente abarrotado de multitudes que había que perforar a golpes de kárate para cruzarlo. Hasta las estatuas parecían aquella noche querer hablar conmigo. Ahora mismo, frente a mi casa, unos graciosos patitos se mueven en familia fuera del cauce de la riera donde suelen permanecer, y he visto imágenes de animales más inquietantes, como jabalíes, cocodrilos e incluso leones deambulando alegremente por las calles y campos de golf de lugares más exóticos. Afortunadamente, en Mallorca lo más exótico que solíamos tener eran grupos compactos de turistas que a todas horas, de forma discontinua, podría decirse que cuantizadamente, emergían de los numerosos barcos de crucero que diariamente invadían nuestro puerto. Ahora, todos ellos, turistas y barcos, han desaparecido.

Ante esta visión idílica, mi primer pensamiento vanidoso fue que todo el mundo había leído mi última columna sobre el petróleo, en la que alarmaba de que un producto que la naturaleza ha tardado 200 millones de años en generar nos lo ventiláramos quemándolo en menos de 200 años. No sólo me parecía ese expolio una

monstruosidad, sino que como químico ponía el acento en la falta de materias primas que se nos avecinaba, para fabricar casi todo lo que nos rodea en nuestra sociedad moderna, incluidos los medicamentos. Pues bien, asomado a mi ventana seguí soñando, en plan Martin Luther King, que por fin el mundo había comprendido, ya tampoco volveríamos a ver quemar petróleo sólo por placer, paseando o viajando a ninguna parte, para entretener nuestro ocio de ciudadanos privilegiados.

Pero continué escuchando y de pronto me caí del guindo o, con más propiedad, me bajé de la parra virtual a la que me había subido. Por la misma tele, las mismas voces empezaron a hablar de “desescalada” y de *nueva normalidad*, de la precaución y prudencia con la que íbamos a tener que convivir. Cuando se lean estas líneas, si todo va bien y la pandemia no repunta, el ruido, el ajetreo diario y los coches habrán vuelto a invadir nuestras vidas. Ya no tendremos muertos diarios que contar. Por cierto, ¿por qué no se dice muertos y muertas, al igual que se habla cansinamente de trabajadores y trabajadoras, ciudadanos y ciudadanas, miembros y miembros (esa me la ha subrayado el corrector), y un largo etcétera? También, ¿por qué, de la misma forma, nadie habla de ladrones y ladronas, de corruptos y corruptas...? En fin, cosas... Retomando el hilo de mi relato, en la *nueva normalidad* se reniega ahora del transporte colectivo, uno de los pilares sagrados de la lucha contra el cambio climático, y sorprendentemente se aconseja el uso masivo del vehículo privado, a ser posible con pocos ocupantes, o sea, más coches. Por tanto, el quemar va a continuar, incluso se va a incrementar... ¡sálvese quien pueda!

Esta columna pretende ser la última de una trilogía sobre cambio climático y futuro de nuestro planeta, tras las dos anteriores que escribí sobre reciclaje y petróleo. Pensaba hablar sólo de explosión demográfica, pero las circunstancias me han hecho comenzar con otra explosión, provocada por un virus, así que seré breve.

Para un químico, una explosión no es más que una reacción que libera energía con una aceleración que somos incapaces de controlar. La proliferación en cadena se ramifica y extiende de forma exponencial y todo acaba estallando, como en una pandemia. Con el aumento de la población mundial ocurre algo parecido. Cuando yo era niño, me hablaban de París, Londres o Nueva York como ejemplos de ciudades gigantescas, con millones de habitantes. Hoy en día el número de ciudades con más de diez millones es superior a 35. Sumamos ahora unos 7.500 millones en el planeta, y el crecimiento se puede seguir en tiempo real a través de la red (<https://countrymeters.info/es/World>), aunque da una cierta angustia entrar en esa página. En el supuesto inimaginable de que la pandemia de coronavirus se cobrara 1.500 millones



J. de Mendoza

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

de vidas humanas (la famosa y mortífera gripe española de 1918 acabó con la vida de *sólo* 40-60 millones, y en la segunda guerra mundial murieron hasta 100 millones, según las cifras más pesimistas), nos quedaríamos en una población de 6000 millones, más o menos la que teníamos hace... 20 años.

Con toda seguridad, tras la actual pandemia habrán muerto muchísimos menos que esas increíbles cifras del ejemplo. Siempre han existido virus, y otros seguirán emergiendo en el futuro. Cuando no se sabía nada sobre virus, bacterias y demás patógenos, las epidemias eran tremendamente mortíferas, pero acababan desapareciendo o estabilizándose por la inmunidad generada y la consecuente ausencia de víctimas cercanas. El Covid-19 no es un virus mejor ni peor que los demás, ni es maligno ni tiene cerebro, se limita a proliferar donde le dejan. Una diferencia, no menor, con respecto a otros es que se propaga con rapidez, al invadir inicialmente de forma asintomática, lo que ha provocado el colapso de los sistemas sanitarios de todo el mundo, como cuando una muchedumbre presa de pánico pretende salir de un estadio o un lugar cerrado ante una emergencia. El lenguaje belicista con el que muchos dirigentes nos animan a luchar y no rendirnos, a acabar con el monstruo invasor, puede resultar útil porque estimula nuestras conciencias como sociedad, despertando sentimientos de empatía y solidaridad, pero tiene poco de científico. La experiencia del Covid-19 nos debería hacer reflexionar y contribuir a cambiar algunos paradigmas de nuestra civilización. Pero al resto de seres vivos, como conjunto, les tiene sin cuidado si no lo hacemos (por una vez, yo soy de los pesimistas), desde el punto de vista de la biología no pasará casi nada, simplemente el coronavirus acabará con muchos, mayoritariamente quienes somos más viejos, quizás algo antes de lo esperado. En definitiva, no sabemos de nadie que no acabe muerto. La vida sin la muerte no tiene sentido, la evolución se basa precisamente en eso.

Con respecto al futuro del planeta, creo que los científicos somos bastante responsables de lo que le ocurra. Nos desenvolvemos en esferas cerradas, cada vez más crípticas para quien no sea especialista en su propio tema. Yo no soy capaz de entender los artículos de mis colegas de áreas incluso cercanas a mi campo científico. Pues si eso pasa entre nosotros, ¿qué podremos decir en cuanto a nuestra relación con el resto de la sociedad? Los ciudadanos corrientes conocen cada vez más cosas, aunque sea superficialmente. Dejando a un lado el que el hombre más poderoso de la Tierra diga de pronto que el virus se cura tomando desinfectante, es evidente que la pendiente del conocimiento ciudadano va creciendo, pero de forma mucho más lenta que la pendiente del conocimiento científico. El resultado es que la diferencia (*gap*) entre el conocimiento de la sociedad y el de los científicos se acrecienta día a día. Si deseamos que ambas

pendientes no sigan alejándose, el camino de la ciencia hacia al pueblo parece más fácil de transitar que el del pueblo hacia la ciencia. Por tanto, ese camino lo deberemos recorrer sobre todo los científicos.

Y en relación al problema demográfico, resulta una obviedad que nos tendríamos que reproducir menos. De otra forma, la naturaleza hará su trabajo. La falta de recursos, de alimentos, las guerras convencionales o nucleares y las epidemias llevarán a un nuevo equilibrio. Seguirá lloviendo y el sol continuará saliendo todos los días, a lo largo de los siglos hasta que nuestra estrella se enfríe finalmente, dejando paso a otras más jóvenes. El control poblacional parece sencillo en el primer mundo, sin hacer nada ya nacen cada vez menos niños y nuestros países crecen en habitantes esencialmente por la inmigración. Tampoco parece que el largo confinamiento de estas semanas/meses, rodeados de mascarillas, guantes, geles, separaciones de dos metros, saludos con los codos, ordenadores, series televisivas y juegos electrónicos, todo aderezado de angustia material y económica, vaya a tener como consecuencia un *baby boom* como el que ocurrió tras el apagón de Nueva York de 1966. Más bien se intuye que lo que acabará creciendo será el número de divorcios. Por el contrario, en los países pobres superpoblados el control demográfico resultará muy difícil, y de hecho permanece como un problema gigantesco en China, a pesar de su férrea política sobre natalidad.

Es ahí donde deben concentrarse los esfuerzos de los países ricos. Los científicos (todos) deberíamos salir más de nuestra burbuja, poniendo pie en tierra y explicando constantemente, de forma sencilla pero rigurosa, los avances que se van produciendo y los descubrimientos que vamos haciendo. Una sociedad informada y educada es una sociedad fuerte, preparada para ganar batallas y resolver problemas globales. Los gobernantes que han informado a la población de forma sincera y precisa sobre la evolución y consecuencias de la pandemia están sacando mejor a sus países de la crisis. Muchos de ellos gobernados por mujeres, digamos de paso, pues para situaciones límite no parece que la testosterona sea el mejor remedio. En la famosa serie *Cosmos* (famosa y añorada, la podrían repetir de vez en cuando, como hacen con *Verano Azul*), Carl Sagan introducía en su ecuación sobre el número de planetas habitados "el haber sobrevivido a su propia tecnología". De momento, no parece que el nuestro llegue a formar parte de ese grupo selecto, pero la salida del encierro nos brinda una nueva oportunidad.

*Y así pasan los días, y yo desesperando, y tú, tu contestando, quizás, quizás, quizás...*

JAVIER DE MENDOZA

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









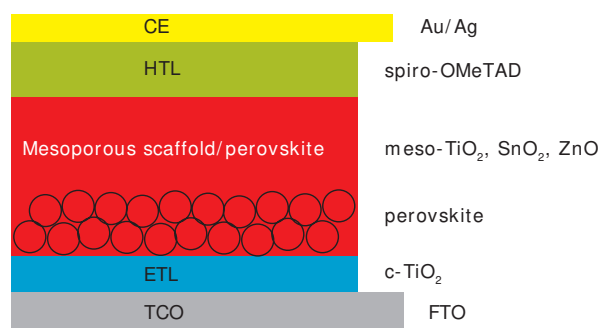


## Catch the Sun

### Organohalide precursors for perovskites solar cells

Organohalide based perovskites have emerged as an important class of material for solar cell applications. Mixed organic-cation perovskites are used to optimize the band gap, carrier diffusion length and power conversion efficiency of cells.

Sigma-Aldrich Materials Science is pleased to expand its perovskites offering with the addition of several organohalides to choose from to enhance the performance of your cell.



Name	Composition	Form	Prod. No.
Acetamidinium Iodide	C <sub>2</sub> H <sub>7</sub> N <sub>2</sub> I	Powder	805971
Benzylammonium Iodide	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> NI	Powder	806196
<i>i</i> -Butylammonium Iodide	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> NI	Powder	805866
<i>n</i> -Butylammonium Iodide	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> NI	Powder	805874
<i>t</i> -Butylammonium Iodide	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> NI	Powder	806102
Diethylammonium Iodide	C <sub>4</sub> H <sub>12</sub> NI	Powder	806188
Dimethylammonium Iodide	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> NI	Powder	805831
Ethylammonium Iodide	C <sub>2</sub> H <sub>8</sub> NI	Powder	805823
Guanidinium Iodide	CH <sub>6</sub> N <sub>3</sub> I	Powder	806056
Formamidinium Iodide	CH <sub>5</sub> N <sub>2</sub> I	Powder	806048
Imidazolium Iodide	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> N <sub>2</sub> I	Powder	805963
Methylammonium iodide	CH <sub>6</sub> NI	Powder	793493
Methylammonium iodide	CH <sub>6</sub> NI	Solution, 0.42 M in 2-propanol	808431
Methylammonium bromide	CH <sub>6</sub> NBr	Powder	793507
Methylammonium bromide	CH <sub>6</sub> NBr	Solution, 0.18 M in 2-propanol	808407
Phenylammonium Iodide	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> NI	Powder	805912
<i>i</i> -Propylammonium Iodide	C <sub>3</sub> H <sub>10</sub> NI	Powder	805882
<i>n</i> -Propylammonium Iodide	C <sub>3</sub> H <sub>10</sub> NI	Powder	805858

We are continually expanding our perovskites precursors offering. For a complete list, visit

[sigma-aldrich.com/perovskites](http://sigma-aldrich.com/perovskites)

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

Copyright © 2016 Merck KGaA. All Rights Reserved. Merck is a registered trademark and the vibrant M is a trademark of Merck KGaA.

Lit. No. PB1252EN00 Ver. 0.1 | SIAL-16-13348 | 11/2016

**MERCK**